

# Морской Вестник



№1 (93)  
М а р т  
2 0 2 5  
ISSN 1812-3694

*Morskoy Vestnik*



## СЕВЕРНОЕ

ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСКОЕ БЮРО



## ШКОЛА КОРАБЛЕСТРОЕНИЯ:

**ОПЫТ    ИННОВАЦИИ    НАДЕЖНОСТЬ**



**К**онструкторское бюро АО «ЦМКБ «Алмаз» (входит в АО «ОСК»), АО «Коломенский завод» и ООО «Инжиниринговый центр двигателестроения-ТМХ» (входят в Группу компаний «ТМХ-Энергетические решения») объявили о старте совместной работы по совершенствованию технологических процессов полного цикла создания судов. Ее цель – сократить сроки строительства судов и оптимизировать поставки комплектующих. Проекты будут реализованы на основе уже существующих инициатив Объединенной судостроительной корпорации для Арктического региона.

Таких договоренностей проектировщики судов и производители энергетических установок достигли в ходе переговоров по повышению эффективности реализации решений конструкторского бюро ОСК «Алмаз» для Арктической зоны. Встреча прошла на производственной площадке.



**К. Г. Голубев**

Константин Голубев, генеральный директор конструкторского бюро «Алмаз» сказал: «Объединенная судостроительная корпорация активно развивает гражданское судостроение, делая особый акцент на импортозамещении. Наше бюро как часть ОСК в настоящий момент фокусируется на серийных базовых платформах высокого ледового класса и проектах торгового флота, включая контейнеровозы, буксиры и другие суда для Северного морского пути. Мы совершенствуем процессы производственной системы. И наша задача – оптимизировать все этапы создания судна и сократить сроки поставок энергетических установок».

В масштабах ОСК, где задействованы проектные бюро, заводы и поставщики комплектующих, любые срывы поставок сокращают рентабельность и напрямую влияют на сроки сдачи заказов.

## **ЦМКБ «АЛМАЗ» И ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ ПРОИЗВОДИТЕЛИ СУДОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ СОВЕРШЕНСТВУЮТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ДЛЯ УСКОРЕНИЯ СОЗДАНИЯ СУДОВ**

**АО «ЦМКБ «Алмаз»,  
контакт. тел. (812) 373 2800**

Именно поэтому ОСК важно достичь согласованности действий всех участников производственных процессов.

Коломенский завод подтвердил свою готовность оптимизировать производственные линии с целью сокращения сроков изготовления двигателей, а также увеличить объемы производства и перейти к серийному масштабированию.

Особый подход требуется к комплектации судов для таких сложных акваторий, как арктические моря – они должны быть оборудованы сверхмощными усиленными энергетическими установками с электродвижением. Суммарная мощность каждой такой установки, состоящей из нескольких гребных электродвигателей, достигает более 25 МВт.

За последние четыре года конструкторское бюро «Алмаз» разработало семь проектов с использованием энергетических установок Коломенского завода. Более 20 заказов по этим проектам уже переданы заказчикам или находятся на завершающей стадии строительства.

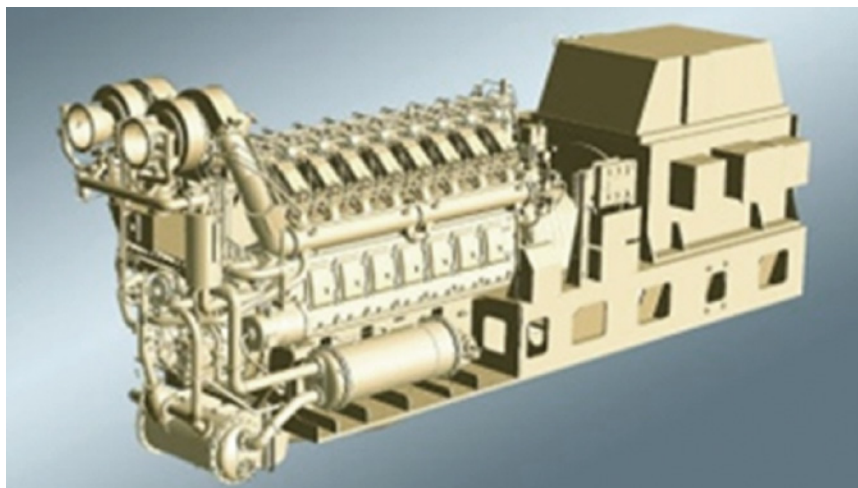
В результате совместной работы конструкторского бюро ОСК «Алмаз» и «Инжинирингового центра двигателестроения-ТМХ» были созданы и се-

рийно запущены в производство отечественные судовые дизель-генераторы 3–22ДГМ, 6–22ДГМР, 31–26ДГ и 28–9ДГ. Эти установки полностью закрывают диапазон мощностей от 1000 до 3500 кВт, необходимых для гражданского судостроения.

Главная энергетическая установка строящегося на Выборгском судостроительном заводе ОСК ледокола проекта 21900М2 будет оснащена четырьмя мощными дизель-генераторами нового типа Д500, каждый мощностью 6480 кВт.

Из перспективных проектов ГК «ТМХ-Энергетические решения» следует назвать разрабатываемую в настоящее время двухтопливную модификацию судового газодизель-генератора мощностью 5500 кВт, а также новую модель судового двигатель-генератора 16СДГ220 мощностью 4000 кВт.

По словам Дмитрия Мирного, заместителя генерального директора по продуктовой группе «Дизельные и газопоршневые машины» «ТМХ Энергетические решения», судовые двигатели этих новых модификаций мощностью от 1 до 6,5 МВт позволят значительно повысить конкурентоспособность продукции. ■



**Судовой дизель-генератор 3-22ДГМ**

# Морской Вестник



№ 1 (93)

м а р т

2 0 2 5

Morskoy Vestnik

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

## Редационный 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. Туричин**, ректор СПбГМТУ

### Члены совета:

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

**И.Ю. Бурцев**, исполнительный директор ЗАО «ЦНИИ СМ»

**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»

**К.В. Гольдибаев**, генеральный директор АО «ПКБ «РИО»

**В.А. Долгих**, генеральный директор АО «НТИ «Радиосвязь»

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

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

**П.А. Зубков**, генеральный директор ООО «МКС»

**С.Н. Ирютин**, председатель Санкт-Петербургского Морского Собрания

**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»

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

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

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

**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»

**О.В. Шанин**, генеральный директор ООО «ДиЭлКом»

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

**И.В. Щербakov**, генеральный директор ООО ПКБ «Петробалт»

## СОДЕРЖАНИЕ

*ЦМКБ «Алмаз» и отечественные производители судовых двигателей совершенствуют техпроцессы для ускорения создания судов* ..... 1

### ПРОЕКТИРОВАНИЕ И КОНСТРУКЦИЯ СУДОВ

**М.А. Медведев, Е.П. Красильников.** Базирование автономных необитаемых подводных аппаратов в ангарах подводных лодок ..... 7

**К.С. Апаньев, С.Д. Райская, Е.В. Васильев, Д.С. Шишкин.** Создание необитаемого подводного аппарата с применением технологии ИИ в системе управления и компьютерного зрения ..... 11

**А.А. Малец.** Исследование вибрации упорного подшипника на корветах ЦМКБ «Алмаз» ..... 13

**П.А. Зубков.** Научно-техническое обоснование комплексных технических и технологических инженерных решений ООО «Морские Комплексные Системы» в интересах ВМФ России ..... 17

**С.Н. Гречин, Н.С. Григорьев.** Вертолетные обслуживающие системы на кораблях ведущих стран мира в сравнении с устройствами транспортировки корабельных вертолетов ВМФ РФ. Часть 2 ..... 22

**В.Ю. Светова, А.В. Кошелев, Е.В. Николаев.** К вопросу формирования современного представления о крабовом судне ..... 31

### ТЕХНОЛОГИЯ СУДОСТРОЕНИЯ, СУДОРЕМОНТА И ОРГАНИЗАЦИЯ СУДОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

**Е.К. Самаров.** Подавление мультипликативных помех в цифровых термограммах сварных соединений судовых конструкций с помощью дискретного фильтра Колмогорова-Винера ..... 37

**И.С. Шутова.** Способы обеспечения качества и надежности электронной геометрической модели из композитных материалов ..... 38

**П.В. Никитин.** О требованиях унификации процессов разработки информационных систем управления на базе НТД РФ при их цифровой трансформации ..... 43

**Г.Я. Кремлёв, Д.И. Гомонов.** Аспекты применения задач теории управления в системных подходах имитационного моделирования технологии постройки кораблей и судов ..... 49

**Ю.Н. Разумов, Е.В. Сердюков, О.А. Тараканов.** Проект инновационного крепления магистральных и местных кабелей на кораблях, судах и плавсредствах ..... 52

### СУДОВЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ И ИХ ЭЛЕМЕНТЫ

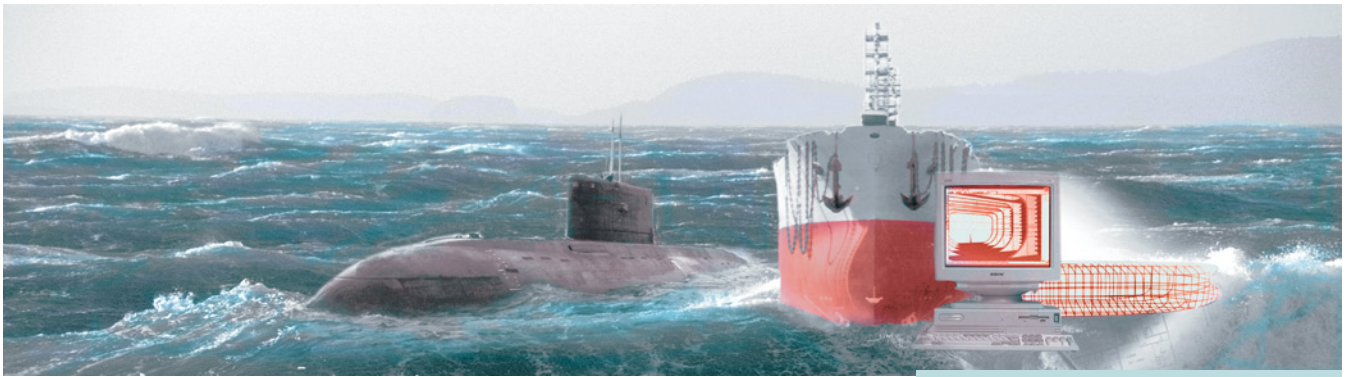
**А.З. Багерман, И.П. Леонова, С.А. Заводов, А.А. Живушкин.** Нормирование коррозионной стойкости жаропрочных никелевых сплавов ..... 56

**Д.О. Глазырина, И.М. Кучинский, С.А. Паимцев.** Экспериментальное исследование адиабатного процесса реального газа ..... 58

**А.В. Бураков, Р.И. Демидюк, С.Ю. Титова, Д.В. Балакишина, В.С. Канев.** Инсинераторы «Искра» для сжигания твердых и жидких нефтяных отходов на судах гражданского флота и кораблях ВМФ ..... 63

**А.Е. Васильев, А.В. Вегнер, Д.Е. Голубева, В.А. Карпенко, В.Д. Ковалев.** Профилометрическая подсистема робототехнического комплекса диагностики внутренней поверхности судовых валопроводов ..... 67





**К. Ю. Пишечных.** Развитие морских альтернативных источников энергии..... 69

**Р. Р. Хотский, А. В. Макшанов, А. В. Бураков, Л. Н. Тындыкарь.**  
Диагностика неисправностей судовых поршневых компрессоров  
с использованием преобразования Гильберта–Хуанга ..... 71

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ ПРИБОРОСТРОЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ

**В. А. Долгих.** Анализ структуры сигналов цифровой модуляции,  
используемых на линиях морской радиосвязи ..... 79

**А. Н. Антонов, Ю. О. Батулин, Д. В. Канищев.** Оценка влияния  
помехового воздействия на загоризонтную радиолокационную станцию ..... 83

**Е. И. Глушанков, Д. И. Кирик, В. К. Кондрашов, И. А. Рылов, И. А. Морозов.**  
Анализ помехоустойчивости локальных систем морской навигации  
в условиях воздействия оптимизированных помех ..... 89

## ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ И УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ

**Б. Ю. Семёнов.** Оценка погрешности воспроизведения и измерения  
магнитных моментов низкочастотного электромагнитного поля корабельного  
электрооборудования в составе автоматических систем компенсации ..... 93

**Н. А. Бабич, А. М. Чуманов.** Разработка приложений искусственного  
интеллекта для встраиваемых систем ..... 96

**Д. Н. Мосичкин, С. Н. Юдин.** Цифровой двойник – инновационное решение  
для привязки системы аварийного машинного и рулевого телеграфов  
к проекту корабля (судна) ..... 99

**С. И. Биденко, Е. Р. Пакшина, К. В. Гольдибаев, И. А. Полковников.**  
A-Navigation: Телекоммуникационно-связная поддержка морского домена  
автономного судовождения ..... 102

**С. С. Дворников, С. В. Дворников.** Оценка взаимного деструктивного  
влияния сигналов близкой структуры в каналах управления  
беспилотных систем ..... 105

**М. А. Луциков.** Современные технологии, обеспечивающие безопасность  
мореплавания ..... 107

## ИСТОРИЯ СУДОСТРОЕНИЯ И ФЛОТА

**П. А. Васильев.** 110 лет со дня рождения контр-адмирала Э. М. Арванова ..... 109

**В. Н. Половинкин, С. В. Федулов, А. Н. Конеев.** Подводные лодки  
на Ладоге в 1943–1944 гг. .... 110

**О. В. Третьяков, Д. Ю. Литинский.** Проектирование, строительство,  
испытания и эксплуатация надводных кораблей первого поколения  
ВМС НОАК. Часть 3 ..... 113

## В МОРСКОМ СОБРАНИИ

**С. Н. Ирютин, В. Н. Торба.** Годовой праздник Санкт-Петербургского  
Морского собрания, посвященный 115-летию со дня его основания  
и 30-летию воссоздания ..... 121

### Главный редактор

**Э. А. Конов**, канд. техн. наук

**Зам. главного редактора**

**Д. С. Глухов**

Тел.: (812) 600 4586

Факс: (812) 600 4586

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.

**Е. И. Глушанков**, 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.

**Д. И. Кузнецов**, д-р техн. наук, доцент

**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.

**Н. В. Савищенко**, 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) 600 4586

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 «Сфера»

Адрес типографии: 190005, Санкт-Петербург,

ул. Егорова, д. 26а, литер Б.

Тираж 300 экз. Заказ № 14095

Дата выхода в свет – 12.03.2025

Каталожная цена – 675,42 руб.

Ответственность за содержание информационных и

рекламных материалов, а также за использование

сведений, не подлежащих публикации в открытой

печати, несут авторы и рекламодатели. Перепечатка

допускается только с разрешения редакции





#### Editorial Council

##### Co-chairman:

**M.V. Alexandrov**, General Director JSC SSTS,  
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

**I.Yu. Burtsev**, Acting Director JSC CRIME

**V.A. Dolgikh**, General Director JSC NTI Radiosvyaz

**V.Yu. Dorofeev**, General Director  
JSC SPMD Malachite

**S.G. Filimonov**, General Director  
JSC Concern Morflot

**VE. Gel**, General Director JSC MC Radiostandart

**K.V. Gol'dibaev**, General Director JSC PKB RIO

**K.G. Golubev**, General Director JSC Almaz CMDB

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

**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.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

**I.V. Scherbakov**, General Director JSC PDB Petrobalt

**V.A. Seredokho**, General Director JSC SNSZ

**O.V. Shain**, General Director LLC DiELCom

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

**K.A. Smirnov**, General Directors JSC MNS

**I.S. Sukhovinsky**, Director JSC VINETA

**V.S. Tatarsky**, General Director JSC ERA

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

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

**P.A. Zubkov**, General Director MCS LLC

## ABSTRACTS

*Almaz CMDB and Domestic Marine Engine Manufacturers Together  
Improve Technological Processes to Accelerate Ship Creation* ..... 1

### SHIP DESIGN AND CONSTRUCTION

*M.A. Medvedev, E.P. Krasil'nikov. Basing of autonomous unmanned  
submarine vehicles in submarine hangars* ..... 7

*K.S. Anan'yev, S.D. Raiskaya, E.V. Vasil'ev, D.S. Shishkin. Development  
of an unmanned underwater vehicle using AI technology in the control system  
and computer vision* ..... 11

*A.A. Malets. Study of vibration of the thrust bearing on the corvettes  
of the Almaz Central Marine Design Bureau* ..... 13

*P.A. Zubkov. Scientific and technical justification of complex technical  
and technological engineering solutions of Marine Complex Systems LLC  
in the interests of the Russian Navy* ..... 17

*S.N. Grechin, N.S. Grigor'ev. Helicopter maintenance systems on ships  
of the world's leading countries in comparison with devices for transporting  
shipborne helicopters of the Russian Navy. Part 2* ..... 22

*V. Yu. Svetova, A.V. Koshelev, E.V. Nikolaev. On the Formation of a Modern  
Concept of a Crab Fishing Vessel* ..... 31

### TECHNOLOGY OF SHIPBUILDING, SHIP REPAIR AND ORGANI- SATION OF SHIPBUILDING

*E.K. Samarov. A multiplicative noise suppression in digital thermograms of welded  
joints for ship structures based on a discrete Kolmogorov–Wiener filter* ..... 37

*I.S. Shutova. Ways to quality and reliability of electronic geometric model  
from composite materials* ..... 38

*P.V. Nikitin. On the requirements for unification of the processes  
of developing information management systems based on the NTD  
of the Russian Federation during their digital transformation* ..... 43

*G. Ya. Kremlyov, D.I. Gomonov. Aspects of application of control theory  
problems in system approaches to simulation modeling of ship and vessel  
construction technology* ..... 49

*Yu.N. Razumov, E.V. Serdyukov, O.A. Tarakanov. Project of innovative  
fastening of main and local cables on ships, vessels and floating craft* ..... 52

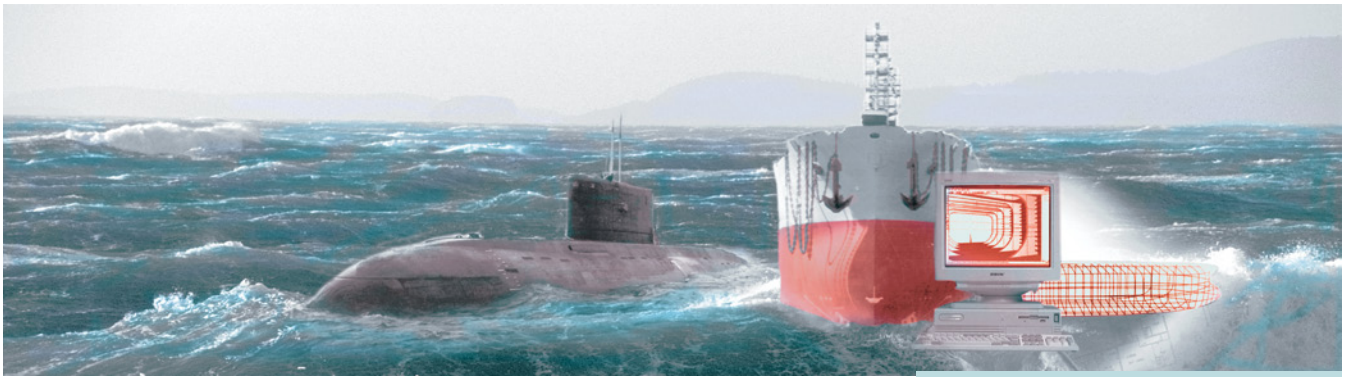
### SHIP POWER PLANTS AND THEIR ELEMENTS

*A.Z. Bagerman, I.P. Leonova, S.A. Zavodov, A.A. Zhivushkin. Standardization  
of corrosion resistance of heat-resistant nickel alloys* ..... 56

*D.O. Glazyrina, D.M. Kuchinsky, S.A. Paimtsev. Experimental study  
of the adiabatic process of a real gas* ..... 58

*A.V. Burakov, R.I. Demidyuk, S.Yu. Titova, D.V. Balakshina, V.S. Kanev.  
Incinerators «Iskra» for burning solid and liquid oil waste on ships of the civilian  
fleet and naval ships* ..... 63





**A. E. Vasil'ev, A. V. Wegner, D. E. Golubeva, V. A. Karpenko, V. D. Kovalev.** Profilometric subsystem of robotic device for the ship shaftings internal surface diagnostics..... 67

**K. Yu. Pshenichnykh.** Development of marine alternative energy sources..... 69

**R. R. Khotskiy, A. V. Makshanov, A. V. Burakov, L. N. Tyndykar'.** Diagnostics of faults of marine piston compressors using the Hilbert–Huang transform..... 71

## DESIGN AND TECHNOLOGY OF INSTRUMENT MAKING AND RADIO ELECTRONIC EQUIPMENT

**V. A. Dolgikh.** Analysis of the structure of digital modulation signals used on marine radio communication lines..... 79

**A. N. Antonov, Yu. O. Baturin, D. V. Kanishchev.** Assessment of the impact of interference on over-the-horizon radar..... 83

**E. I. Glushankov, D. I. Kirik, Z. K. Kondrashov, E. A. Rylov, A. A. Morozov.** Analysis of noise immunity of local marine navigation systems under optimized interference..... 89

## INFORMATION-MEASURING AND MANAGEMENT SYSTEMS

**B. Yu. Semyonov.** Estimation of the error in reproducing and measuring magnetic moments of the low-frequency electromagnetic field of ship electrical equipment as part of automatic compensation systems..... 93

**N. A. Babich, A. M. Chumanov.** Development of artificial intelligence applications for Embedded systems..... 96

**D. N. Mosichkin, S. N. Yudin.** Digital twin – an innovative solution for linking the emergency engine and rudder telegraph system to the ship (vessel) projects ..... 99

**S. I. Bidenko, E. R. Pakshina, K. V. Gol'dibaev, I. A. Polkovnikov.** A-Navigation: telecommunication and communication support for the maritime domain of autonomous navigation..... 102

**S. S. Dvornikov, S. V. Dvornikov.** Evaluation of mutual destructive influence of signals of similar structure in control channels of unmanned systems..... 105

**M. A. Lushchikov.** Modern technologies ensuring safety of navigation ..... 107

## THE HISTORY OF SHIPBUILDING AND FLEET

**P. A. Vasil'ev.** 110 years since the birth of Rear Admiral Z. M. Arvanov..... 109

**V. N. Polovinkin, S. V. Fedulov, A. N. Koneev.** Submarines on Ladoga (1943–1944)..... 110

**O. V. Tret'yakov, D. Yu. Litinsky.** Design, construction, testing and operation of surface ships of the first-generation of the PLA Navy. Part 3 ..... 113

## IN THE MARINE ASSEMBLY

**S. N. Iryutin, V. N. Torba.** The annual celebration of the St. Petersburg Naval Assembly, dedicated to the 115<sup>th</sup> anniversary of its foundation and the 30<sup>th</sup> anniversary of its reconstruction ..... 121

### Editor-in-Chief

E.A. Konov, Ph. D.

### Deputy Editor-in-Chief

D.S. Glukhov

Phone: (812) 600 4586

Fax: (812) 600 4586

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.

E.I. Glushankov, 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.

D.I. Kuznetsov, D. Sc., docent

P.I. Maleev, D. Sc.

D.V. Nikushchenko, D. Sc.

Yu.F. Podoplyokin, D. Sc., Prof., member of the Academy

of Rocket and Artillery of Sciences of Russia

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

A.V. Pustoshny, D. Sc., Prof., corresponding member

of the Academy of Sciences of Russia

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

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

N.V. Savishchenko, D.Sc., Prof.

### Editorial staff

Phone/Fax (812) 600 4586

E-mail: morvest@gmail.com

### Editor

T.I. Ilychiova

### Design, imposition

S.A. Kirillov, V.L. Kolpakova

### Editorial office

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

The magazine is registered by RF Ministry of Press,

TV and Radio Broadcasting and Means of Mass

Communications; Registration Certificate

ПИ № 77-12047 of 11 march 2002

### Founder-Publisher

JSC Publishing House «Mor Vest»

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

### The magazine electronic version

is placed on the site LLC «Nauchnaya elektronnyaya

biblioteka» www.elibrary.ru and is also included to the

Russian index of scientific citing

**By the decision of the Council of VAK** the Morskoy

Vestnik magazine is entered on the list of the leading

scientific magazines and editions published in the

Russian Federation where basic scientific outcomes of

doctoral dissertations shall be published.

www.perechen.vak2.ed.gov.ru

You can **subscribe to the Morskoy Vestnik** magazine

using Russian Post Catalog «Subscription editions»

(subscription index ПМ 467) or directly at the editor's

office via the Morvest Publishing House

### Printed by Sfera JSC

Printing house address 190005, St. Petersburg,

Egorova st., 26a, letter B

Circulation 300. Order №14095

Publication date – 12.03.2025

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



## ВВЕДЕНИЕ

Успех современных методов ведения морских боевых действий в значительной степени зависит от необходимости максимально точного понимания обстановки, а также театра военных операций. В этом контексте автономные необитаемые подводные аппараты (АНПА) рассматриваются как один из ключевых компонентов технологий сбора и передачи больших объемов информации. Преимущества АНПА особенно ярко проявляются на передовых позициях, в частности, в мелководных зонах, где действия подводных лодок (ПЛ) либо значительно затруднены, либо невозможны.

Размещение на современных и перспективных ПЛ специальных прочных герметичных ангаров, а также дополнительное монтирование на ПЛ специально переоборудованных шлюзовых камер делает возможным и перспективным базирование АНПА в них.

Цели такой разработки в общем случае могут быть следующими:

- увеличение боевой устойчивости ПЛ и расширение их боевых возможностей;
- улучшение качества эксплуатации ПЛ;
- возможность гражданского применения АНПА в научных целях.

## ПРОЧНЫЕ ГЕРМЕТИЧНЫЕ АНГАРЫ

Рассмотрим первый вариант системы базирования необитаемых подводных аппаратов – прочный герметичный ангар (Casing Mounted Hangar (СМН)), расположенный на корпусе ПЛ. Он представляет собой съемный модуль, который может быть установлен на ПЛ и будет использоваться как легкодоступный выход для водолазов сил специального назначения и как место базирования, пуска и эвакуации в подводном положении обитаемых и необитаемых аппаратов (ОПА и НПА). Подводная лодка-носитель при установке прочного герметичного ангара должна быть доработана для обеспечения:

- стыковки шлюза ангара с люком ПЛ;
- размещения:
  - разъемов электропитания, необходимого для эксплуатации НПА и систем ангара;
  - разъемов и трубопроводов системы гидравлики для приводов крышек ангара;
  - разъемов трубопроводов системы осушения, заполнения и выравнивания давления, а также вентиляции ангара;
  - емкостей ЭСУ с топливными элементами.

Примером прочного герметичного ангара СМН является система DDS

# БАЗИРОВАНИЕ АВТОНОМНЫХ НЕОБИТАЕМЫХ ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ В АНГАРАХ ПОДВОДНЫХ ЛОДОК

*М. А. Медведев, студент магистратуры,  
Е. П. Красильников, канд. техн. наук, доцент,  
СПбГМТУ,  
контакт. тел. (812) 495 0059, medvedevm1722@gmail.com,  
e.krasilnikov@mail.ru*

(Dry Deck Shelter DDS), первоначально разработанная для размещения на ПЛ ВМС США типов «Лос-Анджелес», «Вирджиния» и ударных ПЛ (SSGN) типа «Огайо» сил специального назначения и ОПА (рис. 1).

Ангар системы DDS имеет длину 11,6 м и диаметр 2,7 м. НПА размещается в ангаре DDS на специальной платформе, по которой выводится из ангара (рис. 2) [5].

В настоящее время пусковые операции выполняют водолазы. В дальнейшем для пуска и возвращения НПА может быть разработан специальный манипулятор. Автоматизация процессов пуска и эвакуации НПА потребует размещения в ангаре значительного количества различных механизмов.

Учитывая необходимость выполнения ряда ручных операций при подготовке НПА, прочный герметичный ангар может быть установлен на ПЛ только в районе нахождения аварийно-спасательного или специального люка (рис. 3).

Нахождение внутри ангара платформы для вывода НПА, занимающей определенное пространство, делает невозможной замену находящихся в нем функциональных модулей полезной нагрузки или модулей аккумуляторных батарей.

Прочный герметичный ангар может быть размещен на палубе любых ПЛ в районе нахождения аварийно-спасательного люка, при этом основным ограничивающим фактором будут вес ан-



Рис. 1. Пуск и эвакуация НПА LD UUV из (в) прочный герметичный ангар СМН АПЛ типа «Вирджиния»



Рис. 2. Ангар системы DDS и обитаемый аппарат сил спецназначения на борту ударной АПЛ типа «Огайо»





Рис. 3. Конструкция ангара системы DDS

гара и его влияние на остойчивость ПЛ. Уменьшить размеры контейнера, а значит, и его массу, будет возможно в случае отказа от ручных операций и полной автоматизации процесса переподготовки НПА к повторному использованию [2].

### ТРАНСПОРТИРОВКА МАЛОГАБАРИТНЫХ НПА, БАЗИРУЮЩИХСЯ НА АНПА БОЛЬШОГО ВОДОИЗМЕЩЕНИЯ

Подобные системы базирования на ПЛ могут быть использованы и для размещения других специальных НПА. Достаточно большое количество аппаратов разных назначений может использовать более крупный носитель только в качестве «транспортного средства», который может доставить их в точку начала выполнения самостоятельной операции, а по завершении ее другой носитель примет их на борт. В качестве примера АНПА большого водоизмещения, рассчитанного на транспортировку к месту начала работ небольших аппаратов, не имеющих для этого достаточного запаса энергии, можно привести подводный аппарат «Theseus» (рис. 4) [4].



Рис. 4. Расположение малогабаритных НПА в корпусе аппарата «Theseus»

Подобные противолодочные аппараты могут эффективно применяться при реализации концепции ВМС США «Держать в риске» («Hold at risk»), которая подразумевает готовность к обнаружению ПЛ противника около известной гавани, поскольку время ее выхода в поход неизвестно. При этом, исходя из вероятности господства противника в воздухе вблизи своей гавани, доставка НПА осуществляется в стороне от предполагаемой точки погружения лодки после ее выхода из гавани. Аппарат заранее перебрасывается в заданный район и находится в ожидании, пока ПЛ не отойдет от причальной стенки. Основываясь на разведывательных данных о гидрографии портов, аппараты могут быть рассредоточены согласно известным или предполагаемым траекториям движения лодок [4].

Также необходимо заметить, что при обнаружении и атаке ПЛ крупным подводным аппаратом типа «Proteus» средства гидроакустического противодействия (ГПД) с определенной эффективностью могут способствовать только отведению от ПЛ непосредственно выпущенного роботом оружия, но не самого

робота, который представляет более серьезную угрозу вследствие большого запаса энергии, позволяющего ему преследовать и повторно атаковать свою цель.

В табл. 1 приведены общие характеристики тяжелых НПА.

### ШЛЮЗОВЫЕ КАМЕРЫ

Другой вариант концепции «сухого хранения» НПА на борту ПЛ используют верфь «Howaldtswerke-Deutsche Werft» и поставщик выдвижных устройств – фирма «Gabler Maschinenbau» (рис. 5). Они опубликовали совместные планы дооборудования существующих ПЛ сменными функциональными модулями (позволяющими скрытно использовать автономные и управляемые по кабелю НПА), а также создания новых проектов ПЛ с такими модулями (проект «Sublab»).

Согласно этим планам НПА могут скрытно выполнять разнообразные военные, экономические и научные задачи. В нижней части прочного корпуса ПЛ устанавливается вертикальная шлюзовая камера, которая может использоваться для выхода и входа одновременно до пяти водолазов и служить декомпрессионной камерой для них, а также спуска за борт или возвращения НПА [4].

Таким образом, тенденции развития ПЛ целиком и полностью зависят от их назначения и требуемого для этого количества и номенклатуры полезной нагрузки. Очевидно, что вследствие конструктивных особенностей ПЛ современных проектов весьма проблематично приспособить их под большее количество различной полезной нагрузки без значительной модификации. Поэтому основной задачей конструкторов является поиск универсальных вариантов решения данной задачи.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Реализация рассмотренных концепций базирования, пуска и эвакуации НПА из прочных герметичных ангаров надстройке ПЛ возможна при их водоизмещении более 4000 т. При этом ограничений по форме НПА нет, а их размеры ограничиваются свободным пространством ангара. Не предъявляются требования и к стойкости НПА при воздействии импульсных и ударных нагрузок при пуске.

Базирование аппаратов меньшего размера неоправданно, так как они с меньшими затратами могут быть размещены в стандартных торпедных аппаратах (ТА) калибром 533 мм или забортовых пусковых установках калибром 324 мм.

Полная автоматизация процесса пуска и эвакуации НПА из ангара обеспечивает их скрытность без демаскирования ПЛ-носителя.

Общие характеристики тяжелых НПА

Характеристика аппарата	Значения		
	минимальные	максимальные	стандартные тяжелого НПА
Длина, м	3,84	8,68	8,68
Диаметр, м	0,71	1,67	1,67
Тип корпуса	Торпедообразный	Гидроплан	Произвольная
Масса, кг	907,2	7983	9072
Рабочая глубина, м	60	304	304
Управление плавучестью	.	Балластная система	Балластная система
Скорость хода, уз	0–4	2–12	2–12
Дальность хода, мили/скорость, уз	22 ч/4	1600/3,6 уз	2800/4 уз
Двигатель	Соосные винты	Водомет с 5-лопастным ротором	Водомет с 5-лопастным ротором
Емкость АБ, кВт*ч	АБ СЦ 10	АБ Li-Ion 360	АБ Li-Ion 500
Средства радиосвязи	Нет	УКВ прямой видимости (LOS-RF), KCC Inmarsat Sailor250 KCC Iridium Satellite	УКВ прямой видимости (LOS-RF), KCC Inmarsat Sailor250 KCC Iridium Satellite
Средства гидроакустической связи	.	Модем WHOI, аварийная связь Edge Tech	Модем WHOI, аварийная связь Edge Tech
Оперативная готовность НПА (Ао)	0,84	0,95	0,90
Средняя длительность миссии, сут.	20 ч	18	30
Погрешность навигационной системы, %	+/- 0,5	+/- 0,3	+/- 0,5

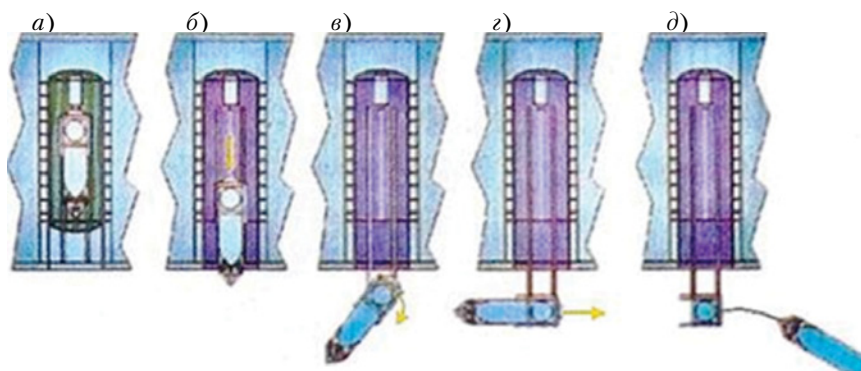


Рис. 5. Выпуск НПА через иллюзоровую камеру подводной лодки: а – НПА закреплен в положении по-ходному; б – начало вывода НПА за пределы корпуса лодки; в, г – разворот НПА по курсу ПЛ; д – выход НПА на выполнение миссии

### Достоинства и недостатки концепции базирования, пуска и эвакуации НПА из прочных герметичных ангаров, размещаемых на надстройке ПЛ

Таблица 2

Основные преимущества	Основные недостатки
1. Обеспечивает базирование, пуск и эвакуацию тяжелых НПА, способных действовать длительное время на значительном удалении от ПЛ-носителя.	1. Значительная масса прочных герметичных ангаров затрудняет их размещение на малых ПЛ водоизмещением менее 4000 т.
2. После эвакуации НПА в ангар могут быть проведены его необходимое техническое обслуживание, переподготовка и действия по реконфигурации полезной нагрузки в условиях сухого помещения, где аппарат и хранится при нормальном микроклимате.	2. Установка прочных герметичных ангаров на надстройке ПЛ требует доработки их конструкции для стыковки шлюза ангара с люком лодки; размещения разъемов электропитания, необходимого для эксплуатации НПА и систем ангара; разъемов трубопроводов системы гидравлики для приводов крышек ангара, разъемов трубопроводов системы осушения, заполнения и выравнивания давления, а также вентиляции ангара; размещения емкостей и трубопроводов с энергокомпонентами при оснащении НПА ЭСУ с топливными элементами.
3. Система пуска не демаскирует ПЛ при пуске с нее НПА.	3. При участии водолазов в процессе пуска и эвакуации НПА требуется медленное выравнивание давления, что снижает готовность к их применению.
4. НПА, съемный ангар могут быть быстро переброшены на любой театр военных действий и установлены на специально оборудованные ПЛ-носители.	4. Эвакуация НПА на ходу ПЛ затруднена или невозможна. Требуется постановка ПЛ на стабилизированной глубине без хода или на грунте.
5. Могут быть установлены на серийных ПЛ соответствующего водоизмещения после проведения модернизации.	5. Нельзя проводить скрытное разворачивание НПА (ангар на ПЛ – признак наличия НПА или сил спецопераций).
6. Возможность размещения систем обеспечения НПА и причальных устройств, обеспечивающих эвакуацию НПА на ПЛ.	6. Ухудшение гидродинамических характеристик ПЛ, устойчивости, маневренности, увеличение уровня шумов обтекания ПЛ.
7. Может обеспечить базирование других средств, например групп специального назначения или стационарных средств освещения подводной обстановки.	7. Влияние спутного потока от корпуса и двигателя ПЛ при доковании на ходу.
8. Возможность отказа от дорогой и сложной системы автоматизации и обеспечение пуска НПА с использованием водолазов.	8. Возможность попадания НПА под двигатель ПЛ и стабилизаторы при доковании

Серийные проекты ПЛ для размещения НПА в прочных герметичных ангарах должны быть серьезно модифицированы, поскольку имеют самую низкую степень готовности к этому: время пуска из них при полной автоматизации процесса – от 10–15 минут до 1 часа при работе водолазов.

Нельзя не сказать и о весьма серьезных недостатках концепции: для эвакуации НПА на ПЛ требуется, чтобы она была в стационарном положении на стабилизированной глубине без хода или на грунте; стойкость к воздействию систем выстреливания ТА должна отвечать жестким требованиям: выбрасываемое давление – до 6–10 кгс/см<sup>2</sup>, ударная нагрузка – до 10 г.

Достоинства и другие недостатки концепции приведены в табл. 2.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Красильников Е. П. Анализ систем выпуска автономных необитаемых аппаратов с подводного носителя. – Неделя науки. – Т. 1. – СПб.: Изд. СПбГМТУ, 2020. с. 525–533.
2. Красильников Е. П., Курносоев А. А., Шавырин И. А. Базирование автономных необитаемых подводных аппаратов на подводных лодках: учеб. пособие. – СПб.: Изд. СПбГМТУ. – 2021. – 64 с.
3. Красильников Е. П., Хорьков П. А. Системы противоторпедной защиты подводных лодок. – СПб., 2014. – 107 с.
4. Илларионов Ю. Г. Базирование необитаемых подводных аппаратов на подводных носителях. Подводные исследования и робототехника. – Владивосток: Изд. Институт проблем морских технологий. 2007. – №1. – С. 27–39.
5. Ложек Дж. [и др.] Система интеграции беспилотных подводных аппаратов с платформой-носителем подводной лодки. – Монтерей, Калифорния: Военно-морская аспирантская школа, 2011. ■



**П**одводные исследования всегда были связаны с высокими затратами и техническими сложностями. Традиционные методы, такие как пилотируемые аппараты или крупногабаритные роботизированные системы, зачастую оказываются недостаточно эффективными из-за недостаточной маневренности и невозможности работы в труднодоступных местах.

Перед нами стояли следующие задачи:

1. *Анализ конструктивных и технических решений существующих необитаемых подводных аппаратов (НПА) и их систем управления.* Это позволит изучить лучшие практики и определить ключевые направления для улучшения.

2. *Разработка облика системы управления и программных кодов.* В рамках работы предстояло создать модульную и масштабируемую систему, способную адаптироваться под различные задачи.

3. *Разработка технического облика макета и его изготовление.* На этом этапе надо было создать прототип аппарата, который будет основой для дальнейших испытаний.

4. *Проведение исследовательских испытаний.* Это позволит выявить слабые места и предложить решения для улучшения конструкции и системы управления.

В данной статье описывается процесс разработки, включая создания системы распознавания объектов, управление жестами и решение проблем, связанных с энергопотреблением и навигацией. Также сформулированы основные задачи, необходимые для перехода к модульной архитектуре и автономному управлению с помощью искусственного интеллекта (ИИ).

На основании проведенного анализа имеющихся аппаратов был разработан облик НПА. В аппарате (рис. 1) использовано два маршевых двигателя, расположенных в кормовой части, под углом 30° относительно диаметральной плоскости. Для управления в вертикальной плоскости используются три вертикальных двигателя: один в носовой части и два в корме. Данная конфигурация позволяет обеспечивать достаточную маневренность и устойчивость при движении в горизонтальной плоскости. Корпус аппарата изготовлен с использованием 3D-печати, что позволяет быстро вносить изменения в конструкцию. Герметичные отсеки для электроники выполнены из акриловых труб, обеспечивающих защиту от воды и давления.

Изначальная цель работы – разработка подходов к созданию систе-

## СОЗДАНИЕ НЕОБИТАЕМОГО ПОДВОДНОГО АППАРАТА С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ ИИ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ И КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ

*К.С. Ананьев, инженер-конструктор 3-й категории,  
С.Д. Райская, инженер-конструктор 1-й категории,  
Е.В. Васильев, вед. конструктор,  
Д.С. Шишкин, вед. конструктор,  
АО «СПМБМ «Малахит»,  
контакт. тел. (812) 242 8585, 242 8516*

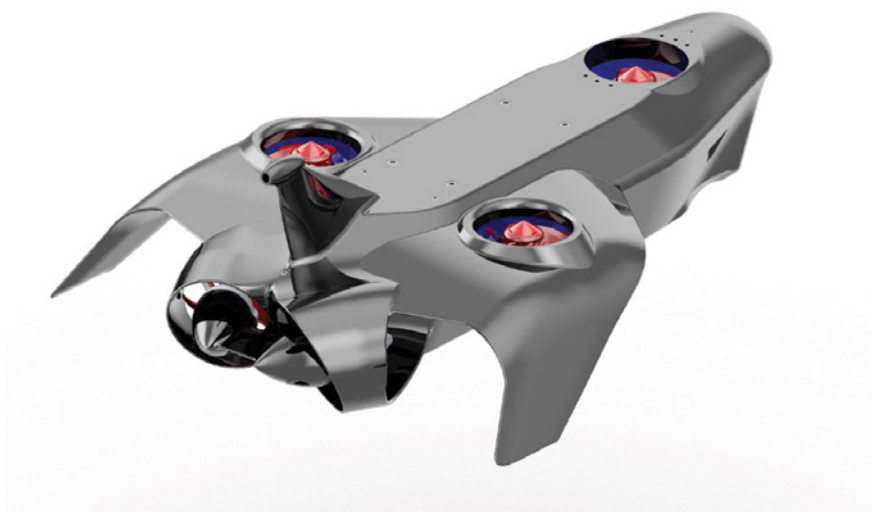


Рис. 1. Внешний вид необитаемого подводного аппарата

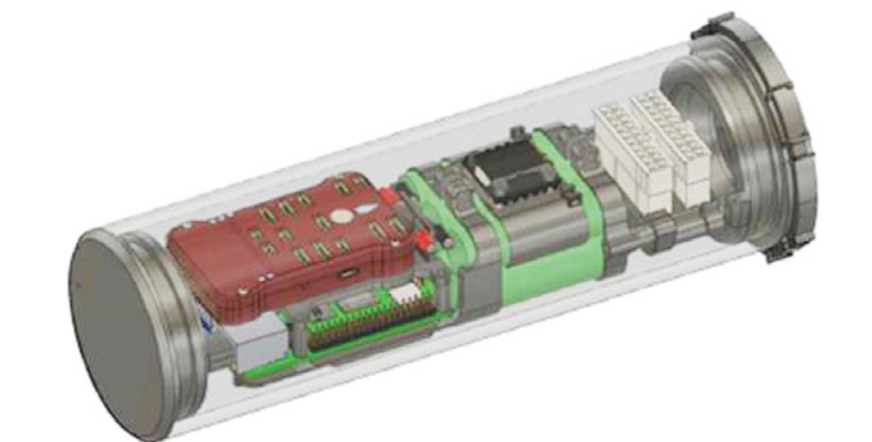


Рис. 2. Отсек прочного корпуса

*Вид герметичного корпуса, где установлены ключевые компоненты: компактный одноплатный компьютер, полетный контроллер, аккумулятор и блоки управления двигателями*

мы управления НПА с применением технологии ИИ и их апробация на действующем макете. Так как макет разрабатывался без конкретной прикладной задачи, аппарат планировался как многозадачное изделие. В процессе разработки были выделены основные возможные направления его применения:

- разведывательная деятельность: разведка в труднодоступных местах, где присутствие человека невозможно или опасно;
- сканирование объектов прибрежной территории для мониторинга состояния прибрежной инфраструктуры, такой как пирсы, волнорезы и подводные кабели;

- осмотр донной инфраструктуры: детальный осмотр трубопроводов, подводных сооружений и других объектов на дне;
- сопровождение водолазной группы для поддержки водолазов, обеспечения их безопасности и оказания помощи при выполнении задач.

### ТЕХНОЛОГИИ, ПРИМЕНЕННЫЕ ПРИ РАЗРАБОТКЕ. ПРОБЛЕМАТИКА СОЗДАНИЯ НПА МАЛЫХ РАЗМЕРОВ И ПУТИ РЕШЕНИЯ

**Система распознавания объектов на основе алгоритма YOLO.** Одной из ключевых задач при разработке аппарата стало создание системы компьютерного зрения, способной распознавать объекты в реальном времени. Для этого был использован алгоритм YOLO (You Only Look Once), который позволяет быстро и точно обнаруживать объекты на изображении. Испытания системы проводились на базе фотографий из открытых источников, что позволило адаптировать модель для работы в подводных условиях. В дальнейшем планируется доработка системы для работы с видео в реальном времени, что повысит точность навигации и выполнения задач.

**Управление жестами. Комплекс технологий Mediapipe.** Для повышения удобства управления аппаратом под водой разработана технология распознавания жестов (рис. 3). Это позволяет водолазу управлять дроном с помощью простых движений рук, что особенно полезно в условиях ограниченной видимости или при выполнении сложных маневров. Система основана на обработке изображений с камеры и использовании алгоритмов машинного обучения. В перспективе планируется улучшение точности распознавания и расширение набора жестов для более гибкого управления.

**Энергопотребление и стабилизация напряжения.** В ходе испытаний

были выявлены проблемы недостаточной стабилизации напряжения, что приводило к сбоям в работе компактного одноплатного компьютера. Для решения этой проблемы было предложено два варианта: установка стабилизатора напряжения или использование отдельного батарейного модуля для питания компьютера. Оба варианта находятся в стадии тестирования, и окончательное решение будет принято на основе результатов дальнейших испытаний.

**Теплоотведение в герметичном корпусе.** Еще одной проблемой стало теплоотведение при работе электроники в герметичном корпусе. Высокая температура может негативно сказаться на работе процессора и других компонентов. Для решения этой задачи рассматривается несколько вариантов, включая использование радиаторов, термопрокладок и активных систем охлаждения. Также изучается возможность применения материалов с высокой теплопроводностью для корпуса.

**Навигация на больших глубинах.** Использование камеры для навигации оказалось эффективным только на глубинах до 5 м. На больших глубинах недостаток света и ограниченная видимость затрудняют работу системы технического зрения. Для решения этой проблемы разрабатывается система навигации, основанная на гидролокации. Это позволит аппарату ориентироваться в условиях полной темноты или мутной воды. В перспективе планируется интеграция гидролокатора с системой ИИ для более точного построения карты окружающей среды.

### ПУТИ РАЗВИТИЯ ПРОЕКТА

**Модульная архитектура.** В следующем опытно образце планируется перейти к модульной архитектуре, что позволит повысить гибкость и ремонтопригодность аппарата. Основные модули:

- модуль одноплатного компьютера со своей системой питания и стабилизации. Это обеспечит независимую работу вычислительных мощностей и повысит надежность системы;
- модуль технического зрения, включающий камеры и гидролокаторы. Этот модуль будет отвечать за навигацию и распознавание объектов;
- модуль управления двигателями, включающий регуляторы частоты и полетный компьютер. Это позволит более точно управлять движением аппарата;
- модуль питания движителей, который обеспечит стабильное энергообеспечение двигателей.

Такая архитектура позволит легко заменять или модернизировать отдельные компоненты без необходимости переделки всей конструкции.

**Переход к автономному управлению с помощью технологии ИИ.** В настоящее время аппарат управляется оператором через кабель Ethernet, однако в перспективе планируется полностью отказаться от прямого управления и перейти к автономному выполнению задач с помощью технологии ИИ. Это позволит аппарату самостоятельно принимать решения в сложных условиях и выполнять задачи без участия оператора.

*Плюсы автономного управления:*

- аппарат сможет работать в условиях, где связь с оператором затруднена или невозможна;
- ИИ сможет самостоятельно выполнять рутинные задачи, такие как навигация и избегание препятствий;
- ИИ сможет быстро анализировать данные и принимать решения в реальном времени.

*Минусы автономного управления:*

- создание надежных алгоритмов ИИ для работы в подводных условиях требует значительных усилий и ресурсов;
- обработка данных на борту аппарата может быть затруднена из-за ограниченных мощностей;



Рис. 3. Распознавание жестов руки на экране оператора с указанием расстояния до руки



- автономные системы могут принимать неверные решения в сложных или нестандартных ситуациях. Пути решения:
- использование легковесных моделей ИИ и нейронных сетей позволит снизить нагрузку на процессор;
- аппарат будет обрабатывать данные на борту и передавать на поверхность только ключевую информацию;
- перед реальными испытаниями алгоритмы будут тестироваться в симуляторах ROS (Robot Operating

System), что позволит выявить и устранить ошибки.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработка необитаемого подводного аппарата с использованием технологии ИИ потребовала решения множества технических и технологических задач. В процессе работы создана система распознавания объектов, разработанная технология управления жестами и предложены решения для проблем, связанных с энергопотреблением, теп-

лоотведением и навигацией на больших глубинах. В будущем планируется переход к модульной архитектуре и автономному управлению с помощью технологий ИИ, что позволит аппарату выполнять задачи без участия оператора. Опыт, полученный при разработке и первичных испытаниях, показывает, что сочетание современных технологий и инновационных решений помогает создавать эффективные и универсальные подводные аппараты, способные выполнять широкий спектр задач. ■

## ВВЕДЕНИЕ

В последние годы требования к снижению уровня подводного шума (ПШ) военных кораблей значительно увеличились из-за необходимости уменьшения их видимости противником и для улучшения условий работы экипажа. Особенно это актуально для корветов, для которых достижение низких показателей шума – один из ключевых факторов эффективности их использования.

В рамках заводских ходовых испытаний (ЗХИ) корветов ЦМКБ «Алмаз» на экономическом ходу были выявлены повышенные уровни подводного шума на определенных частотах. Особенно проблематичными оказались узкополосные максимумы (УМ), зарегистрированные вблизи частоты 250 Гц при оборотах валопровода 120 об/мин. Эти максимумы имели резонансный характер, что указывает на возможные конструктивные особенности дизайна корабля.

Дальнейшее исследование (ЗХИ одного из корветов) показало, что основной источник резонансов связан с фундаментом упорного подшипника (УП). Зубчатая частота редуктора, равная 250 Гц на экономическом ходу, выступала в роли основной возбуждающей силы, провоцирующей эти резонансы.

Для анализа и разработки решений по снижению уровня шума было создано два варианта конструкции и затем выполнена доработка.

В рамках исследования использовался программный комплекс Ansys Workbench v.18.2, что позволило провести детальный анализ динамических характеристик фундамента и оценить эффективность различных конструктивных изменений.

Цель работы – исследование и анализ параметров конструкций фундамента под УП с целью оптимизации его виброакустических характеристик. В работе используются как экспериментальные, так и численные методы анализа, что позволяет подробно изучить взаимосвязь конструктивных особенностей рассматриваемого фундамента и его виброакустических свойств.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ВИБРАЦИИ УПОРНОГО ПОДШИПНИКА НА КОРВЕТАХ ЦМКБ «АЛМАЗ»

*А.А. Малец, инженер-конструктор 1-й категории, АО «ЦМКБ «Алмаз», контакт. тел. 8 911 2997 243*

Исследование предполагает получение данных, которые могут быть использованы для проектирования новых конструкций, уменьшающих шум и вибрации, что сделает корветы менее заметными для подводного обнаружения.

## ФУНДАМЕНТ ПОД УП

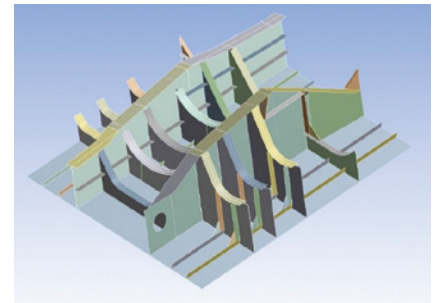
К основным источникам шума на судах и кораблях относят главные и вспомогательные механизмы. Также шумы возникают в системах общесудовой и машинной вентиляции, в системах перекачивания жидкостей, в устройствах кондиционирования воздуха и бытовых устройствах [1].

Звуковая энергия, передаваемая через воздух, интенсивно затухает от помещения к помещению по мере удаления от источника. Вибрации, распространяющиеся от источника по корпусным конструкциям, в силу хорошей вибропроводимости затухают значительно слабее. В результате подводный шум, вызванный передачей звуковых вибраций по корпусным конструкциям, оказывается определяющим для большинства судовых помещений [2].

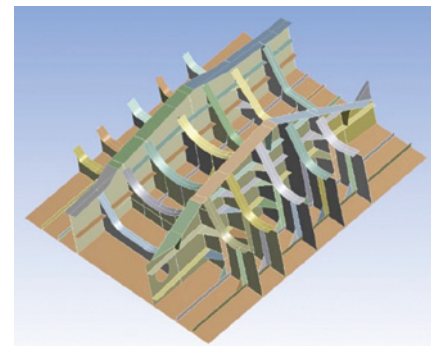
Согласно ОСТ 5.1039–73 и ОСТ 5.1011–83 фундамента должны обеспечивать нормальную работу механизмов, служить надежным основанием для устанавливаемых на них механизмов, быть достаточно прочными и устойчивыми, снижать сильную вибрацию и т.д.

В рамках данного исследования анализируются фундамента под УП, интегрированные в корпусную конструкцию корвета: вариант 1 и вариант 2, а также доработанный вариант.

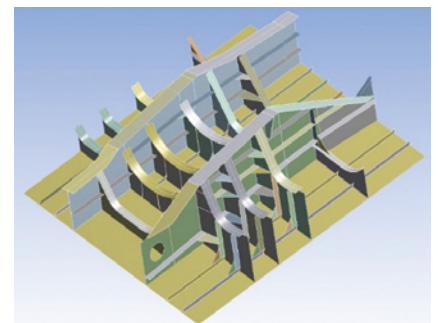
Модели фундамента под УП, выполненные в среде AVEVA, показаны на рис. 1–3. На представленных рисунках



*Рис. 1. Модель фундамента под УП вариант 1 в AVEVA (левый борт)*



*Рис. 2. Модель фундамента под УП вариант 2 в AVEVA (левый борт)*



*Рис. 3. Модель фундамента под УП с доработкой в AVEVA (левый борт)*

модели содержат ряд упрощений и ступлений от реальной конструкции, влияние которых на результаты расчетов оценивается как незначительное.

## РАСЧЕТЫ В СРЕДЕ ANSYS

**Анализ интегрированного фундамента под УП.** На основании данных ЗХИ корветов известно, что дискретная составляющая шума проявляется на частоте 250 Гц, где определяющим параметром являются частота вращения гребного вала и зубчатая частота редуктора главных двигателей.

Также наблюдался узкополосный максимум, связанный с вибрацией стенок фундамента под УП (15-е ребро жесткости (РЖ) и II стрингер), так как эти стенки подкреплены только флорами, образующими «ячейки» с приблизительно одинаковыми геометрическими размерами и близкими резонансными частотами к 250 Гц. При возбуждении фундамента под упорным подшипником вибрация передается на корпус корабля в области крепления фундамента.

ФГУП «Крыловский ГНЦ» создал свою расчетную модель для анализа собственных частот и проблемных участков фундамента и предложил мероприятия по акустическому совершенствованию конструкции.

В рамках данной работы были созданы модели фундаментов: вариант 1 и вариант 2 для проведения численного анализа в среде ANSYS с целью определения направлений возможных доработок существующей конструкции. После этого была создана модель с предложенными улучшениями.

Сначала были рассмотрены модели фундаментов под УП варианта 1 и варианта 2, а затем их результаты сравнивали с данными ФГУП «Крыловский ГНЦ».

Масса моделей фундаментов под УП, согласно данным ANSYS, следующая: вариант 1 – 1399,1 кг; вариант 2 – 1478,8 кг.

Сравнение собственных частот фундаментов представлен на графике рис. 4.

Исходя из графика рис. 4, можно сделать вывод, что предложенные ФГУП «Крыловский ГНЦ» доработки варианта 2 фундамента под УП увеличили его жесткость, сместили первую моду собственных частот с 131 на 162 Гц. Однако как в случае с вариантом 1, так и с вариантом 2 собственные частоты все еще находятся близко к зубчатой частоте редуктора – 250 Гц (диапазон 244,4–256,3 Гц для варианта 1 и 245,2–256,8 Гц для варианта 2).

Для более точного анализа проблемы стоит обратить внимание на моды, которые указывают на критические участки фундаментов под УП, а также на те моды, на которых наблюдаются частоты колебаний днищевой конструкции.

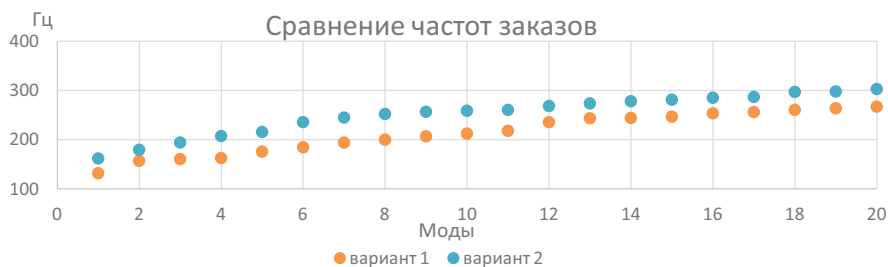


Рис. 4. График сравнения частот

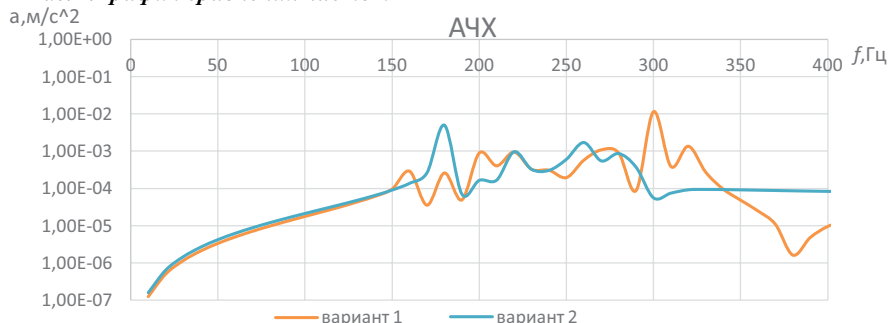


Рис. 5. Амплитудно-частотная характеристика на опорных плоскостях варианта 1 и варианта 2

Из полученных данных можно сделать следующий вывод – доработки конструкции фундаментов под УП, предложенные ФГУП «Крыловский ГНЦ», увеличили жесткость конструкции фундамента, что снизило количество проблемных зон, однако проблема не полностью решена, так как 15 РЖ в районе 82–84-го шп. наблюдаются собственные частоты близкие к частоте 250 Гц.

При гармоническом анализе контролировалось виброускорение на опорных поверхностях фундамента, на которые устанавливается упорный подшипник.

Как видно из графика рис. 5, виброускорение монотонно возрастает до 150 Гц в обоих случаях. В диапазоне 150–300 Гц наблюдаются скачки амплитуды, резкий скачок в районе 180 Гц для варианта 2 и 300 Гц для варианта 1.

**Анализ доработанного фундамента под УП.** Чтобы минимизировать воздействие возбуждающих сил в районе 250 Гц, было принято решение укрепить критические участки фундамента под УП и увеличить толщину некоторых конструкционных элементов. Масса полученной конструкции – 1627,8 кг.

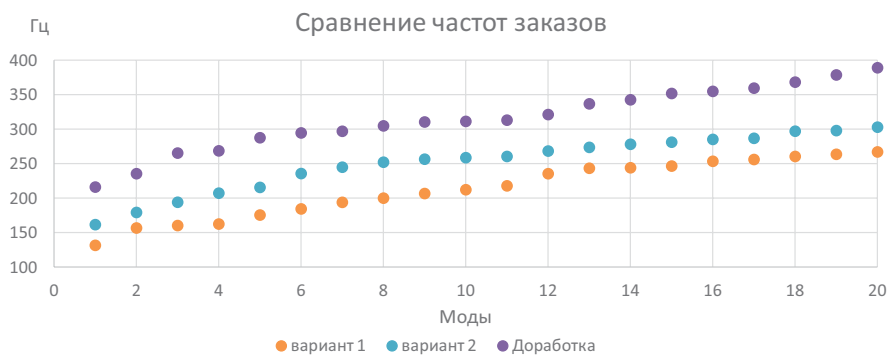


Рис. 6. Сравнение собственных частот фундамента под УП

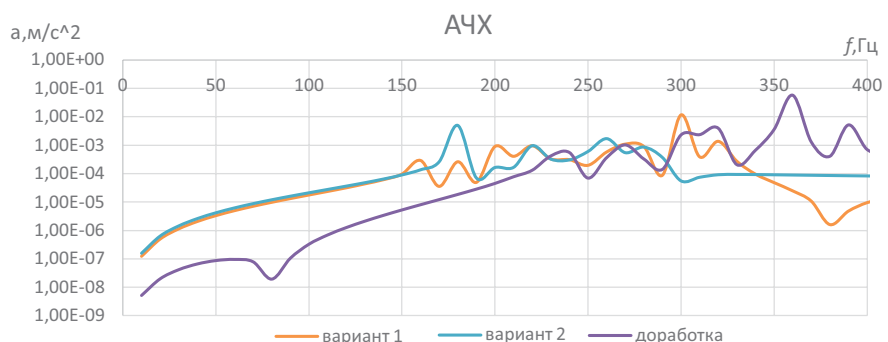


Рис. 7. Амплитудно-частотная характеристика на опорных плоскостях



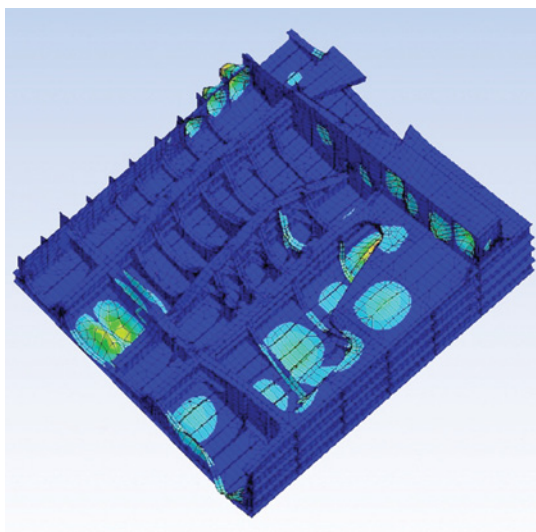


Рис. 8. Проявление вибраций конструкции вариант 1 на частотах 249-252 Гц

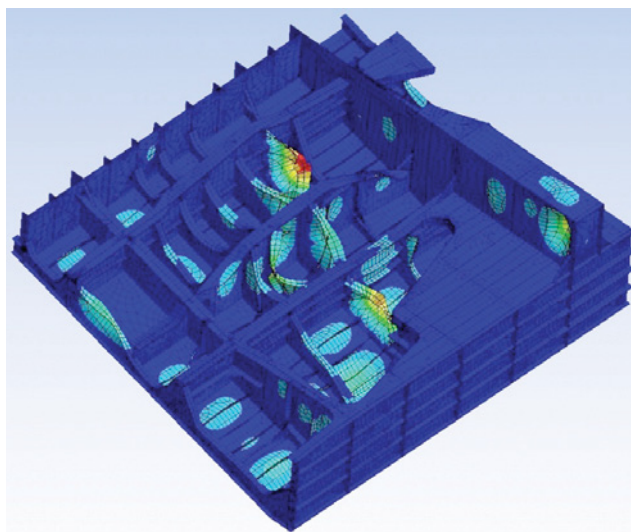


Рис. 9. Проявление вибраций конструкции доработанного фундамента на частотах 247-255 Гц

Результаты нахождения собственных частот фундамента представлены на рис. 6 – сравнение частот всех трех рассматриваемых случаев.

Исходя из графика, можно сделать вывод, что предложенные доработки фундамента под УП увеличили его жесткость, сдвигая первую моду собственных частот с 131 и 162 Гц на 216 Гц, а также разнесла собственные частоты от 250 Гц (235,8 Гц и 265,7 Гц).

Доработанная конструкция была также проанализирована на проблемные участки и проявления частот колебаний днищевой конструкции.

Проявление частот на днищевой конструкции в районе 85–86-го шп. наблюдается на всех моделях. Так как подкрепления сделать в данных местах затруднительно, рекомендуется использовать вибропоглощающие покрытия типа пленки ВПНС [5].

Доработка фундамента под УП также убрала проявление собственных частот на 15 РЖ, близких к частоте возбуждающей силы.

Как видно из графика рис. 7, виброускорение уменьшилось в диапазоне 0–200 Гц по сравнению с предыдущими результатами. Скачки амплитуды начинаются с 240 Гц и пик имеют в районе 360 Гц.

**Анализ фундаментов в составе днищевых конструкций.** В ходе работы также был проведен экспресс-анализ интегрированных в корпусную конструкцию корабля в районе 81–87-го шп., вертикальный киль – 23 РЖ. Результаты данного анализа приведены в табл. 1 и табл. 2.

Из полученных данных можно сделать вывод, что увеличение жесткости доработанного фундамента привело к распределению опасных частот дальше от самого фундамента под УП.

Таблица 1  
Проблемные частоты конструкции с фундаментом под УП вариант 1

№ моды	Гц
56	249,36
57	249,95
58	251,22
59	251,67
60	252,68

Таблица 2  
Проблемные частоты конструкции с доработанным фундаментом под УП

№ моды	Гц
29	247,4
30	248,3
31	253,08
32	253,2
33	255,72

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе работы были созданы модели первых двух вариантов фундаментов, определены собственные частоты колебаний их конструкции, построены графики виброускорений на опорных площадках и проведен сравнительный анализ фундаментов под упорные подпирники для двух заказов. Это позволило определить направления возможных доработок конструкции. Также была создана модель доработанного фундамента и проведен сравнительный анализ с предыдущими результатами.

Анализ расчетов показывает, что рассматриваемый фундамент под УП нуждается в доработке для улучшения его вибрационных характеристик. Предложенная доработанная конструкция, включающая увеличение толщины некоторых элементов и добавление новых подкреплений, позволяет значительно изменить собственные частоты, отстраняя их от возможных возбуждающих сил. При этом масса фундамента под УП увеличится примерно на 150 кг для каждого борта, что приведет к общему увеличению массы днищевой секции на 300 кг.

Увеличение собственных частот помогает избежать резонансных явлений,

снизить уровень ПШ на экономическом ходу и тем самым обеспечить оптимальную работу собственных гидроакустических систем и выполнить требования по снижению заметности корабля по гидроакустическому полю корабля во время его боевой эксплуатации.

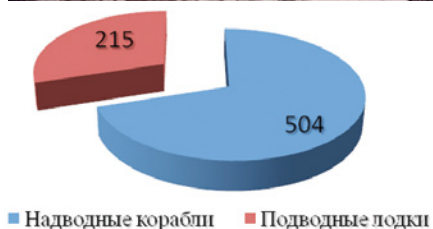
Для достижения наилучших результатов на данных скоростях необходимо нанесение демфирующих покрытий как на сам фундамент, так и на корпусную конструкцию вокруг него с использованием присоединенных масс или вибропоглощающих материалов, таких как пленка ВПНС.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Клюкин И.И. Борьба с шумом и звуковой вибрацией на судах. – Изд.2, перераб. и доп. – Л.: Судостроение, 1971. - 416 с.
2. Никифоров А.С., Будрин С.В. Распространение и поглощение звуковой вибрации на судах. – Л.: Судостроение, 1968. - 216 с.
3. Ионов А.В. Средства снижения вибрации и шума на судах. – СПб.: ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова, 2000. – 348 с.
4. Пархоменко В.Н., Пархоменко А.В., Пархоменко В.В. Обесшумливание кораблей. – СПб.: Нестор-История, 2017. – 272 с.
5. Кирпичников В.Ю. Вред и польза резонансных явлений в элементах судовых конструкций. – СПб.: ФГУП «КГНЦ», 2019 – 176 с. ■

**А**варии и катастрофы кораблей ВМФ всегда имели весьма широкий общественный резонанс и болезненно воспринимались всеми слоями общества, что отрицательно сказывалось на престиже военно-морского флота. После произошедших в ВМФ за последние несколько десятилетий аварий, происшествий и катастроф проблема обеспечения пожаробезопасности вышла на первый план среди задач, которые решает флот. При этом главным направлением обеспечения пожаробезопасности считается повышение противозрывной и противопожарной защиты, а также снижение предпосылок для возникновения пожаров и взрывов.

За последние 50 лет только известных из открытых источников случаев пожаров на объектах ВМФ было более 700, что подчеркивает актуальность работ по повышению пожаробезопасности в дальнейшем (рис. 1).



**Рис. 1. Оценочные статические данные о количестве крупных пожаров на объектах ВМФ за последние 50 лет**

Существуют также объективные трудности в обеспечении живучести кораблей, в способности противостоять взрывам, пожарам и затоплениям отсеков, когда такие форс-мажорные события возникают.

Основной тенденцией в развитии военного кораблестроения за послевоенные годы было стремление к повышению функциональных возможностей кораблей. Наряду с увеличением скорости хода и маневренности происходило количественное насыщение оружием и боеприпасами, совершенствовались показатели скрытности. Одновременно с совершенствованием тактико-технических характеристик происходило совершенствование отдельных устройств и комплексов кораблей, наблюдалась устойчивая тенденция к увеличению энергово-

## НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ КОМПЛЕКСНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ИНЖЕНЕРНЫХ РЕШЕНИЙ ООО «МОРСКИЕ КОМПЛЕКСНЫЕ СИСТЕМЫ» В ИНТЕРЕСАХ ВМФ РОССИИ

*П.А. Зубков, канд. техн. наук,  
ген. директор ООО «Морские комплексные системы»,  
контакт. тел. (812) 368 3951*

оруженности и энергопотребления, увеличению давления рабочих сред и запасов энергосред, как следствие, выросло тепловыделение элементов корпуса корабля. Желание уменьшить массу оборудования, повысить комфортность пребывания личного состава, снизить передачу энергии от работающих механизмов в окружающую среду (и тем самым повысить скрытность корабля) привело к насыщению кораблей различного вида неметаллическими материалами, пластиками и резинотехническими изделиями, способными существенно увеличивать пожарную нагрузку.

Немаловажным фактором, оказавшем существенное влияние на тенденции развития ВМФ в последние годы, явилось снижение финансирования флота. ВМФ оказался обделенным в финансировании по Государственной программе вооружения (далее – ГПВ) на 2018 – 2027 гг. (рис. 2), так как в предыдущей программе на 2011– 2020 гг. на него было выделено 4,7 трлн. руб., которые ВМФ не смог освоить полностью из-за сочетания различных проблем в отечественной судостроительной промышленности, а также влияния западных санкций. Как следствие, в ГПВ на 2018–2027 гг.

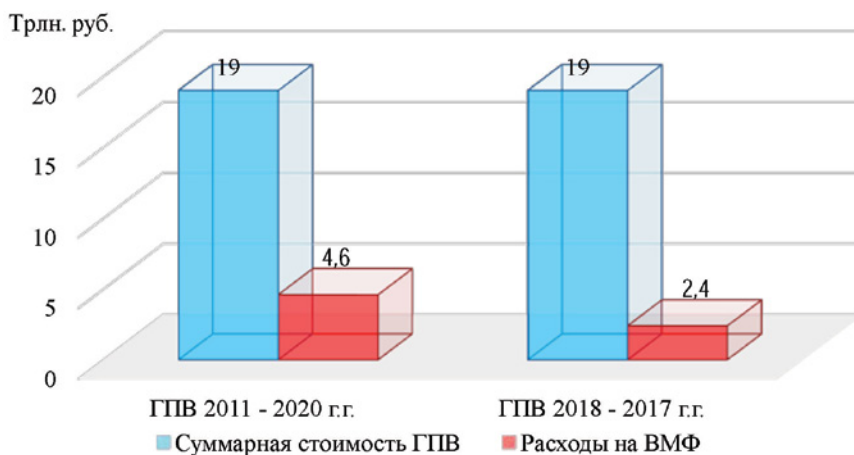
произошло сокращение финансирования ВМФ до 2,6 трлн. руб.

Ключевой вывод из анализа ГПВ заключается в том, что российский ВМФ, невзирая на определенные проблемы, в том числе на проблему недофинансирования, продолжает обновление своего боевого состава.

Наблюдаемые в последние десятилетия тенденции в развитии военного кораблестроения в целом приводили к возрастанию вероятности возникновения и развития пожаров на кораблях и повышению уровней интенсификации возникающих во время пожаров поражающих факторов. В ответ на вышеуказанные тенденции целый ряд негосударственных промышленных предприятий взяли на себя ответственность за разработку современных противопожарных систем и негорючих материалов.

Ведущим производителем судовой мебели из негорючих материалов является ООО «Морские комплексные системы», которое сосредоточило свои усилия на следующих направлениях деятельности (рис. 3).

Следует отметить, что поставляемые компанией ООО «МКС» комплектующее оборудование и судовая мебель для жилых и служебных по-



**Рис. 2. Сравнение объема финансирования ВМФ в рамках ГПВ**





Рис. 3. Основные направления деятельности ООО «Морские комплексные системы»

мещений кораблей и судов ВМФ имеют более низкую пожарную нагрузку по сравнению с аналогичным оборудованием, выполненным на основе ДСП, пластика и других материалов, традиционно используемых на кораблях. Это связано с тем, что компанией в качестве комплектующих материалов и судовой мебели используются современные конструкции, обладающие наряду с высокими прочностными характеристиками и долговечностью, рядом таких свойств, как малый удельный вес, негорючесть (т.е. низкая пожарная нагрузка), современный дизайн и др.

Как показали проведенные специалистами ООО «МКС» расчеты на основе ряда испытаний, комплексное переоборудование жилых и служебных помещений, выполняемое с использованием технологий и материалов, разработанных и производимых нашей компанией, позволяет существенно снизить вероятность возникновения пожаров в бытовых и служебных помещениях кораблей. Например, рассматривая процесс горения с использованием сэндвич-панелей Strongbox

класса огнестойкости «В-15» в сравнении с другими материалами, получены следующие результаты, а именно вероятности перерастания возгорания в жилых помещениях в большой объемный пожар и вероятности его распространения из каюты в смежные помещения, которые отражают рис. 4 и рис. 5.

Данные результаты получены, в том числе, в результате внедрения огнезащитного покрытия «Инфлекс», которое является весьма эффективным способом повышения огнестойкости ограждающих противопожарных конструкций. Это позволяет, не прибегая к существенному повышению нагрузки масс корабля и его стоимости, повысить эффективность противопожарной защиты. Огнезащитная система «Инфлекс», предназначенная для повышения предела огнестойкости металлических конструкций корабля до значений, соответствующих R120, путем нанесения указанного покрытия с обеих сторон водонепроницаемых переборок или других ограждающих помещения корабля.

Кроме того, в компании разработана огнезащитная сетка, которая так-

же повышает огнестойкость ограждаемых конструкций. Изготовленная по ТУ 5728-004-01282514–2015 огнезащитная сетка предназначена для создания огнезащитных преград деревянных, металлических и других конструкций, защиты электрических кабелей, кабельных линий, кабельных лотков, коробов и кабельных проходок в соответствии с ГОСТ Р 53310–2009, ГОСТ Р 53311–2009, ГОСТ Р 53316–2009. Пример испытаний данной сетки представлен на рис. 5.

Проведенные испытания доказывают, что обновление состава ВМФ, а также модернизация и ремонт существующих кораблей, как было указано ранее, необходимо проводить с использованием новейших технологий и материалов для повышения конструктивных и эксплуатационных характеристик, существенно улучшающих противопожарную безопасность и живучесть корабля, а также обеспечивающих комфортные условия жизнедеятельности личного состава.

В этой связи все научно-технические разработки компании ООО «МКС» направлены на создание и внедрение







**Рис. 6. Использование панелей из вермикулита для изготовления судовой мебели**

Также в рамках комплексного обустройства внутренних помещений компания применяет новые негорючие панели из природного материала вермикулита (рис. 6).

Поскольку пожар в определенных условиях быстро распространяется по палубе, в проектах ООО «МКС» разработано специализированное наливное палубное покрытие, которое является негорючим. Пример использования данного покрытия на авианесущем корабле представлен на рис. 7.

кораблей в случае пожара. Примеры применения данного покрытия представлены на рис. 8.

В результате проведенного обзора можно сделать следующий вывод: компания ООО «МКС» нацелена на разработку комплексных технических и технологических инженерных решений для повышения эксплуатационных и конструктивных характеристик корабля, таких как пожаробезопасность, живучесть, эргономичность и др. Данные разработки проверены и

пасности, носит комплексных характер и также требует предварительной оценки и научно-технического обоснования внедряемых изменений.

Поэтому для комплексной оценки влияния инновационных разработок компании ООО «МКС» на живучесть корабля на первом этапе специалисты выявляют и описывают поражающие (разрушающие) воздействия, а на втором дают оценку способности корабля хотя бы частично сохранять свою бое-

способность. Очевидно, что количественная оценка влияния инновационных разработок компании ООО «МКС» на живучесть корабля методом натурных испытаний – очень дорогостоящее мероприятие и невозможно в принципе, так как для этого потребуются обстрелять корабль конкретным оружием либо инициировать развитие формажорных воздействий в отсеках корабля, а затем оценить их последствия. Поэтому специалисты ООО «МКС» для количественной оценки используют математическое моделирование на основе следующих расчетных методов:



**Рис. 7. Использование наливного палубного покрытия типа «ЭпоксиКоут» для восстановления палубы авианесущего корабля**

Кроме того, компания предложила на рассмотрение ВМФ применение специального каучукового негорючего покрытия, срок службы которого составляет 30 лет. Использование этого покрытия позволит обеспечить сохранность оборудования и систем во внутренних помещениях судов и

апробированы в ходе ряда экспериментов и с использованием методов математического моделирования.

В этой связи особо следует выделить инновационные технические разработки компании ООО «МКС» в обеспечении живучести корабля, оценка которой, так же как и пожаробезо-

- статистических испытаний;
- аналитического;
- комбинированного, имеющего черты первых двух.

Использование того или иного метода расчета живучести корабля определяется задачами, стоящими перед исследователем. Оценка живучести



**Рис. 8. Использование наливного палубного покрытия типа «ЭпоксиКоут» для восстановления палубы авианесущего корабля**

построенного корабля путем проведения исследований влияния на устойчивость к поражающим воздействиям его новых средств защиты и других инновационных разработок компании ООО «МКС» может быть получена с использованием статистических или комбинированных методов.

Ниже, на рис. 9, представлены результаты математического моделирования как пример, показаны расчетные значения изменений условного закона живучести (УЗЖ) и условного закона поражения (УЗП) в зависимости от количества попаданий боеприпаса противника в определенную часть условных кораблей.

В результате моделирования при равных условиях воздействия противником установлено, что использование огнезащитных покрытий на водонепроницаемых переборках и огнезащитных сеток на кабельных трассах позволяет повысить вероятность сохранения боеспособности (живучести) кораблем малого водоизмещения на 15 – 20% и на 8 – 17% кораблем большого водоизмещения.

## ВЫВОДЫ

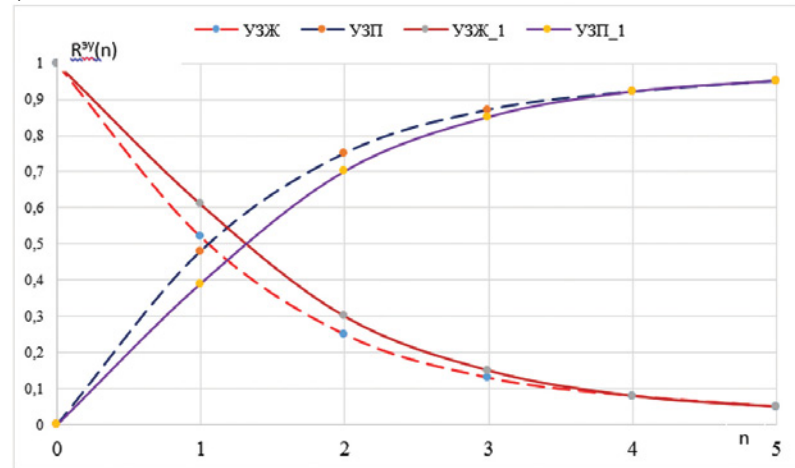
Инженерно-конструкторской коллектив ООО «МКС» нацелен на разработку и научно-техническое обоснование новых технических и технологических решений в области кораблестроения, а именно:

- создание и внедрение в судостроении новых негорючих материалов для зашивок, выгородок, переборок;
- изготовление мебели, которая не выделяет ядовитых веществ;
- создание новых негорючих панелей из природного материала вермикулита;
- создание специализированного негорючего наливного палубного покрытия;
- создание специального каучукового негорючего покрытия, срок службы которого составляет 30 лет.

Можно утверждать:

- разработки компании ООО «МКС» обеспечивают не только взрывопожарозащищенность кораблей, но и такое немаловажное их свойство, как живучесть;
- для количественной оценки влияния инновационных материалов компании «МКС» на живучесть кораблей специалисты выполняют

а)



б)

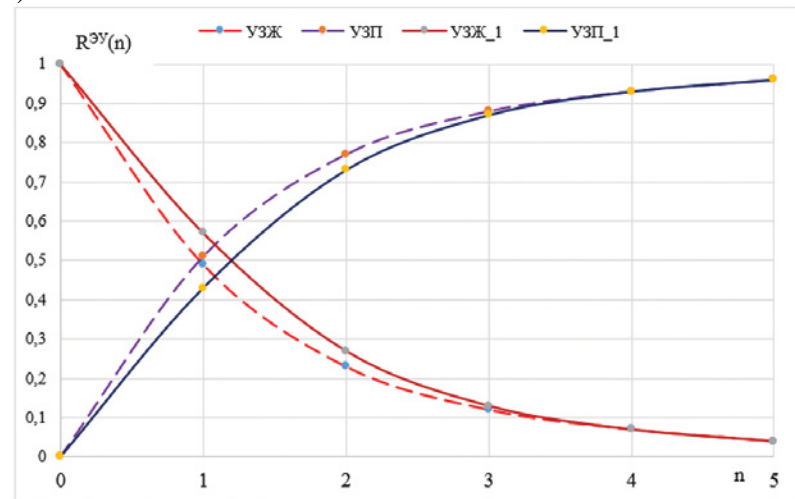


Рис. 9. Расчетные значения УЗЖ (УЗП) пораженной части корпуса условных кораблей двух различных классов: а – условный корабль малого водоизмещения; б – условный корабль большого водоизмещения

научно-техническое обоснование средств разработки математической модели и методики, которые учитывают специфику проявления и развития боевых и аварийных повреждений, а также особенностей противостояния корабельных конструкций из этих материалов развитию таких неблагоприятных воздействий.

## ЛИТЕРАТУРА

1. О промышленной безопасности опасных производственных объектов. Федеральный закон // Сб. документов «Декларирование промышленной безопасности опасных производственных объектов». – Сер. 27. – 2003. – Вып. 3. – М.: ГУП НТЦ «Промышленная безопасность» при Госгортехнадзоре России. – С. 5–27.
2. РД 03-418–01. Методические указания по проведению анализа риска опасных

- производственных объектов // Нормативные документы межотраслевого применения по вопросам промышленной безопасности и охраны недр. – 2001. – Вып. 10. – М.: ГУП «НТЦ ПБ» Госгортехнадзора России. – 60 с.
3. Можяев А.С. Автоматизация моделирования систем ВМФ. Часть II. Автоматизированное структурно-логическое моделирование систем: Учебник ВМА. – СПб.: ВМА, 2006. – 577 с.
4. На атомном ледоколе «Арктика» произошел пожар. – Вести. <https://www.vesti.ru/doc.html?id=95924&cid=8>.
5. Протокол заседания совета Коллегии военно-промышленной комиссии Российской Федерации по кораблестроению от 16.12.2014 г., Санкт-Петербург, № ВПК (С-8)-14(9).
6. Пожары на флоте – удар по безопасности России // Морские порты. – 2013. – №4.
7. Международная Конвенция по охране человеческой жизни на море: Консолидированный текст Конвенции СОЛАС–74, Лондон, 1974. ■





РАЗМЕРЫ			ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ	
Характеристика	Дюймы	Миллиметры	Характеристика	Измерение
Длина (общая)	70"	1780 mm	Максимальное Буксирное Усилие	15 kN (3372 фунтов-силы)
Ширина (общая)	100.8"	2560 mm	Скорость	0-4,5 км/ч (0-2,8 мили/ч)
Высота (над ведущими колесами)	13.8"	350 mm	Радиус Поворота При Вождении	2400 mm (116.9')
Высота в центре	8.5"	215 mm	Радиус Поворота При Рулении	0 mm
Колесная база	53.6"	1362 mm	Продолжительность работы	5 часов непрерывного движения, тянущего летательный аппарат весом 11000 кг (24250 фунтов)
Колесная колея – Рулевое управление	55"	1400 mm		
Колесная колея – Привод	67.6"	1718 mm		
Дорожный просвет	2.8"	70 mm		

Рис. 24. Габариты и технические характеристики транспортера «MANTIS» из каталога компании Curtiss-Wright's INDAL  
 URL: [https://s2.q4cdn.com/767595508/files/doc\\_downloads/indal/mantis/MANTIS-RAM-Mk1-3\\_Aproved.pdf](https://s2.q4cdn.com/767595508/files/doc_downloads/indal/mantis/MANTIS-RAM-Mk1-3_Aproved.pdf) (дата обращения 20.06.2021).

## ШАССИ

- Корпус шасси изготовлен из мягкой стальной пластины S275 (43a)
- Интегрированное буксирное приспособление, адаптерная дисковая укладка и точки подъема/крепления
- Готовность к дополнительным опциям
- Плоская нижняя поверхность без рельефа
- Все колесные узлы размещены в изолированных зонах для защиты

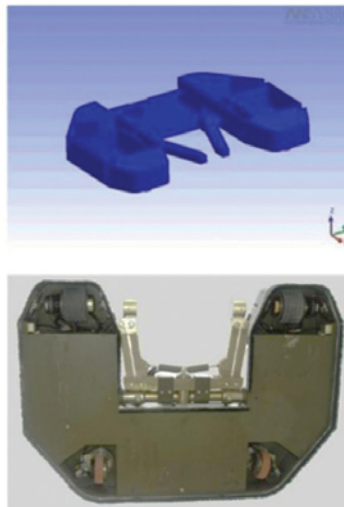


Рис. 25. Компонка системы транспортера «MANTIS» из каталога компании Curtiss-Wright's INDAL  
 URL: [https://s2.q4cdn.com/767595508/files/doc\\_downloads/indal/mantis/MANTIS-RAM-Mk1-3\\_Aproved.pdf](https://s2.q4cdn.com/767595508/files/doc_downloads/indal/mantis/MANTIS-RAM-Mk1-3_Aproved.pdf) (дата обращения 20.06.2021).

## Электрическая система

ЗАРЯДКА БАТАРЕЙ	БАТАРЕИ	ГЛАВНЫЙ КОНТАКТОР
<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Общешировая зарядка от 96В до 264В при 50-60 Гц</li> <li>■ Интеллектуальное 3-ступенчатое зарядное устройство с ускоренной, постоянной зарядкой и подзарядкой</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 12 закрытых 12-ти Вольтовых ячеек – (280 Ампер-часов при 48 Вольт)</li> <li>■ Расположены в 2 отсеках, по 6 батарей в каждом со встроенной подъемной ручкой</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 4-позиционный выключатель с последующим переключением               <ul style="list-style-type: none"> <li>– Претоваривает одновременный выбор различных режимов</li> </ul> </li> <li>■ Переключатели: ВКЛ / ВЫКЛ / ЗАРЯДКА / EBR</li> </ul>

Рис. 26. Характеристики электрической системы транспортера «MANTIS» из каталога компании Curtiss-Wright's INDAL  
 URL: [https://s2.q4cdn.com/767595508/files/doc\\_downloads/indal/mantis/MANTIS-RAM-Mk1-3\\_Aproved.pdf](https://s2.q4cdn.com/767595508/files/doc_downloads/indal/mantis/MANTIS-RAM-Mk1-3_Aproved.pdf) (дата обращения 20.06.2021).

Особый интерес представляет матричный зажим, характеристики которого представлены на рис. 23. Он включает два основных узла:

1) патронный узел, выполненный из пластины, к которой крепятся 140 плотно расположенных друг к другу штифтов (по схеме сот) так, что штифты способны при внешнем воздействии с одного из направлений проходить через отверстия в пластине (также расположенные по системе сот). При этом каждый из штифтов соединен с пластиной через пружину сжатия, которая возвращает штифт в исходное состояние после снятия внешнего воздействия. Плотно расположенные друг к другу штифты образуют шестиугольную призму;

2) корпус, представляющий собой цилиндрическую втулку, внутренняя часть которой выполнена в виде шестиугольного призматического паза с выточными по контуру цилиндрическими канавками, служащими своими внутренними обводами в качестве направляющих для внешне расположенных штифтов патронного узла.

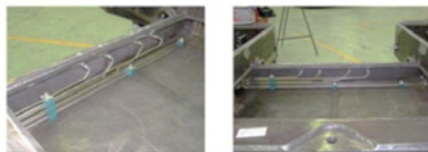
Основное преимущество матричного зажима по сравнению с другими захватами в том, что он может адаптироваться под сложные формы торцовых поверхностей колес разных летательных аппаратов и надежно фиксироваться. Зажим имеет ограниченную степень свободы в осевом направлении матричной головки для адаптации к форме поверхности захватываемого объекта, ортогональной к оси головки. После захвата и фиксации перемещение возможно в любых направлениях.

Подобные конструкции матричных захватов используются немецкой компанией Matrix GmbH в станочном оборудовании. Данная компания – заявитель патента EP0857544A2, в котором описана конструкция данных удерживающих устройств. Различием с захватами, используемыми на тележках и транспортерах компании Curtiss-Wright's INDAL, является отсутствие необходимости ручной фиксации формы, занимаемой штифтами после контакта с объектом. Фиксация происходит автоматически через гидравлическую фиксацию рычагов, на которых расположены «матричные зажимы», благодаря совместному использованию двух «матричных зажимов» на каждом из колес основных стоек шасси.

В настоящий момент наметилась следующая тенденция в эксплуатации различной авиационной техники: замена громоздких машин-тягачей с двигателями внутреннего сгорания на более компактные и экономичные электрические беспилотные транспортеры с аккумуляторным питани-



- Полностью интегрированный модульный гидравлический пакет
- Содержит бак, трубопровод, клапаны и бортовой манометр, который может быть прикреплен к любой контрольной точке для гидравлических проверок
- Ручные выпускные клапаны для аварийных ситуаций
- Все металлические трубы изготовлены из нержавеющей стали
- Все гидравлические рукава/шланги имеют одинаковую длину чтобы свести к минимуму комплект запасных частей



12 | March 30, 2020 | Proprietary © 2020 Curtiss-Wright

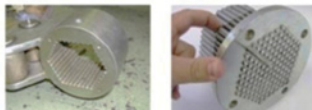
CURTISS-WRIGHT

Рис. 27. Характеристики гидравлики транспортера «MANTIS» из каталога компании Curtiss-Wright's INDAL

URL: [https://s2.q4cdn.com/767595508/files/doc\\_downloads/indal/mantis/MANTIS-RAM-Mk1-3\\_Approved.pdf](https://s2.q4cdn.com/767595508/files/doc_downloads/indal/mantis/MANTIS-RAM-Mk1-3_Approved.pdf) (дата обращения 20.06.2021).

## МАТРИЦА

- Ключ к матрице представляет собой зажимную головку, состоящую из стального корпуса, в который вмонтирован патронный узел из штифтов
- Все 140 штифтов индивидуально монтируются на пружинах через заднюю пластину, которая образует узел картриджа
- В случае повреждения штифта картридж может быть извлечен из транспортера и отремонтирован – запас картриджей можно носить с собой, чтобы свести к минимуму время простоя транспортера.
- Вся матрица в сборе колеблется на 7° вокруг центра, чтобы учитывать угол наклона колеса



13 | March 30, 2020 | Proprietary © 2020 Curtiss-Wright

CURTISS-WRIGHT

Рис. 28. Матрица транспортера «MANTIS» из каталога компании Curtiss-Wright's INDAL

URL: [https://s2.q4cdn.com/767595508/files/doc\\_downloads/indal/mantis/MANTIS-RAM-Mk1-3\\_Approved.pdf](https://s2.q4cdn.com/767595508/files/doc_downloads/indal/mantis/MANTIS-RAM-Mk1-3_Approved.pdf) (дата обращения 20.06.2021).

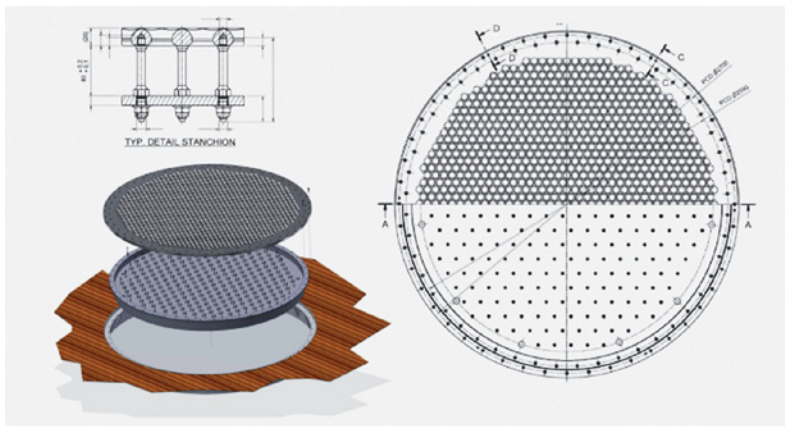


Рис. 29. Схема конструкции палубной решетки

URL: <https://company.metstrade.com/Cramm-Yachting-Systems-B-V-?Language=EN&eventid=25484&account=00034931-0> (дата обращения 05.06.2021).

ем и с дистанционным управлением, подобным изделию «MANTIS».

Кроме Curtiss-Wright's INDAL большую линейку авиационных транспортеров для различных типов авиационной техники разработала немецкая компания Mototok International GmbH, в том числе для применения на кораблях в качестве буксиров для вертолетной техники.

Схема работы транспортеров заключается в захвате носовой стойки шасси, образованной спаренным колесом, подъеме и фиксации стойки на транспортере. При этом носовая стойка шасси должна быть свободна для поворота. Маневрирование и повороты БПЛА осуществляются за счет поворота основной стойки шасси вместе с транспортером и движением транспортера. Конструкция летательного аппарата, таким образом, должна быть рассчитана на подобную буксировку, чтобы исключить трение и скольжение шин колес на всем пути транспортировки.

## ПАЛУБНЫЙ ЗАМОК «ГАРПУН» И ПОСАДОЧНАЯ РЕШЕТКА

Система закрепления и удержания вертолета при посадке на палубу – гарпунный палубный замок (Harpoon deck lock) и посадочная решетка (Landing grid) состоят из двух основных элементов – палубного замка «гарпун», расположенного и закрепленного в нижней части фюзеляжа вертолета, и посадочной решетки, являющейся составной частью палубы корабля, в некоторых источниках называемой палубной решеткой (Deck grid).

Палубные решетки изготавливаются и поставляются для флотов стран НАТО, стран Юго-Восточной Азии и Южной Америки различными компаниями, в частности, южно-корейской Hankook Engineering Pte. Ltd, американской Claverham, голландской Cramm HLS, бельгийской VDL-KTI, немецкой FHS, французской Naval Group.

Исходя из данных, находящихся в открытых интернет-ресурсах, палубная решетка состоит из нескольких основных частей. В палубу на ВППл корабля встраивается цилиндрический стакан, в котором размещается сборочный узел палубной решетки. Узел состоит из основания в форме цилиндрического горшка в сборе с закрепленной на нем через шпильки и болты решеткой в форме диска (рис. 29–31).

Основные отверстия (диаметром 2 дюйма) расположены на диске «решетки» по системе сот, максимально уплотнены друг к другу так, что сечение по плоскости, на которой лежат оси любых двух отверстий, образуют «каплевидный» профиль, направленный острием вверх. Вместе эти отверстия образуют диск, не занимая лишь границу

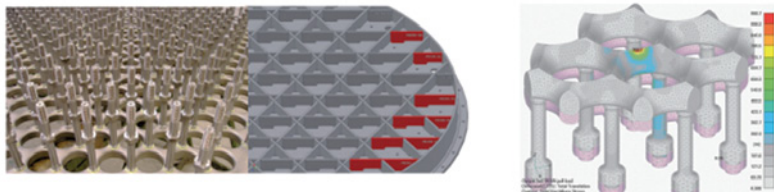


Рис. 30. Конструктивные элементы палубной решетки с эторой нагрузок из каталога компании Cramm HLS

URL: <https://company.metstrade.com/Cramm-Yachting-Systems-B-V-?Language=EN&eventid=25484&account=00034931-0> (дата обращения 05.06.2021)..

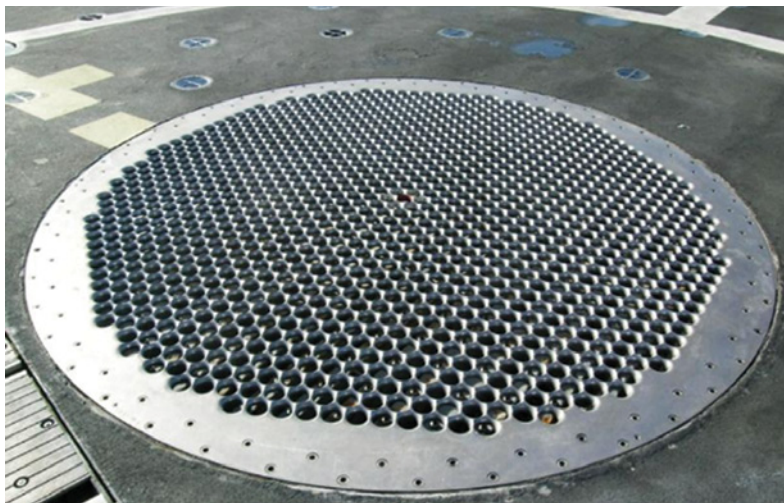


Рис. 31. Решетка на палубе корабля

URL: <http://www.365design.in/helipad-consulting/heligrd> (дата обращения 05.06.2021).

по периметру диска решетки. Шпильки с равным друг от друга шагом монтируются с внутренней стороны диска решетки в глухих отверстиях, просверленных между основными отверстиями. Ровно с таким же шагом точно просверлены отверстия под другой конец шпилек на дне горшка «основания».

На решетке по границе диска также просверлены отверстия по двум круглым контурам. Внешний контур отверстий служит непосредственно для креп-

ления к стакану в палубе, внутренний контур для крепления диска решетки через болтовые соединения с основанием, после того как шпильки, плотно смонтированные основаниями гайками.

Решетки имеют средний диаметр 6 футов и располагаются в центральной части ВПП.

Гарпунный замок устанавливается на большое число типов вертолетов производства компаний Европы и в меньшей степени США, где предпочтение от-

дают больше зонду. Это вертолеты марок «Wasp», «Lynx», «Bell 206/407», «NH90», «EC-120/145, AS565 MBe», «AS355», «Augusta AW109/AW119/AW159». Также подобная система в несколько упрощенном варианте нашла применение в морских БПЛА.

Гарпунный замок встраивается в нижней части фюзеляжа вертолета в центре вращения относительно его стоек шасси таким образом, чтобы вертолет мог вращаться вокруг закрепленного палубного замка. Центр тяжести вертолета также должен быть расположен так, чтобы их общая ось с центром вращения относительно стоек шасси была наиболее перпендикулярна палубе, иначе при выравнивании вертолета будут возникать большие нагрузки на фюзеляж.

При данной системе закрепления и удержания вертолета требуется, чтобы пилот зависал над посадочной решеткой, чтобы задействовать запирающий гарпун. После касания вертолетом палубы корабля пилот нажимает кнопку на пульте, и гарпун гидравлически вытягивается в сторону палубной решетки. На конце гарпуна находится «двухпальный зонд», или «клюв», который, благодаря своей конструкции, сам находит путь между двумя отверстиями в сетке (для чего в конструкции гарпуна предусматриваются дополнительные степени свободы по отклонению его от основной оси воздействия). При этом «клюв» смыкается под решеткой от контакта с ней и, по сути, цепляется за кусок металла между двумя отверстиями решетки. Затем гидравлический цилиндр автоматически переключает направление и притягивает вертолет вниз к сетке, сжимая опоры основных стоек шасси с встроенным масляным амортизатором (англ. Oleo leg), и таким образом удерживает его на палубе (рис. 32–34, 35, а–б).

Некоторые вертолеты (тип «Lynx») при этом способны переходить в режим работы с отрицательной тягой от несущего винта, при котором вертолет толкается на палубу, но это является аварийным режимом, так как это серьезно напрягает головку несущего винта и редуктор. В крайнем случае режим работы с отрицательной тягой может позволить сильнее толкнуть вертолет на полетную палубу, чтобы избежать соскальзывания за борт, если вертолет приземлился мимо решетки. Это дает достаточно времени экипажу летной палубы, чтобы пришвартовать его. Когда вертолет снова готов взлететь, пилот нажимает кнопку на пульте управления, и гарпун отключается. Как только это визуально подтверждается палубной командой, пилот может взлетать.

Такие вертолеты, как «Lynx», имеют носовую стойку шасси (носовое колесо),

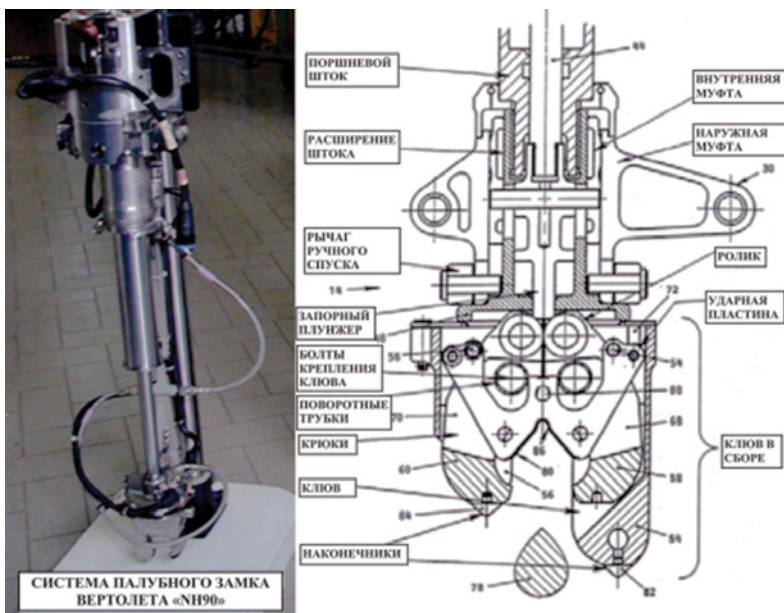


Рис. 32. Гарпунный палубный замок вертолета «NH90»

URL: <https://company.metstrade.com/Cramm-Yachting-Systems-B-V-?Language=EN&eventid=25484&account=00034931-0> (дата обращения 06.06.2021).



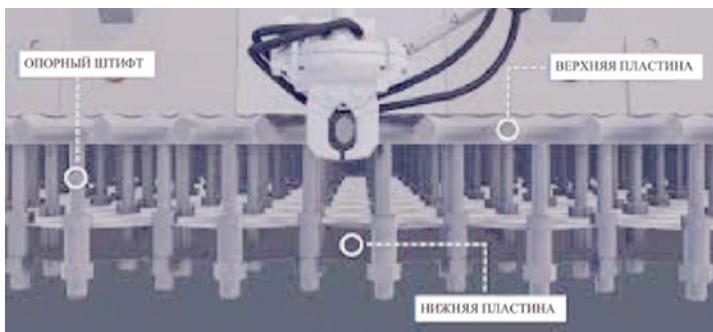


Рис. 33. Схема палубной решетки в зацеплении с замком  
URL: <http://hankook-eng.com.sg/naval-equipment/?ckattempt=1> (дата обращения 05.06.2021).

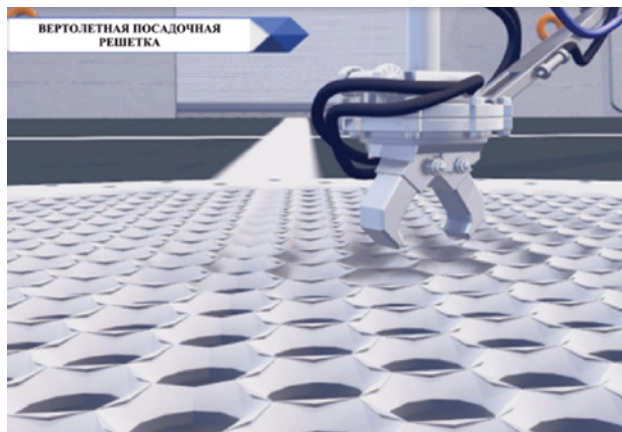


Рис. 34. Одна из схем палубного замка  
URL: <http://hankook-eng.com.sg/naval-equipment/?ckattempt=1> (дата обращения 07.06.2021).

а)



б)



Рис. 35. Палубный замок в зацеплении с палубной решеткой в разных положениях (а–б)  
URL: <https://twitter.com/realkaypius/status/1264574192172687363?lang=ca> (дата обращения 07.06.2021); URL: [https://www.vdlkti.be/\\_asset/\\_public/\\_site\\_44/3-Folder-Helicopter-Landing-Grids-VDL\\_Iv.pdf](https://www.vdlkti.be/_asset/_public/_site_44/3-Folder-Helicopter-Landing-Grids-VDL_Iv.pdf) (дата обращения 11.06.2021).

которое можно повернуть на 90° и использовать хвостовой винт для поворота вертолета влево или вправо по мере необходимости, находясь при этом в зацеплении через палубный замок с палубой корабля. Таким образом, при определенных благоприятных условиях качки и ветра возможно выравнивание вертолета относительно ДП без применения дополнительных устройств.

Самые тяжелые сетки, поставляемые бельгийской VDL-KTI, выдерживают тяговое усилие 110 кН и нисходящие нагрузки 220 кН.

Голландская компания Статм НЛС приводит следующие данные: «Решетчатая пластина спроектирована таким образом, чтобы иметь, по крайней мере, прочность, достаточную для принятия восходящей силы, равной разрывной силе гарпуна или палубного замка, плюс 10-процентный запас прочности. Система блокировки гарпуна или палубы имеет максимальную тяговую нагрузку 80 кН, которая сохраняет работоспособность в следующих условиях – см. табл. 1».

Таблица 1

Условия	Движение судна		Условный ветер		
	Дифферент, град	Крен	Спереди	На траверзе	На корме
Статичное (гарпун)	30	-	50 уз Сильный ветер – сила 89–102 км/ч в течение 10 минут [10]	50 уз	50 уз
Статичное (гарпун + швартовка)	30	-	65 уз Ураганный ветер – сила > 117 км/ч в течение 10 минут [12]	65 уз	65 уз

Таким образом, эта система может закрепить вертолет на палубе без необходимости подхода к нему кого-либо из персонала, что важно для безопасности. Также в отличие от посадочной сетки, применяемой на кораблях ВМФ РФ, данная система обеспечивает удержание не только от скольжения колес вертолета по палубе, но и вертолета от опрокидывания. Однако посадочная сетка занимает все пространство ВППл и, тем самым, гарантирует защиту вертолета от скольжения по палубе при контакте, в отличие от гарпунной системы закрепления, когда возможны в редких случаях несрабатывание замка или посадка мимо посадочной сетки.

Недостатки такой системы закрепления и удержания:

- обледенение при эксплуатации в арктических и субарктических широтах;
- значительная трудоемкость обеспечения дренажа морской и талых вод из конструкции палубной сетки;



Рис. 36. Кран на динамической платформе компании Ampelmann  
 URL: <https://magnet.me/en-GB/company/ampelmann> (дата обращения 20.07.2021).

– часть полезной нагрузки и пространства вертолета заняты палубным замком и обслуживающей его системой гидравлики.

Патент FR305652B1 (заявитель – французское подразделение компании Airbus helicopters) описывает альтернативную конструкцию гарпунного палубного замка, размещаемого под фюзеляжем вертолета.

Одним из методов защиты от обледенения и обводнения может быть использование герметичного кожуха, закрывающего конструкцию сетки со стороны палубы, который снимается при подготовке ВПП к посадке ЛАК.

### АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ СИСТЕМЫ ПОМОЩИ ПОСАДКЕ ЛАК НА ПАЛУБУ

Технологическое развитие УТ значительно ограничено тем, что при проектировании нового корабля и устройств посадки/транспортировки ЛАК надо учитывать необходимость его взаимодействия не только с перспективными конструкциями, но и с уже имеющимися в распоряжении флота, а также предусматривать при выполнении боевых задач возможность перехода ЛАК на ко-

рабли более ранних модификаций.

Отдельно нужно отметить, что существуют и иные методы и пути облегчения взаимодействия ЛАК с кораблем, которые имеют перспективу развития. Например, совершенствование корабельных систем успокоения качки с целью повышения коэффициента умерения и, как следствие, расширение возможности использования ЛАК в сложных метеоусловиях.

Для ряда случаев может быть перспективным применение самопозиционирующейся ВПП, устанавливаемой на шарнирных гидроцилиндрах, самостоятельно отслеживающей положение корабля и нивелирующей воздействие качки по принципу работы устройств, предназначенных для взаимодействия судов со стационарными платформами голландской компании Ampelmann.

Кинематическая система, на которой основана подобная конструкция, представляет собой пространственное движение машины с шестью элементами привода и получила название гексапод. Гексапод – это особая форма параллельной кинематической машины, которая имеет шесть ножек переменной длины. Типичная конструкция гексапода обеспечивает мобильность во всех шести сте-

пенях свободы (трех поступательных и трех вращательных).

Из-за особой кинематики принцип конструкции гексаподов получил распространение в робототехнике, станкостроении, авиации и космонавтике, широко используется в конструкциях авиасимуляторов.

Подобная динамическая платформа, помимо помощи при посадке компенсации кренов и дифферентов корабля от волнения моря, также может обеспечить выравнивание вертолета на линию транспортировки в ангар после его посадки в ограниченных пределах.

ООО «Прикладная механика» показала на X Международном военно-морском салоне (МВМС–2021) в Санкт-Петербурге свои гексаподы. Продукция компании широко представлена в космической отрасли. В частности, манипуляторы использовались в бортовых исполнениях для космических аппаратов, калибровки звездных датчиков, отработки систем маневрирования и уклонения систем маневрирования.

Подобные устройства габаритны. Работоспособность их в условиях обледенения является предметом отдельного исследования. ■

*Продолжение следует*



Интерес рыбопромышленных компаний к крабам как к объекту промысла обусловлен вкусовыми качествами и пищевой ценностью продукции, получаемой из него и, как следствие, его высокой рыночной стоимостью. В начале XXI в. возобновился промысел крабов на Дальнем Востоке, впервые разрешен промысел в Баренцевом море, что наряду с государственной программой инвестиционных квот, стимулирует развитие судостроения.

В последние несколько лет было спроектировано и спущено на воду несколько краболовных судов, и их строительство продолжается.

Данная работа структурирует имеющуюся информацию о промысле крабов, развитии промысловых работ от применения отдельных орудий до создания специализированных судов.

## ИСТОРИЯ ПРОМЫСЛОВОГО ИЗУЧЕНИЯ КРАБОВ

Пионером в области крабового промысла считается Япония, традиция ловли крабов в которой известна с начала XIX в. Первое время крабов ловили малыми судами в прибрежных водах и одиночными судами в открытом море [1]. В тот же период Россия начала осваивать свои восточные пределы, и в 1815 г. камчатский краб был впервые описан российским натуралистом В.Г. Тилезиусом в статье «О крабах камчатки, мокрицах и низших раках», опубликованной в Записках Императорской Академии наук. Спустя несколько десятилетий, в 70-е гг. XIX в., Россия присоединилась к промыслу краба в дальневосточных морях.

В то время обработку улова в море не проводили, крабов доставляли на берег и затем варили. Первые неудачные попытки консервирования были предприняты на Камчатке в конце 90-х гг. XIX в., а в Японии – в начале XX в. Первые партии консервов приготовлены в Японии в 1907 г. из мяса краба-стригуна, а из мяса камчатского краба – в 1909 г. В 1908 г. в Приморье в бухте Гайдамак был открыт первый русский крабконсервный завод [2].

В начале XX в. японские рыбопромышленники значительно расширили свое производство и промысловый флот. В 1920 г. в море выходит первый японский плавучий рыбоконсервный завод, а спустя три года – еще пять таких судов. Данный подход позволял вести добычу и перерабатывать улов в открытом море. С этого момента промысел велся уже тремя способами: в открытом море с использованием больших плавбаз или одиночных судов и в прибрежных районах малыми судами.

Высокая ценность камчатского краба послужила предпосылкой для искусственного переселения его в Баренцево море, где он не только прижился, но и образовал устойчивые промысловые концентрации [3].

## КРАБОЛОВНЫЙ ФЛОТ РОССИИ

В 20-х гг. XX в. началась новая глава развития отечественного крабового промысла. Япония энергично двигалась вперед, увеличивая объемы улова и совершенствуя флот, поэтому нашей стране предстояло быстро нарастить темпы, чтобы иметь возможность конкурировать с дальневосточными соседями.

В 1928 г. Дальгострыбтрест приобрел японский сухогруз «Тайя-мару», на которое в рекордно быстрые сроки, там же, в Японии, было установлено оборудование рыбоконсервной фабрики – судно, спустя считанные дни, отправилось на свой первый промысел. Оно получило название «Первый краболов». В том же году Акционерное Камчатское общество приобрело сухогруз американской постройки, также пред-

# К ВОПРОСУ ФОРМИРОВАНИЯ СОВРЕМЕННОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О КРАБОЛОВНОМ СУДНЕ

**В.Ю. Светова**, вед. конструктор по архитектуре ГПП,  
**А.В. Кошелев**, гл. конструктор по перспективному проектированию,  
**Е.В. Николаев**, гл. конструктор направления,  
ООО ПКБ «Петробалт»,  
контакт. тел. (812) 644 5686

назначенный для дооснащения фабрикой. После поднятия советского флага судно получило название «Камчатка» [2]. Краткие характеристики судов приведены в табл. 1.

Таблица 1  
**Характеристики первых краболов-процессоров  
в России**

Название судна	Длина, м	Ширина, м	ГТ	Грузоподъемность, т	Год постройки, страна
«Первый краболов»	95,25	12,30	2658	2750	1913 Япония
«Камчатка»	79,7	13,31	2701	2674	1919 США

«Первый краболов», «Камчатка» и остальные суда, которые впоследствии были введены в строй промыслового флота СССР, работали по тем же принципам, что и японские, это были плавбазы, оборудованные фабриками по переработке улова. Для лова использовались мотоботы водоизмещением 7–8 т каждый, обычно на каждой плавбазе было 6–14 промысловых мотоботов. На время переходов их поднимали и крепили по бортам плавбазы.

В следующие десятилетия возрастали требования к энергооборуженности судов, рос уровень механизации, на мотоботы устанавливали более мощные двигатели.

В 90-е гг. государственная монополия на промысел крабов прекратилась. Количество предприятий, занимающихся ловлей крабов, увеличивалось лавинообразно. Согласно данным Госкомрыболовства РФ, по состоянию на 1 января 1999 г. добычу крабов в Дальневосточном бассейне осуществляли порядка 160 предприятий, имевшие свыше 350 ед. флота, оборудованных для специализированного промысла крабов.

Кроме ставших уже традиционными японских судов с коническими ловушками стали закупать и осваивать американские краболовы-процессоры, использующие в качестве орудия лова прямоугольные и трапециевидные ловушки. Благодаря этому опыту в наши дни промысловые компании применяют ловушки различных типов в зависимости от навыков экипажей.

К концу XX в. изменяется концепция лова – происходит переход от применения больших плавбаз к одиночным судам.

## ОРУДИЯ ЛОВА

Первым орудием для ловли крабов были донные жаберные сети длиной около 100 м. Сети выставляли на путях миграций или кормовых скоплений, поднимали лебедкой и вместе с уловом укладывали в трюмы.

Лов с помощью сетей, с учетом возросших объемов добычи, крайне негативно влиял на численность крабов: прилов молоди и самок доходил до 70% и практически полностью уничтожался [3].

В 1956 г. было принято, что промысел крабов следует вести по специальным разрешениям в рамках объемов выделенных квот [5]. С 1957 г. реализуются системы контроля за добычей крабов, начаты регулярные исследования запасов, разработаны мероприятия по охране и регулированию объемов изъятия крабов на основе лимитированного про-

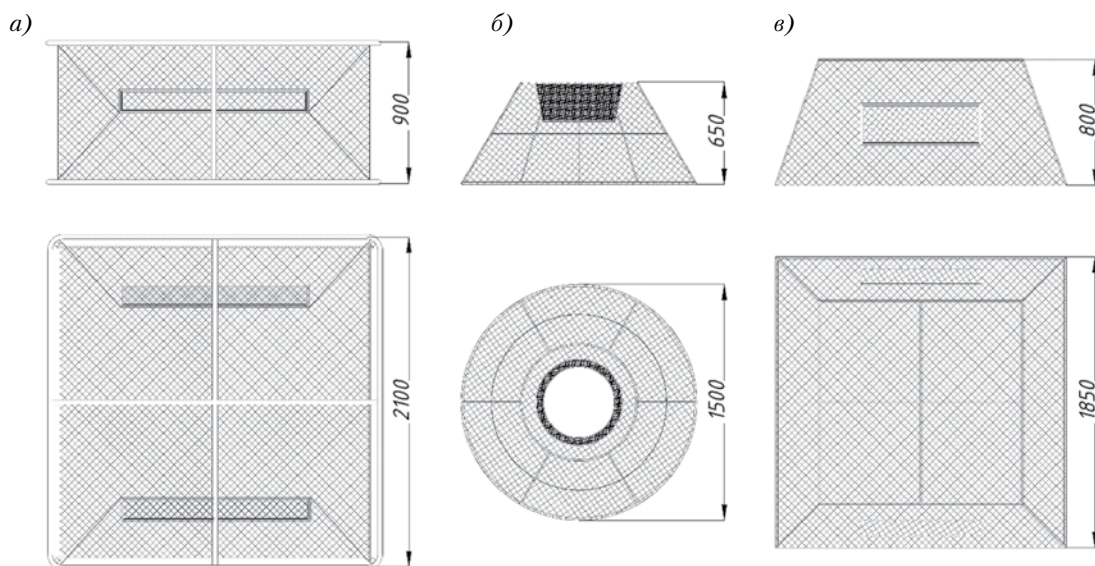


Рис. 1. Ловушки для промышленной добычи краба:  
а – прямоугольная, б – коническая, в – трапецевидная

мысла [3]. В 1971 г. [6] в числе прочего регламентируется минимальный размер ячеей сети – 240 мм от узла до узла, что позволило обеспечить некоторую селективность вылова, но сети по-прежнему оставались не избирательны относительно молодых самцов (с карапаксом 7–13 см) и самок, а также других морских обитателей.

С 1968 г. в Японии получил распространение ярусный лов с использованием ловушек, который полностью заменил лов на донные сети [1]. Спустя несколько лет отечественные суда были также переоборудованы. В 1980 г. введен запрет на промысел крабов всеми орудиями лова, кроме ловушек.

В дальнейшем, с развитием идей и методик ответственного отношения к ресурсам моря, крабовые ловушки были дополнены «окнами безопасности», которые позволяют крабам выпутаться из ловушки при ее потере [3]. Проводятся исследования, направленные на уменьшение прилова крабов непромысловых размеров за счет селективных выпускных окон в стенках ловушек [4].

В настоящее время применяются три типа ловушек (рис. 1): конические (японские), трапецевидные, прямоугольные. Основные конструктивные отличия определяются геометрической формой, линейными размерами, способом выливки улова и вариантами их хранения на палубе.

Тип ловушек определяет организацию рабочей палубы и должен учитываться при проектировании судна. Так, для конических ловушек применяется сортировочный стол со слипом для непромысловых особей, а для прямоугольных – гидравлический стол. Конические ловушки объединяют в порядки, поэтому рабочая палуба оснащается лебедками для подрыва якоря, лебедкой хребтины, а также системами хранения тросов, буйев и механизированными транспортерами ловушек. Прямоугольные ловушки снабжаются буйами и выбираются за борт по одной, с той же позиции, где происходит ее подъем. У конических и трапецевидных ловушек дель на нижней раме развязывается, что позволяет их хранить стопками, что, в свою очередь, способствует более компактному их размещению на палубе. Для размещения прямоугольных ловушек судно должно иметь просторную палубу и гидравлический кран для их перемещения, так как масса ловушки может достигать 400 кг, ловушки укладываются на палубе одна на другую.

### СОВРЕМЕННЫЕ ПРОМЫСЛОВЫЕ СУДА

С развитием процессов лова, добычи, хранения и транспортировки росли требования к энерговооруженности судна и его обитаемости. Многомесячное пребывание современных

промысловых судов в море требует хорошо продуманных условий для работы и отдыха экипажа. Суда имеют специфическое расположение помещений, которое определяется типом судна и техникой лова.

За годы активного ведения промысла крабов глубина, на которой ведется лов, значительно возросла – еще в 60-е гг. XX в. она составляла 80–400 м [1], сегодня добыча глубинных крабов проводится при глубинах 1500–2500 м [7].

Краболовные суда можно разделить на две большие группы – живовозы (live carrier/live storage) и процессоры (processor).

Краболов-процессор оборудуется фабрикой, в которой ведутся разделывание, термическая обработка улова и упаковка готовой продукции. Для транспортировки груза на судне предусматривается морозильный трюм. Загрузка и выгрузка улова осуществляется через грузовой люк на палубе, в зависимости от выбранного типа ловушек размещается промышленное оборудование. Численность экипажа больше, чем на живовозах, так как помимо палубной команды включает в себя работников фабрики.

Краболовы-живовозы предназначены для лова и последующей транспортировки живых крабов с поддержанием необходимой температуры и уровня содержания кислорода в воде. Создание подходящих условий для поддержания жизненных функций крабов при транспортировке очень важно, так как при их нарушении с крабами происходят необратимые изменения, которые равноценны потере улова [3]. Опасность для перевозки данного типа представляют и ошибки при погрузке и выливке улова – вследствие повреждения или обсыхания у «королевских» крабов (камчатский и синий) происходит повреждение печени, выделяется пищеварительный фермент, разрушающий ткани.

Среди краболовов данного типа возможна вариативность за счет организации RSW-танков. Первый способ предполагает наличие нескольких корпусных цистерн большого объема, в которые помещаются клетки с уловом. Габаритные размеры таких танков определяются размерами клетки, используемой промышленной организацией, а также соотношением количества воды к количеству крабов. Для выгрузки улова на каждой цистерне предусмотрена грузовая крышка на верхней палубе. Второй известный способ перевозки – это «аквариумы» – малые вкладные RSW-цистерны. На главной палубе при этом есть только один грузовой люк, в который в корзинах загружают улов, далее крабов вручную распределяют по «аквариумам». Выгрузка выполняется также с высокой долей ручного труда. Данный подход предполагает бережную укладку улова



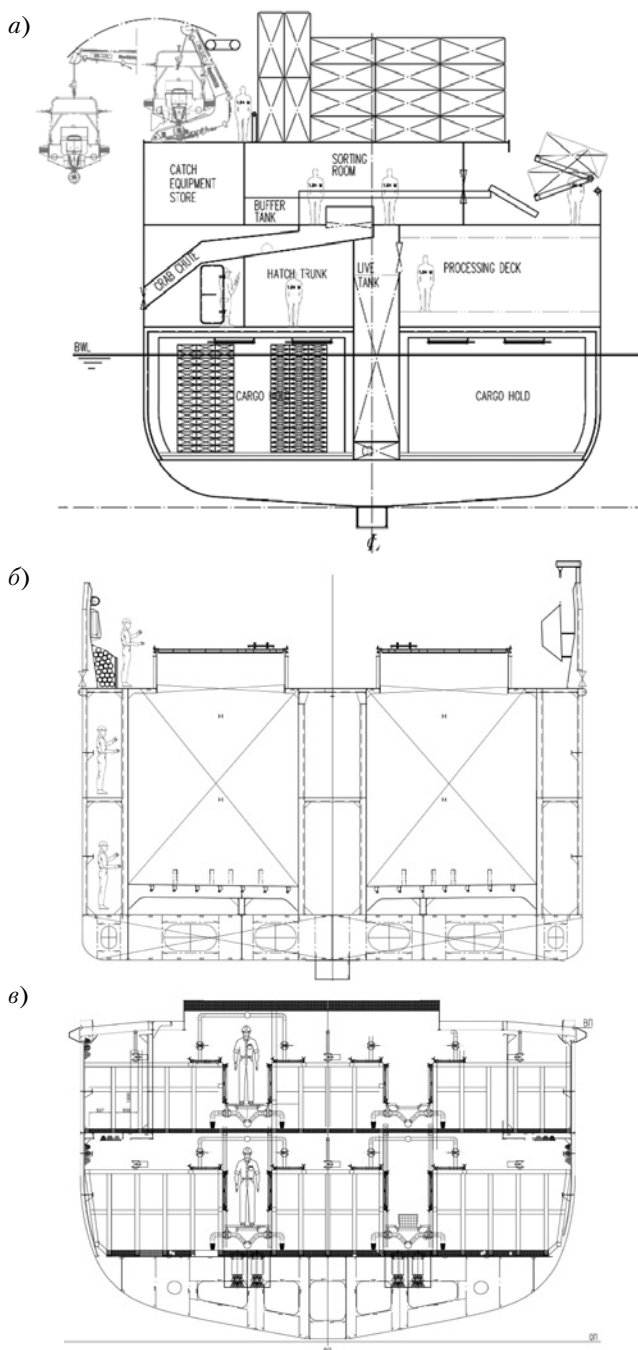


Рис. 2. Типовые сечения грузовых пространств судов-краболов: а – процессор, б – корпусные RSW цистерны, в – вкладные RSW цистерны

на каждом этапе и, как следствие, минимизацию повреждений крабов. Оба варианта сегодня применяются промышленными организациями, и затруднительно определить, какой из них более верный.

На предпочтения рыбопромысловых организаций относительно типа краболовного судна оказывает влияние рынок сбыта. Сложившаяся в последние три года ситуация заставляет промышленные компании, занимающиеся ловом в северных регионах (Баренцевом море), искать новые пути для реализации улова – ранее замороженную продукцию отправляли в европейские страны и США, сегодня все вынуждены ориентироваться на азиатский рынок. Некоторые компании экспериментируют со способами транспортировки крабов [8, 9] и с проведением маркетинговых компаний, другие переориентируются на нового для себя покупателя, переоборудуя краболовы-процессоры в живовозы [10].

На рис. 2 представлены типовые сечения грузовых пространств судов-краболов.

Важным событием в отечественном промышленном судостроении стали постановления Правительства РФ от 28 августа 2019 г. и от 7 августа 2023 г. Данными документами были утверждены требования к объектам инвестиций и инвестиционным проектам в рыбопромышленной отрасли в рамках программы инвестиционных квот.

Требования к краболовному (среднетоннажному рыбопромысловому) судну, обозначенные в постановлении Правительства [11], приведены ниже:

#### Требования к среднетоннажному рыбопромысловому судну

Длина наибольшая, м..... Свыше 50  
 Валовая вместимость (GT)..... Более 1000  
 Технические средства аудио-, видеофиксации, обеспечивающие накопление, обработку и хранение информации об улове ..... Обязательны

#### Живовоз

Объем емкостей для транспортировки краба, м<sup>3</sup> ..... Не менее 350

#### Процессор

Производительность, т/сут:

- продукции..... Не менее 10
- морозильного оборудования..... Не менее 15
- переработки отходов..... Не менее 2

В настоящее время на российских верфях по программе инвестиционных квот на обновление флота строятся краболовные суда различных проектов, основные характеристики которых представлены в табл. 2.

### СОЗДАНИЕ НОВЫХ КРАБОЛОВ. ОПЫТ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Проект 03070. Одной из первых среди российских рыбопромысловых компаний, решившихся на строительство и про-

Таблица 2

Характеристики строящихся краболовных судов

Проект, разработчик	Длина, м	Ширина, м	Осадка, м	Дедейт, т	GT	Скорость, уз	Экипаж, чел.	Автономность, сут	Мощность, кВт	Мощность ПУ, кВт	Объем грузового трюма, м <sup>3</sup>	Объем RSW-танков, м <sup>3</sup>	Количество RSW-танков, шт	Тип ловушек	Запасы топлива, м <sup>3</sup>
<b>Краболовы-живовозы</b>															
CCLC600, ПКБ «Петробалт»	56,0	13,5	4,5	1304,7	1711	12	24	40	1500	200	–	680	8	К	541
03070, ПКБ «Петробалт»	50,5	12,5	5,4	814	1208	12	28	30	1200	200	–	461	9	К	276
ССа5712LS, Damen	57,7	12,8	4,5	1181	1548	12,6	24	40	1620	400	–	640	9	К	400
03141, СК «Викинг»	63,3	10,6	4,0	691,62	1049	12	21	45	1618	нет	–	257	15	К	385
6135, МИЦ	61,4	13,2	5,5	1114,5	1645	12	26	39	2000	150	–	533	6	К	440
<b>Краболовы-процессоры</b>															
ССа5712P, Damen	57,9	12,8	4,5	700	1654	12,6	32	40	1620	400	500	–	–	К	400
03140, СК «Викинг»	63,3	10,6	4,0	673	1135	12	21	45	1618	нет	660	–	–	К	385
КСП01, МИБ	62,9	15,4	6,5	1415	2505	11	38	50	2720	600 440	1082	–	–	П	547



Рис. 3. Носовая секция ярусолова пр. PL-475  
Фото из архива ПКБ «Петробалт»

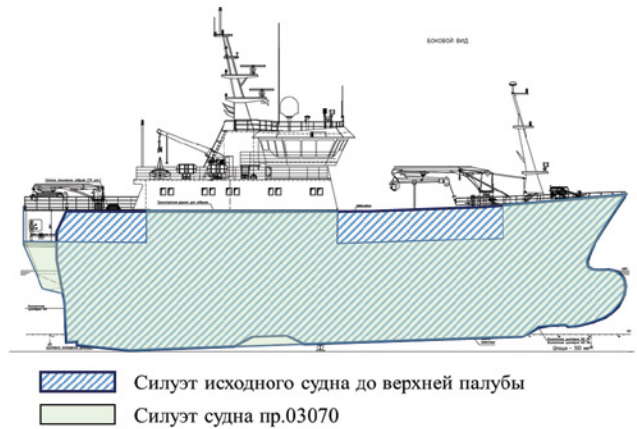
ектирование нового краболовного судна, стала ГК «Антей». В качестве завода-строителя выбор пал на АО «СЗ «Пелла», где, по стечению обстоятельств, ждали заказчика секции ярусолова пр. PL-475 (рис. 3), который стал основой для нового судна.

Проектирование велось в тесном контакте с будущим судовладельцем и эксплуатантом судна. Это способствовало тому, что ПКБ и завод-строитель внимательно учли все детали и особенности ловли крабов. Заказчиком был определен набор промыслового оборудования: тип и количество ловушек, элементы порядка и их количество, состав и характеристики палубного оборудования. С будущим судовладельцем согласовывалось расположение оборудования.

Применение конических ловушек предполагает функциональное разделение зоны подъема ловушек (зоны выборки) и зоны подготовки порядков и их установки. Выброс порядков осуществляется с кормы, на исходном судне не предусматривались рабочие операции в кормовой части судна, это привело к необходимости изменения его архитектуры, в том числе были внесены изменения в корпус. Области, измененные относительно исходного судна, показаны на рис. 4.

Вместо фабрики и морозильного трюма в центральной части судна размещены корпусные RSW-танки, всего девять штук. На высвободившейся верхней палубе организованы рабочие пространства, оборудованные для крабового промысла. План измененной верхней палубы с указанием основных областей, задействованных в промысловых работах, изображен на рис. 5.

Системы, обеспечивающие необходимые условия для жизнеобеспечения улова, спроектированы на основании набора параметров, заданных заказчиком: требуемые температура



Силуэт исходного судна до верхней палубы  
Силуэт судна пр.03070

Рис. 4. Визуализация изменений пр. PL-475 при проектировании пр. 03070

воды, скорость ее забора и охлаждения, необходимый уровень автоматизации.

При разгрузке каждой ловушки проводится сортировка крабов – оставляют только разрешенных для добычи – крупных самцов с карапаксом. Для учета улова организовано отдельное помещение, размещенное в непосредственной близости от зоны выборки. Здесь каждая пойманная особь взвешивается и вносится в журнал.

На кормовой рабочей палубе проходит подготовка порядков, установка приманки в ловушки, сборка порядка и выпуск готового порядка через лацпорт в транце. Основная масса ловушек при переходе к лову также располагается на кормовой палубе.

Пр. 03070 краболовного судна (рис. 6) стал первым в современной России.

**Проект ССЛС600.** После успешного ввода в эксплуатацию первого краболовного судна, в соответствии с программой инвестиционных квот многие промысловые компании обратили свой взор на возможности отечественного судостроения.

В 2021 г. ПКБ «Петробалт» вновь предоставилась возможность проектирования краболовного судна. В этот раз речь шла о создании нового проекта, выполненного с учетом отзывов об эксплуатации судна пр. 03070.

Новый проект, как и пр. 03070, разрабатывался для перевозки ценного живого улова, поэтому основной целью стояло повышение сохранности краба при транспортировке. Одной из задач было умерение качки, решение которой привело к созданию новой поверхности корпуса, выполненной на ос-

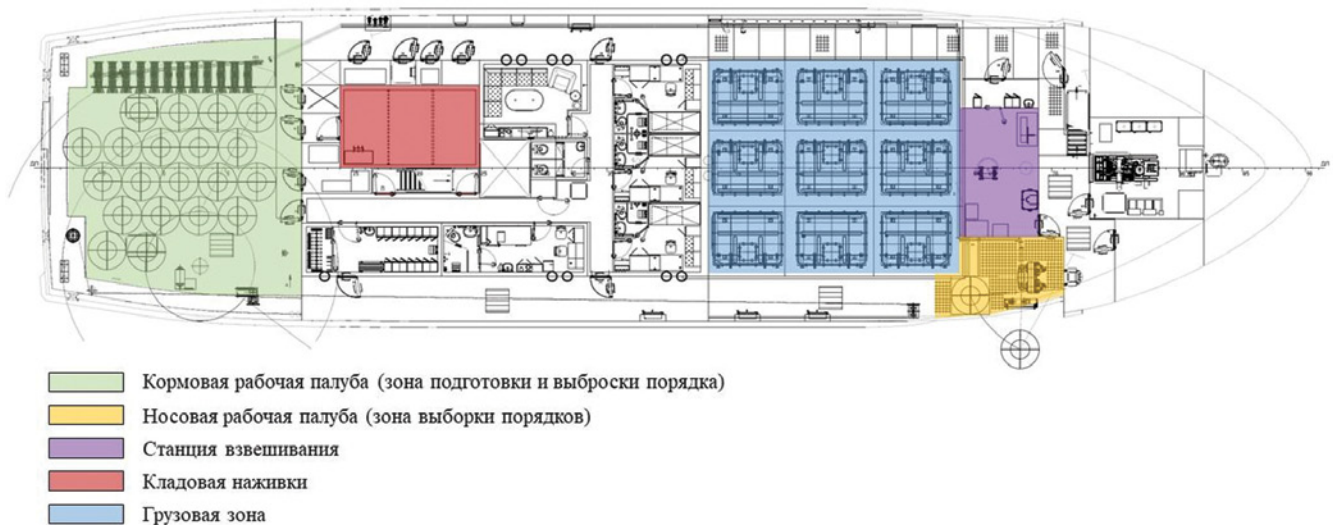


Рис. 5. План верхней палубы краболова пр. 03070





Рис. 6. Визуализация краболова «Русь» пр. 03070

нове опыта модельных испытаний судов и анализа хорошей морской практики. За счет новой формы носовой оконечности обеспечивается пониженное влияние волнения на судно, снижается амплитуда килевой и вертикальной качки.

Сравнение амплитуд вертикальной и килевой качки судна пр. ССЛС600 и краболова со стандартными обводами приведены на рис. 7 и рис. 8.

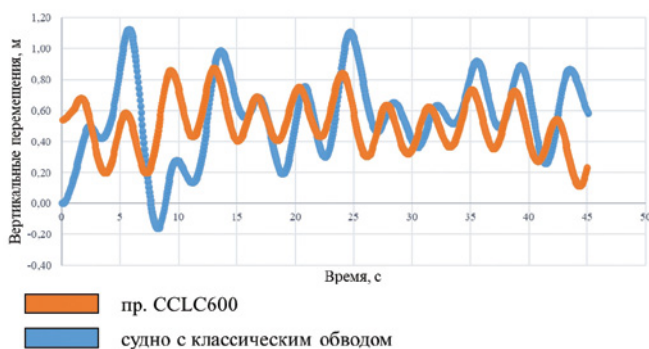


Рис. 7. Амплитуды вертикальной качки судов разных проектов

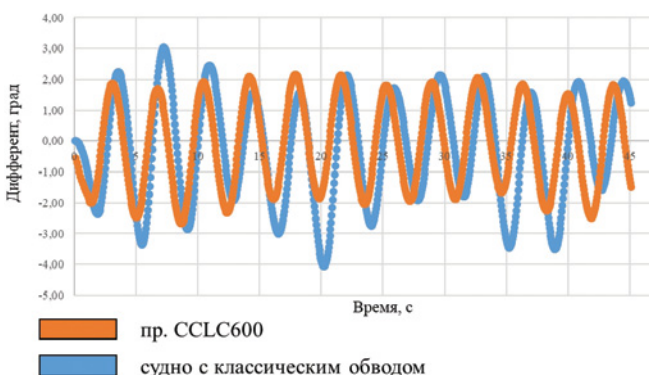


Рис. 8. Амплитуды килевой качки судов разных проектов

Разработанная носовая оконечность обеспечивает наименьшее повреждение перевозимого груза, так как судно качается с меньшими амплитудами и ускорениями. Достигнута плавная всхожесть на волну, что также благоприятно

влияет на перевозимый груз и создает комфортные условия для работы экипажа (рис. 9).

Габаритные размеры каждой из цистерн были пересмотрены и увеличены – в каждый танк помещено 10 клетей, благодаря чему увеличен фактический объем перевозимого улова. В конструкции RSW-цистерн учтен недостаток, выявленный при эксплуатации судна первого проекта – при определенных углах крена часть верхней клетки оказывалась не покрыта водой, в связи с чем увеличены комингсы люков.

В итоге принято решение о реализации компоновки с восемью танками, что позволяло сделать функциональный проход между цистернами, обеспечить доступ к каждой из них. В нижней части вновь образованного помещения были помещены элементы управляющей арматуры системы RSW, в верхней организован коридор, позволяющий пройти в кормовые помещения, минуя открытую палубу.

На основании анализа проведенных проработок форм корпуса, вариантов размещения цистерн и состава энергетической установки, обеспечения наличия просторной палубы для хранения ловушек, прямолинейной трассировки транспортера ловушек был принят вариант архитектурно-конструктивного типа с носовой надстройкой.

Такая компоновка позволила разместить машинное отделение в средней части судна, под жилой надстройкой. Полученная площадь была распределена как можно более рационально с целью обеспечения благоприятных условий для экипажа. Экипаж из 24 человек размещается в двух одноместных, шести двухместных и двух четырехместных каютах с индивидуальными санузлами.

Особое внимание при проектировании было уделено форме рулевой рубки. Решалась задача по организации рабочего пространства так, чтобы минимизировать количество членов экипажа, находящихся в помещении. В частности, форма выполнена асимметричной, с развитым крылом правого борта. Здесь размещен пульт управления судоводителя, который становится основным рабочим местом рулевого на время проведения операций по выборке и выбросу порядков. С этого поста управления обеспечивается видимость рабочей палубы, включая зону выборки, а также видимость по ходу движения судна.

Палуба бака закрытая, что с учетом предполагаемого района эксплуатации в дальневосточных морях особенно



Рис. 9. Визуализация судна пр. CCLC600

актуально, так как позволит защитить якорно-швартовное оборудование от обледенения и повреждений при околке льда.

Пр. CCLC600 выполнен с учетом постановления Правительства РФ № 719 от 17.07.2015 «О подтверждении производства российской промышленной продукции».

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По состоянию на сегодняшний день, суда-краболовы, проекты которых разработаны ПКБ, находятся на стадии строительства [12, 13]. Головное судно «Русь» пр. 03070 было передано заказчику в 2020 г. и продолжает эксплуатироваться.

Опыт и компетенции, полученные ООО ПКБ «Петробалт» при проектировании рыбопромысловых судов, позволили разработать проекты 03070 и CCLC600 в соответствии с требованиями нормативных документов и с учетом мировых тенденций отрасли.

При создании новых концепций краболовов учитывается состояние рынка судового оборудования в текущий момент, рассматриваются варианты транспортировки, оснащение различными типами ловушек, выполняются заданные параметры грузоместимости, прорабатываются вопросы улучшения ходкости и повышения энергоэффективности судна.

Успешность нового промыслового судна напрямую зависит от слаженного взаимодействия судовладельца, проектно-конструкторского бюро, завода-строителя и производителя оборудования. Анализ и мониторинг передовых технологий, технологических решений, доступного на рынке оборудования и отзывов экипажей, эксплуатирующих суда подобного типа, позволяет улучшить многие показатели судна, что в свою очередь приведет к повышению уровня условий труда моряков и более высокой эффективности судна.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Цудани Т. Японские промысловые суда. – Л.: Судостроение, 1982. – 148 с.
2. История промысла крабов на Дальнем Востоке // Ассоциация добытчиков краба Дальнего востока – URL: <https://crab-dv.ru/>

krabyi-dalnego-vostoka/istoriya-promyisla.html (дата обращения: 22.01.2025).

3. Слизкин А., Сафронов С. Промысловые крабы прикамчатских вод. – Петропавловск-Камчатский: Северная пачифика, 2000. – 142 с.
4. Способ улучшения селективных качеств ловушек для промысла камчатского краба / Павленко А.А., Лихошапко А.А., Лихозраев А.Ю., Шмелев С.В., Лютый С.Г. // Труды ВНИРО. – Т.186. – №4. – 2021. – С. 143–155.
5. Конвенция о рыболовстве в открытом море в северо-западной части Тихого океана между Союзом Советских Социалистических Республик и Японией от 14.05.1956.
6. Приказ Министерства рыбного хозяйства СССР от 07.04.1971 № 108.
7. Краболовный флот и ловушечный вид промысла // АО «Рыболовенский колхоз «Восток-1». – URL: <https://www.vostok1.com/flot-i-promysel/flot/> (дата обращения: 22.01.2025).
8. Группа компаний «Антей» освоила новый логистический маршрут для отправки живого краба из Мурманска в Китай / ГК «Антей». – URL: <https://t.me/anteygroup/596> (дата обращения: 22.01.2025).
9. Свежемороженый краб впервые отправлен из Мурманска в Корею через Владивосток / ГК «Антей». – URL: <https://t.me/anteygroup/522> (дата обращения: 22.01.2025).
10. В Мурманске завершается переоборудование четырех морозильных траулеров проекта 502ЭМ для СЗПК // Медиапалуба. URL: <https://paluba.media/news/178902> (дата обращения: 22.01.2025).
11. Постановление Правительства РФ «Об утверждении требований к проектам по строительству объектов на территории Российской Федерации, включая сроки их реализации и примерную стоимость, а также к объектам, строительство которых предусмотрено такими проектами, включая их технические характеристики, и о признании утратившим силу постановления Правительства Российской Федерации от 28 августа 2019 г. № 1112» от 22.07.2023 № 1191.
12. В Ленинградской области заложены два новых краболова по программе инвестквот / Северо-Западное территориальное управление Федерального агентства по рыболовству – URL: <https://sztufar.ru/publications/2020-05-27/v-leningradskoy-oblasti-zalozheny-dva-novyh-krabolova-po-programme> (дата обращения: 22.01.2025).
13. Где ловим там и строим! / ГК «Антей» – URL: <https://antey.group/news/gde-lovim-tam-i-stroim/> (дата обращения: 22.01.2025). ■



**Ц**ифровые термограммы, получаемые с помощью тепловизоров, используются при неразрушающем контроле на основе собственного инфракрасного излучения и распределения температур на поверхности сварных соединений судовых конструкций [7–9]. Термограммы могут содержать помехи (шумы) различной природы, в том числе и мультипликативные, что влияет на качество проведения и результаты неразрушающего контроля. В настоящей статье осуществлен синтез алгоритма шумоподавления, построенный на дискретном варианте фильтра Колмогорова–Винера для мультипликативных помех в цифровых термограммах [4–6].

### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Цифровое изображение, регистрируемое на термограммах, представляет собой двумерный числовой массив  $a_{j,l}$ , элементами которого являются пиксели [1], где

$$j = 1, \dots, N_0; l = 1, \dots, M_0, \quad (1)$$

где  $N_0$  и  $M_0$  – натуральные числа.

Индексы  $j, l$  представляют собой нумерацию датчиков, расположенных на светочувствительной матрице в узлах прямоугольной целочисленной решетки размером  $N_0 \times M_0$ .

Дискретное преобразование Фурье (ДПФ) массива  $a_{j,l}$  вычисляется по формуле

$$b_{k,p} = \frac{1}{\sqrt{N_0 M_0}} \sum_{j=1}^{N_0} \sum_{l=1}^{M_0} a_{j,l} e^{-i2\pi \left( \frac{kj}{N_0} + \frac{pl}{M_0} \right)}, \quad (2)$$

причем

$$a_{j,l} = \frac{1}{\sqrt{N_0 M_0}} \sum_{k=1}^{N_0} \sum_{p=1}^{M_0} b_{k,p} e^{-i2\pi \left( \frac{kj}{N_0} + \frac{pl}{M_0} \right)}. \quad (3)$$

Формулами (2), (3) задается дискретное преобразование Фурье массива  $a_{j,l}$  и его обратное преобразование массива  $b_{k,p}$  соответственно.

Для дискретного преобразования Фурье и его обращения выполняется равенство Парсевала–Ляпунова, которое также принято называть соотношением энергии:

$$\sum_{k=1}^{N_0} \sum_{p=1}^{M_0} b_{k,p}^2 = \sum_{j=1}^{N_0} \sum_{l=1}^{M_0} a_{j,l}^2. \quad (4)$$

Циклическая свертка (или просто свертка) числового массива  $c_{j,l}$  с индексами  $j, l$ , удовлетворяющими равенствам (1), с массивом  $a_{j,l}$  определяется соотношением

$$c_{j,l} \cdot a_{j,l} = \sum_{k=1}^{N_0} \sum_{p=1}^{M_0} a_{j-k,l-p} \cdot a_{j,l}$$

При этом дискретное преобразование Фурье свертки двух массивов равно произведению дискретных преобразований Фурье этих массивов, и дискретное преобразование Фурье произведения массивов равно свертке этих массивов [3].

Цифровое изображение  $a_{j,l}$  включает в себя помехи и является искаженным

# ПОДАВЛЕНИЕ МУЛЬТИПЛИКАТИВНЫХ ПОМЕХ В ЦИФРОВЫХ ТЕРМОГРАММАХ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ СУДОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ С ПОМОЩЬЮ ДИСКРЕТНОГО ФИЛЬТРА КОЛМОГОВОРА–ВИНЕРА

**Е.К. Самаров**, *д-р техн. наук, зав. кафедрой математики СПбГМТУ, контакт. тел. +7 (926) 294 6744, omega511@mail.ru*

цифровым образом, полученным в результате фотофиксации, т. е. неоригинальное [4].

Пусть двумерные массивы  $d_{j,l}$  – это неискаженный образ;  $c_{j,l}$  – это линейный оператор, вследствие действия которого возникает шум, часто называемый деформирующим;  $w_{j,l}$  – это мультипликативный шум.

Оператор  $c_{j,l}$  действует на неискаженный образ  $d_{j,l}$  как свертка, помеха  $w_{j,l}$  в этом случае является поэлементным множителем.

Тогда цифровой образ, учитывающий шумы  $c_{j,l}$  и  $w_{j,l}$  на цифровых термограммах, задается уравнением

$$a_{j,l} = (w_{j,l} c_{j,l}) \cdot d_{j,l}. \quad (5)$$

### СИНТЕЗ АЛГОРИТМА ФИЛЬТРАЦИИ КОЛМОГОВОРА–ВИНЕРА

Пусть двумерный массив  $f_{j,l}$  определяется по формуле

$$w_{j,l} c_{j,l} = f_{j,l}. \quad (6)$$

Тогда уравнение (5) может быть представлено в виде

$$a_{j,l} = f_{j,l} \cdot d_{j,l}. \quad (7)$$

Случайные величины  $f_{j,l}$  и  $d_{j,l}$  некоррелированы, при этом  $f_{j,l}$  – случайные величины с нулевым средним значением [4].

Фильтрация Колмогорова–Винера предполагает определение элементов двумерного числового массива  $g_{j,l}$  [2, 10]:

$$\hat{d}_{j,l} = g_{j,l} \cdot a_{j,l}, \quad (8)$$

где  $\hat{d}_{j,l}$  также является сверткой.

Тогда из соотношений (7) и (8) вытекает равенство

$$\hat{d}_{j,l} = g_{j,l} \cdot (f_{j,l} \cdot d_{j,l}). \quad (9)$$

Требуется найти двумерный массив  $g_{j,l}$ , на котором будет достигаться минимум величины:

$$E \left\{ \left( \hat{d}_{j,l} - d_{j,l} \right)^2 \right\} \rightarrow \min, \quad (10)$$

где  $E$  – это математическое ожидание.

Подставим выражение (9) в (10):

$$\sum_{j=1}^{N_0} \sum_{l=1}^{M_0} \left[ g_{j,l} \cdot (f_{j,l} \cdot d_{j,l}) - d_{j,l} \right]^2 \rightarrow \min. \quad (11)$$

Воспользовавшись равенством Парсевала–Ляпунова (4), перепишем выра-

жение (11) для спектральной области в форме

$$\sum_{j=1}^{N_0} \sum_{l=1}^{M_0} \left( F \left[ g_{j,l} \cdot (f_{j,l} \cdot d_{j,l}) - d_{j,l} \right] \right)^2 \rightarrow \min, \quad (12)$$

где буквой  $F$  обозначено прямое дискретное преобразование Фурье.

Заметим, что из свойств свертки вытекает равенство

$$\begin{aligned} F \left[ g_{j,l} \cdot (f_{j,l} \cdot d_{j,l}) \right] &= F \left[ g_{j,l} \right] F \left[ f_{j,l} \cdot d_{j,l} \right] = \\ &= F \left[ g_{j,l} \right] F \left[ f_{j,l} \right] F \left[ d_{j,l} \right], \end{aligned}$$

где  $F \left[ g_{j,l} \right], F \left[ f_{j,l} \right], F \left[ d_{j,l} \right]$  – это дискретные образы Фурье, соответствующие двумерным массивам  $g_{j,l}, f_{j,l}, d_{j,l}$ .

Таким образом, выражение (12) может быть записано в виде

$$\sum_{j=1}^{N_0} \sum_{l=1}^{M_0} \left( F \left[ g_{j,l} \right] F \left[ f_{j,l} \right] - E_{j,l} \right)^2 \left( F \left[ d_{j,l} \right] \right)^2 \rightarrow \min, \quad (13)$$

где  $E_{j,l}$  – это двумерный единичный массив.

Обозначим  $F \left[ g_{j,l} \right]$  через  $x_{j,l}$ . Для нахождения минимума величины (13) составим систему уравнений

$$\frac{\partial}{\partial x_{k,s}} \left( \sum_{j=1}^{N_0} \sum_{l=1}^{M_0} \left( x_{j,l} F \left[ f_{j,l} \right] - E_{j,l} \right)^2 \left( F \left[ d_{j,l} \right] \right)^2 \right) = 0, \quad (14)$$

где

$$k = 1, \dots, N_0; s = 1, \dots, M_0.$$

Решение системы уравнений (14) будут величины

$$g_{j,l} = \frac{1}{f_{j,l}}.$$

В результате из уравнения (6) получаем формулу для дискретного варианта фильтра Колмогорова–Винера в случае мультипликативного шума:

$$g_{j,l} = \frac{1}{w_{j,l} c_{j,l}}. \quad (15)$$

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье на основании исследований с применением тепловизионного оборудования с целью обработки цифровых термограмм, используемых в промышленном судостроении при проведении неразрушающего контроля качества сварных соединений, осуществлен синтез алгоритма подавления мультипли-

кативных шумов на основе дискретного варианта фильтра Колмогорова–Винера (15).

Разработанный дискретный фильтр Колмогорова–Винера оказался полностью эквивалентным инверсной фильтрации [6].

## ЛИТЕРАТУРА

1. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. – М.: Техносфера, 2012. – 1104 с.
2. Колмогоров А.Н. Интерполирование и экстраполирование стационарных случайных последовательностей // Изв. АН СССР. – Сер. Математика. – 1941. – Т. 5. – №1. – С. 3–14.

Прежде чем говорить о качестве и надежности электронной геометрической модели (ЭГМ) корпуса композитного судна, стоит разобраться, что она представляет собой и какие параметры должна иметь для дальнейшей работы.

Электронная геометрическая модель корпуса судна – это компьютерная модель, т. е. точное трехмерное отображение формы корпуса судна, описывающая геометрическую форму, размеры и свойства изделия, зависящие от его формы и размеров. Такая модель предоставляет возможность анализировать геометрию и структуру корпуса судна, а также проводить различные инженерные расчеты и испытания.

Электронная геометрическая модель может быть создана с использованием компьютерного помощника проектирования (САД) и включать параметры длины, ширины, высоты, формы, площади поверхности и объема корпуса судна, а также центры масс и пр.

В компьютерной среде ЭГМ корпуса (ЭГМК) судна представляется в виде набора данных, которые определяют геометрию судна и иные свойства, необходимые для изготовления, контроля, приемки, сборки, эксплуатации, ремонта и утилизации изделия.

ЭГМК, как правило, используется для интерпретации всего составляющего модель набора данных (или его части) в автоматизированных системах, визуального отображения конструкции изделия в процессе выполнения проектных работ, производственных и иных операций, изготовления чертежной конструкторской документации в электронной и/или бумажной форме.

Модель должна содержать полный набор конструкторских, технологических и физических параметров согласно ГОСТ 2.109, необходимых для расче-

3. Привалов И.И. Ряды Фурье. – М.: Едиториал УРСС, 2018. – 168 с.
4. Самаров Е.К. Подавление мультипликативных помех в изображениях с помощью фильтрации Колмогорова–Винера и ее связь с инверсной фильтрацией // Стратегическая стабильность (Королев МО). – 2019. – №2. – С. 23–25.
5. Самаров Е.К. Синтез алгоритма оптимальной линейной модуляции шума в цифровой обработке изображений // Электротехнические и информационные комплексы и системы (Уфа). – 2019. – Т. 15. – №2. – С. 77 – 83.
6. Самаров Е.К. Шумоподавление в цифровых изображениях на основе дискретного двумерного преобразования Фурье. – Сб. тр. по материалам 4-й Международ.

науч.-техн. конфер. «Эволюционные процессы информационных технологий», Тольятти, 2019, с. 86 – 89.

7. Туричин Г.А. Теоретические основы лазерной сварки металлов – СПб.: Изд. СПбПУ, 2015. – 140 с.
8. Лазерная и лазерно-дуговая сварка судостроительных сталей/ Туричин Г.А., Цибульский И.А., Левшаков В.М., Стешенкова Н.А., Валдайцева Е.А. – СПб.: Изд. СПбПУ, 2013. – С. 90–103.
9. Фаствидео – [Электронный ресурс] – URL: <https://www.fastvideo.ru/> (дата обращения: 05.01.2025 г.).
10. Wiener N. Extrapolation, Interpolation and Smoothing of Stationary Time Series. – N.Y.: MIT Press/John Wiley, 1964. – 171 pp. ■

## СПОСОБЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА И НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОННОЙ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ИЗ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

**И. С. ШUTOVA**, инженер-конструктор 2-й категории АО «СНСЗ», аспирант 4-го курса СПбГМТУ, контакт. тел. +7 (931) 583 0473, [shutovais1995@gmail.com](mailto:shutovais1995@gmail.com)

тов, математического моделирования, разработки технологических процессов и др. Полнота и подробность модели на различных стадиях разработки должны соответствовать требованиям стандартов Единой системы конструкторской документации. Кроме того, электронный конструкторский документ, выполненный в виде модели, должен соответствовать следующим основным требованиям:

- атрибуты (модели), обозначения и указания, приведенные в модели, должны быть необходимыми и достаточными для выпуска (изготовления) изделия или построения чертежа в бумажной и/или электронной форме;
- все размеры должны быть представлены в модели;
- определенные в модели связанные геометрические элементы, обозначения и указания должны быть согласованы;
- атрибуты, обозначения и указания, определенные и/или заданные в модели и изображенные на чертеже, должны быть согласованы;
- если в модели не содержатся все конструкторские данные изделия, то это должно быть отмечено;
- не допускается давать ссылки на нормативные документы, определяющие форму и размеры конструктивных элементов (отверстия, фаски, канав-

ки и т. п.), если в них нет геометрического описания этих элементов. Все данные для их изготовления должны быть приведены в модели;

- разрядность при округлении значений линейных и угловых размеров должен задавать разработчик.

## КАЧЕСТВО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Одним из путей повышения качества модели является использование специализированного программного обеспечения. Существуют специализированные программы, которые позволяют проектанту создавать точные и надежные модели, избегая ошибок и неточностей, которые могут возникнуть при ручном моделировании, и снизить риск дефектов в конечном продукте.

Для обеспечения качества и надежности моделирования корпуса судна из композитных материалов необходимо использовать стандартизированные параметры и спецификации. Это позволяет унифицировать процесс моделирования и обеспечить единообразие в разных проектах. Кроме того, использование стандартизированных параметров и спецификаций упрощает взаимодействие различных участников проекта и повышает его эффективность. Важным способом качественного моделирования является проверка взаимодействия различных участников проекта.



Существуют различные методы и программы для автоматической проверки моделей на соответствие требуемым параметрам, таким как геометрическая точность, взаимодействие компонентов и др. Такая проверка позволяет выявить и исправить проблемы еще на стадии проектирования, что способствует повышению надежности модели.

После завершения моделирования и перехода к производству не менее важным путем обеспечения качества является контроль процесса производства композитного судна. Это включает в себя контроль качества материалов, процесса смешивания компонентов и формования моделей, а также периодический размерный контроль конструкций и корпуса судна непосредственно на производстве. Контроль качества в данных случаях позволяет выявлять и устранять дефекты еще на ранних этапах производства, что способствует повышению надежности конечного продукта.

## **ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ РАЗРАБОТКИ МОДЕЛЕЙ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

При разработке моделей конструкций и корпуса судна из композиционных материалов применяют теорию тонких слоистых оболочек; при этом могут рассматривать конструкцию в виде группы оболочечных элементов. Конструкцию представляют в виде идеально склеенного набора слоев (толщина клеявого слоя равна нулю, нет проскальзывания между слоями), при этом каждый слой конструкции имеет собственную ориентацию волокон, собственную толщину и ориентацию в пространстве механических характеристик (изотропию, ортотропию или анизотропию). При детализации модели описывают системы координат слоя и пакета.

При этом решают локальные задачи, такие как:

- моделирование оболочечных и балочных конструкций из;
- моделирование массивных элементов корпусных конструкций из композитов;
- оптимизация массы конструкции;
- применение нелинейных решений, прогрессирующего разрушения (статика, динамика), потери устойчивости (линейная и нелинейная постановки);
- моделирование процесса затвердевания (решение связанной задачи, расчет пружинения);
- использование трехмерного контакта тел произвольной формы;

- моделирование процессов формования;
- решение задач о разрушении от воздействий ударного (взрывного) характера;
- решение задач динамики.

Разработка послойного расположения в модели конструкции из слоистого композиционного материала, включает определение:

- свойств материала каждого из слоев;
- количества слоев;
- толщины каждого из слоев;
- ориентацию волокон в слоях.

Определение свойств композитов в пакете с учетом технологических особенностей укладки слоев (учет технологического отклонения волокон от расчетного направления) включает:

- расчет вероятного отклонения волокон от начального направления за счет кривизны поверхности, способа укладки волокна в форму и свойств исходных материалов;
- расчет вероятного угла отклонения волокон от первоначального направления в каждой точке на поверхности формы.

**Моделирование укладки слоев** включает:

- определение площади поверхности;
- расчет выкройки;
- определение положения складок;
- определение разрезов.

Принципы моделирования укладки слоев: волокна основы и утка материала не должны изменять длину; трение ткани о поверхность формы должно отсутствовать; размер ячейки ткани (расстояние между «узлами») в процессе моделирования укладки не должен меняться.

Принципы расчета массивных элементов корпусных конструкций из композитов: для расчета применяют трехмерные элементы, в которых для каждого слоя в процессе расчета используется свой набор точек интегрирования; решение выполняют в осесимметричной постановке, моделируют плоское напряженное и плоское деформированное состояния.

Слоистые модели композитов на основе правила смесей рассматриваются в следующей последовательности: слоистая оболочка, пакет слоев, дисперсии наполнителей и стержни.

**Моделирование композиционных материалов на основе правила смесей с использованием линейной и нелинейной моделей**

*В линейных моделях*, которые применяются для двух- и трехмерных элементов:

- используются новые упругие и тепловые константы исходных материалов на основе процентного содержания матрицы и волокна, после

чего выполняют построение новых кривых деформирования;

- осуществляется поддержка свойств, зависящих от температуры, линейные модели пр

*В нелинейных моделях:*

- применяется построение моделей на основе нелинейных кривых деформирования материалов, которые входят в состав композиции;
- возможно построение упругопластических моделей.

В процессе расчета композит, построенный на основе правила смесей, может разрушаться в соответствии с теориями, используемыми при расчете разрушения материалов – компонент.

**Моделирование процесса затвердевания** представляет собой процесс решения связанной термомеханической задачи, которая позволяет определять возможные механические проблемы.

Расчет пружинения – изменения формы изделия после окончания основных процессов полимеризации и остывания является сложной задачей, включающей расчет остаточных напряжений и остаточных деформаций.

При расчете разрушения конструкций из композиционных материалов необходимо применять линейную механику разрушения, разрыв клеевого соединения, нелинейную механику разрушения, макро- и микромеханическую модель разрушения.

Изложенный выше круг вопросов, безусловно, не исчерпывает всего перечня проектных обоснований, связанных с проектированием судна из композитов, их выполнение позволяет подготовить исходную информацию для разработки проектной документации современного судна из композиционных материалов.

Для проверки соответствия ЭГМ корпуса судна реальному судну путем сканирования и размерного контроля нужно выполнить:

- *предварительную подготовку, а именно:*

- определить метод сканирования, который будет использован. Это может быть использование 3D-сканеров, лазерных измерительных систем и пр.;
- проверить оборудование, для того чтобы сканирование проводилось с высокой точностью и достоверностью результатов.

- *сбор данных:*

- отметить ключевые точки и участки на корпусе судна, которые будут сканироваться и измеряться. Это может быть бортовая линия, килевая линия и т. д.,

- выполнить сканирование судна с помощью выбранного метода,;
  - вести запись точных размеров и измерений с учетом всех основных параметров и габаритов корпуса.
- *обработку данных:*
- для этого использовать специализированное программное обеспечение для обработки полученных данных сканирования и измерений,
  - сопоставить полученные результаты сканирования с изначальными техническими данными судна,
  - проанализировать расхождения и отклонения между ЭГМ корпуса и реальным судном,
  - определить, насколько ЭГМ корпуса судна соответствует реальному судну,
  - выявить любые отклонения и расхождения от заявленных размеров и параметров и насколько эти отклонения критически влияют на функционирование и безопасность судна, а также не противоречат ли они прописанным в проекте ОСТАм.

После проверки можно сделать выводы о соответствии ЭГМ корпуса судна реальному судну. Если обнаружены значительные расхождения или отклонения, могут потребоваться корректировки или меры по приведению корпуса в соответствие с заявленными параметрами.

**Методика поэтапного размерного контроля предусматривает:**

1. Дистанционное причерчивание, которое выполняется для сокращения стапельного периода. Разберем технологию на примере двух днищевых секций, одна из которых чистовая, а другая ответная – припускная. Целью является нанесение удаляемого припуска на припускную кромку. То есть необходимо нанести на припускную кромку линию, которая будет четко повторять контур чистой кромки ответной секции. Путем сравнения координат точек получаем величину, к которой необходимо добавить величину зазора под сварку, после этого на припускной кромке откладывается и крестится полученная точка, керны соединяют меловой линией и обрезают припуск, таким образом можно окантовать стыки и пазы припускных секций.

2. Виртуальное моделирование применяют для проверки собираемости двух и более объектов, при этом проверка осуществляется дистанционно, даже если объекты находятся на разных заводах или в разных странах (кооперационное строительство заказов). Рассмотрим виртуальное моделирование на примере двух днищевых секций. Для этого на этапе измерений контроль геометрий секций после сварки в программном обеспечении

фиксируются координаты, отображающие полушироту соответствующих точек. Сравнивая в программе координаты двух секций, расположенные друг против друга, можно получить величину зазора – он может быть как положительным, так и отрицательным, в нахлест. По полученным результатам принимается решение о готовности секций и необходимости доработки.

Аналогичным способом проверяют величину разностенности, сравнивая высотные координаты точек. Таким образом можно выполнить проверку любых стыкуемых и притыкаемых кромок секций, который сравнивается с требуемым зазором под сварку. Контуровка конструкций выполняется по результатам причерчивания стыкуемых кромок монтажного соединения в номинальный размер с допуском, обеспечивающим сварочный зазор. Причерчивание выполняют дистанционным способом – без контрольной сборки с помощью координатной измерительной системы на базе тахеометров.

**Использование виртуальной и дополненной реальности для проверки соответствия корпуса судна его ЭГМК**

Виртуальная реальность (VR) и дополненная реальность (AR) могут быть использованы для проверки соответствия и оценки качества и надежности корпуса судна, как металлического, так и композитного, с помощью ЭГМК. Эти

технологии позволяют имитировать реальные условия проверки и оценки, а также обеспечивать более точную и детализированную информацию.

*Виртуальная реальность* позволяет пользователям погрузиться в виртуальную среду судна и провести проверку его соответствия и качества. Виртуальная модель судна может быть создана на основе ЭГМК, которая включает в себя все необходимые детали и характеристики корпуса. Пользователи могут осмотреть корпус с разных точек зрения, увидеть его внутреннюю структуру и рассмотреть все детали.

*Дополненная реальность* позволяет объединить виртуальные объекты с реальным миром. Пользователь может использовать дополненную реальность для показа виртуальной модели корпуса судна на реальном объекте, например, на самом судне или на макете, а также может позиционировать виртуальную модель так, чтобы она полностью соответствовала реальному корпусу. Это позволяет проверить соответствие и качество корпуса судна в реальном времени.

**СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОЕ ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ И ЦИФРОВОЙ ДВОЙНИК**

На АО «СНЗ» обрабатывается технология создания цифрового двойника судна в постройке с целью сокра-

Таблица 1

*Технология создания Цифрового двойника*

Санирование объекта строительства	Обработка данных со сканера	Выгрузка цифрового двойника в «Сервер РКД»	Работа с цифровым двойником
Увязка базовой системы координат (СК) судна. Сканирование с выбранной периодичностью всех доступных помещений с момента сбор объемных секций/блоков.	Разбивка объемных результатов сканирования на границы отсеков/помещений. Разрежение облаков точек до необходимого уровня плотности на удельную площадь. Создание триангулированной поверхностной модели по облакам точек (для моделей с большим объемом данных).	Загрузка обработанных моделей в топологическую структуру проекта. Увязка топологических данных с элементами проектной модели.	Выполнение пространственных измерений в абсолютных координатах и относительно СК проекта. Совмещение и сравнительный анализ фактического состояния с проектным.

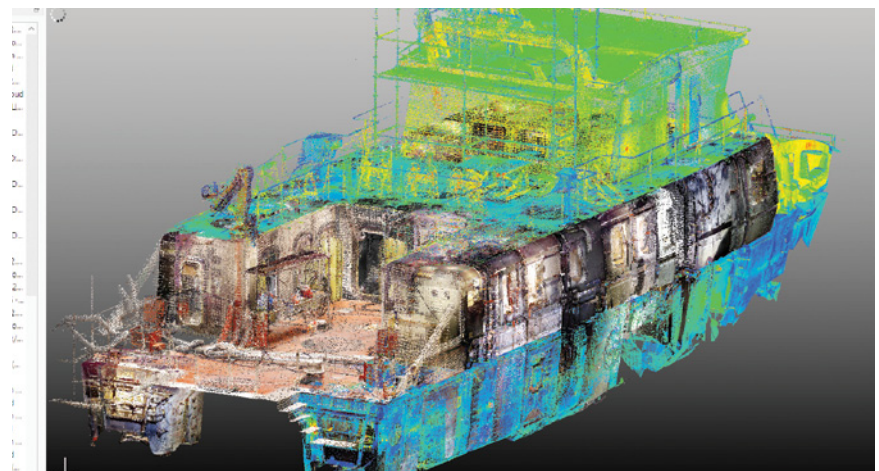


Рис. 1. Цифровой двойник судна пр. 25700 «Пионер-М»



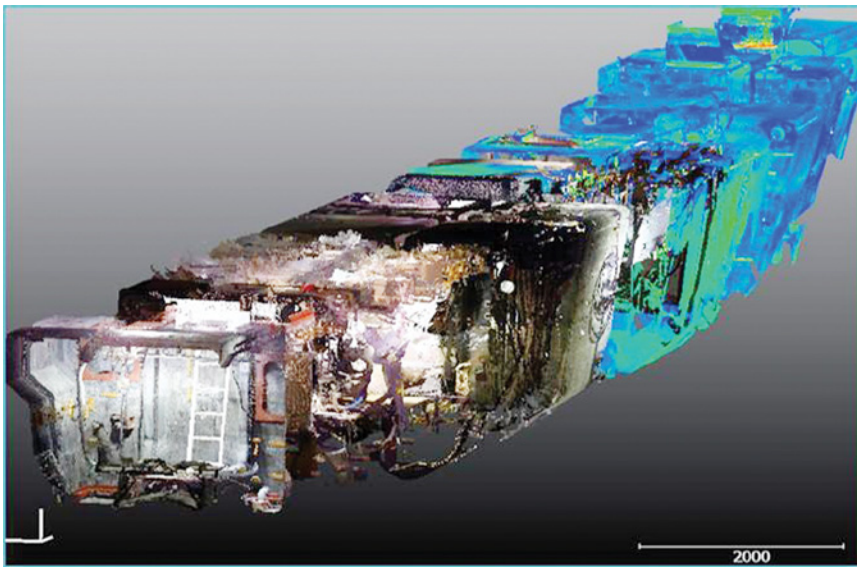


Рис. 2. Рабочее окно СПО «СВОТ-ЦТ»

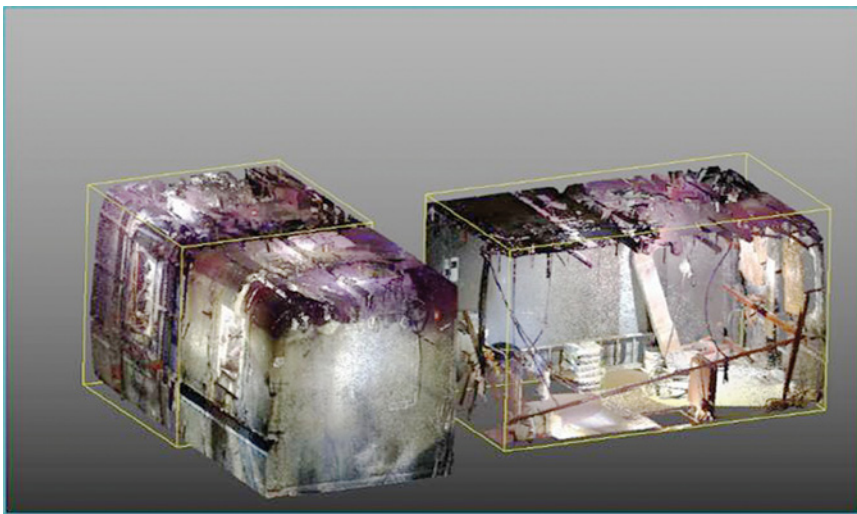


Рис. 3. Выгрузка нескольких помещений в СПО «СВОТ-ЦТ»

щения потерь времени на посещение заказа и изучении проблематики вопросов строительства на объекте (рис. 1, табл. 1). Концепция цифрового двойника заключается в создании цифровых копий (сканированных 3D-моделей) объекта строительства как есть, с заданной периодичностью. При этом возможны:

- формирование отдельных 3D-моделей помещений на заданный период времени;
- совмещение моделей одного помещения, выполненные в разные периоды строительства;
- выполнение любых измерений между объектами фактической и проектной модели специалистами завода;
- оценка всей реальной обстановки на текущий момент времени;

- совмещение проектной модели с моделью фактического состояния объекта;
- анализ отклонений от проектного положения моделей;
- обеспечение удобного доступа для специалистов завода к электронным данным и результатам анализа.

Проект реализуется на основе разрабатываемого специального программного обеспечения «СВОТ-ЦТ» (Система визуализации и обработки точек цифровой тени), которое интегрируется в заводскую систему управления проектной документацией «Сервер-РКД» и автоматизирует процесс обработки результатов сканирования (рис. 2 и рис. 3).

Данные этапы работ повторяются с необходимой периодичностью, в результате накапливается объем струк-

турированных данных (слоев сканирования), которые позволяют ликвидировать слепые зоны и получить полноценную информацию о каждом помещении. Это дает исчерпывающую объективную картину, необходимую для принятия оперативного решения в минимальные сроки и без посещения заказа. Выбор циклов сканирования для каждого помещения должен совпадать с этапами заполнения помещений насыщением, оборудованием и системами.

## ВЫВОД

Обеспечение качества и надежности электронной геометрической модели судна из композитных материалов требует комплексного подхода и использования современных технологий, качественного программного обеспечения, стандартизированных параметров и спецификаций, проверки модели на ошибки и контроля качества производства. Это – основные способы обеспечения качества и надежности ЭГМ композитного корпуса судна, и не только. Реализация этих способов способствует повышению эффективности проектирования и производства композитных изделий.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Золотавин Г. А. Цифровая трансформация управления современными предприятиями // Аллея науки. – 2018. – Т. 7. – № 6 (22). – С. 547–551.
2. Косарева И. Н., Самарина В. П. Особенности управления предприятием в условиях цифровизации // Вестник евразийской науки. – 2019. – № 3.
3. Постников Р. А., Палкина Е. С. Перспективы промышленного применения «цифровых двойников» в судостроении // Производственные технологии в судостроении – вопросы информатизации (ПТС ВИ-2021). – Сб. тр. Первой отраслевой научно-практ. конфер., Санкт-Петербург, Центр технологии судостроения и судоремонта, 2021, с. 127–132.
4. СТО ОСК. КСМК 06.004–2021. Порядок организации и проведения измерительного контроля корпусных конструкций с использованием высокоточных координатно-измерительных систем – Стандарт АО «ОСК».
5. Ludvigsen K. B. Digital Twins for Blue Denmark. – Danish Maritime Authority, // DNV GL Report (Oslo). – 2018. – № 2018–0006. – Rev. A. – 22 p.). – URL: <https://www.dma.dk/Documents/Publikationer/Digital-TwinreportforDMA.PDF>. ■

Современный уровень развития информационных технологий позволяет осуществить качественный скачок при разработке, рациональном использовании моделей управления и организации промышленного производства, в том числе и особо сложного, к которому следует отнести судостроительный/судоремонтный комплекс РФ. В целом основные направления грядущих преобразований предприятия судостроения [2, 3] и даже механизмы их осуществления обозначены. В настоящее время формирование моделей управления полного производственного цикла создания и послепродажного обслуживания морской техники военного, гражданского назначения осуществляется в конфигурации инструментария программных средств [5, 6], основанных по классификации программных продуктов и сформированных на практике специализированных фирм (рис. 1).

Как указывается в статье Д. В. Лебедева [6] о применяемых программных средствах на предприятиях судостроения, «отсутствуют унифицированные отечественные программные инструменты управления, планирования и контроля в совокупности с попытками построения зарубежных моделей производственных процессов без учета реалий отечественной судостроительной промышленности ... с использованием устаревших технологий без описания бизнес-процессов и проектных решений...».

При формировании перспективной структуры системы управления судостроительным комплексом требуется перейти от структуризации системы управления в составе программно-аппаратных комплексов (CAD, CAM, CAE, PLM... SCADA...) (см.рис. 1) к разработке бизнес-процессов системы управления, в которые полностью или частично будут включены специ-

## О ТРЕБОВАНИЯХ УНИФИКАЦИИ ПРОЦЕССОВ РАЗРАБОТКИ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ НА БАЗЕ НТД РФ ПРИ ИХ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ

*П. В. Никитин, аспирант СПбГМТУ,  
контакт. тел. +7 926 883 31 77, fine29@yandex.ru*

ализированные программно-аппаратные блоки при их динамическом взаимодействии [7].

В связи с требованиями к цифровизации производственных процессов и цифровой трансформации бизнес-процессов [1, 9, 11, 14] представляется актуальным регламентированный инжиниринг автоматизированных систем управления верфи на базе унификации этапов их создания. Эти требования должны соответствовать требованиям НТД РФ [13, 15], охватывать большую часть производственных процессов, которые поддерживают принятую в отрасли терминологию и практику систем управления отечественных верфей, совершенствование жизненного цикла системы, используемых в пределах организации или проекта морской техники.

Предлагаемая унифицированная архитектура организации верфи должна отражаться в автоматизированной системе управления судостроительным комплексом по принятым регламентам, утвержденным бизнес-процессам в составе системы менеджмента качества выпускаемой продукции. Организации и проекты при их цифровизации могут использовать эти процессы в ходе приобретения, поставки

автоматизированных систем управления верфью и касаются тех из них, которые формируются из следующих элементов:

- аппаратные средства,
- программные средства,
- информационные структурированные данные,
- действия персонала верфи,
- процессы (например, процессы оказания услуг послепродажного обслуживания (MT), процедуры (например, инструкции оператору, пользователю системы),
- основные средства,
- материалы и естественно возникающие сущности.

Если системный элемент создаваемой автоматизированной системы управления при ее цифровизации является программным средством, то для его реализации могут быть использованы в составе бизнес-процессов процессы жизненного цикла программных средств. Различают два критерия их полного соответствия:

- задачам, установленным в техническом задании на АСУ,
- результатам реализации фактических процессов.

Соблюдение любого из перечисленных критериев достаточно для подтверждения соответствия, если этот критерий официально заявлен.

Требование «полного соответствия задачам» декларирует, что все требования к действиям и задачам заявленного множества процессов выполняются. Альтернативное требование «полного соответствия результатам» декларирует, что все необходимые результаты заявленного множества процессов достигаются.

В декларации о полном соответствии результатам перечисляются процессы, которые объявляются соответствующими настоящим структурам системы управления конкретной верфи. В этой ситуации условия для действий высшего менеджмента и задач заявленного множества процессов – это более руководство, нежели требование, которое используется в данных условиях.

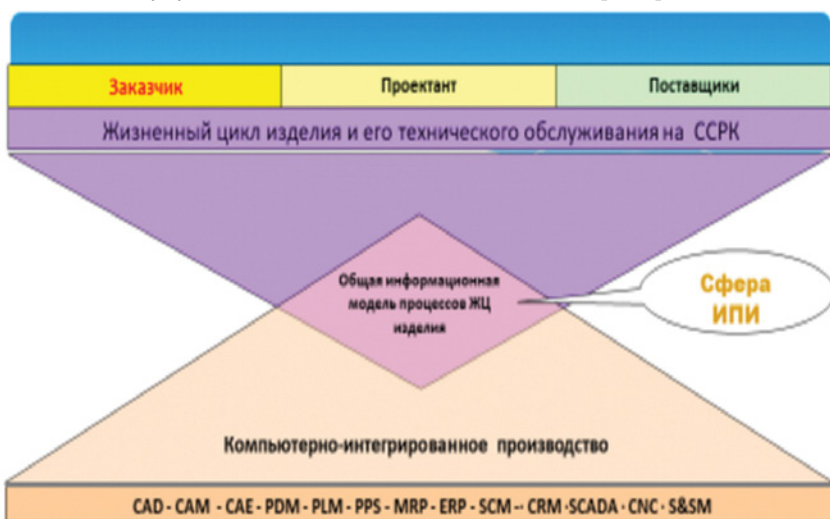


Рис. 1. Соотношения компьютерно-интегрированного производства и непрерывной информационной поддержки жизненного цикла производимой продукции в судостроительно-судоремонтном комплексе (ССРК) [4]



Типичные функциональные группы дискретного производства

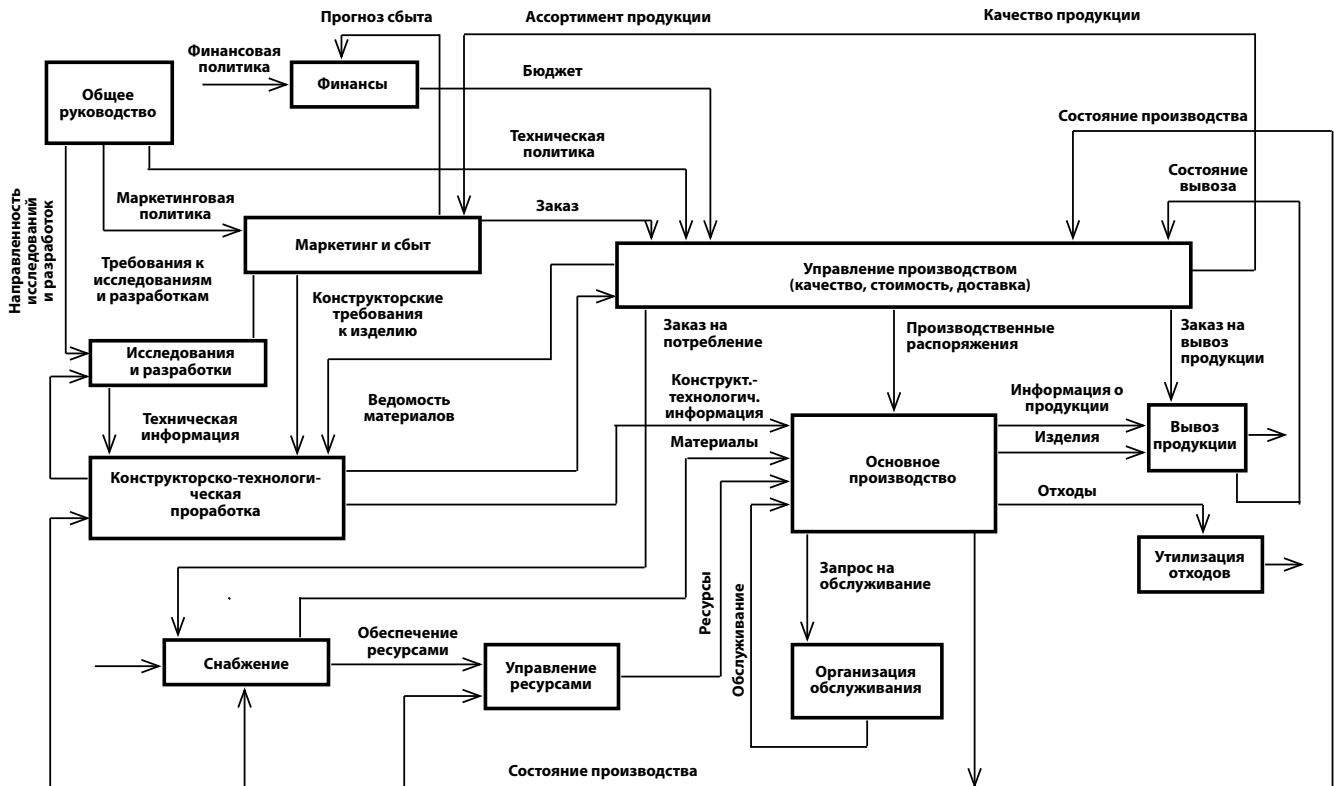


Рис. 2. Типовые группы процессов дискретного производства (ГОСТ Р 34.1501.1.)

В случае использования требований как основы для установления какого-либо множества структуры процессов, которые не могут быть квалифицированы как полное соответствие, выбираются или модифицируются составы функциональных задач в соответствии с процессом приспособления к конкретным условиям судостроительного/судоремонтного комплекса.

Менеджмент верфи формирует адаптированный текст корпоративных материалов, в отношении которых заявляется о соответствии в результате приспособления. Соответствие поставленным задачам и результатам их решения отражается в сопоставлении целевой индустриальной модели бло-

ка системы управления с текущей индустриальной моделью, полученной в конкретных условиях и временном интервале судостроительной верфи по основным и вспомогательным бизнес-процессам управления [4]. Каждая система управления изделием или производством имеет жизненный цикл (рис 2, рис. 3).

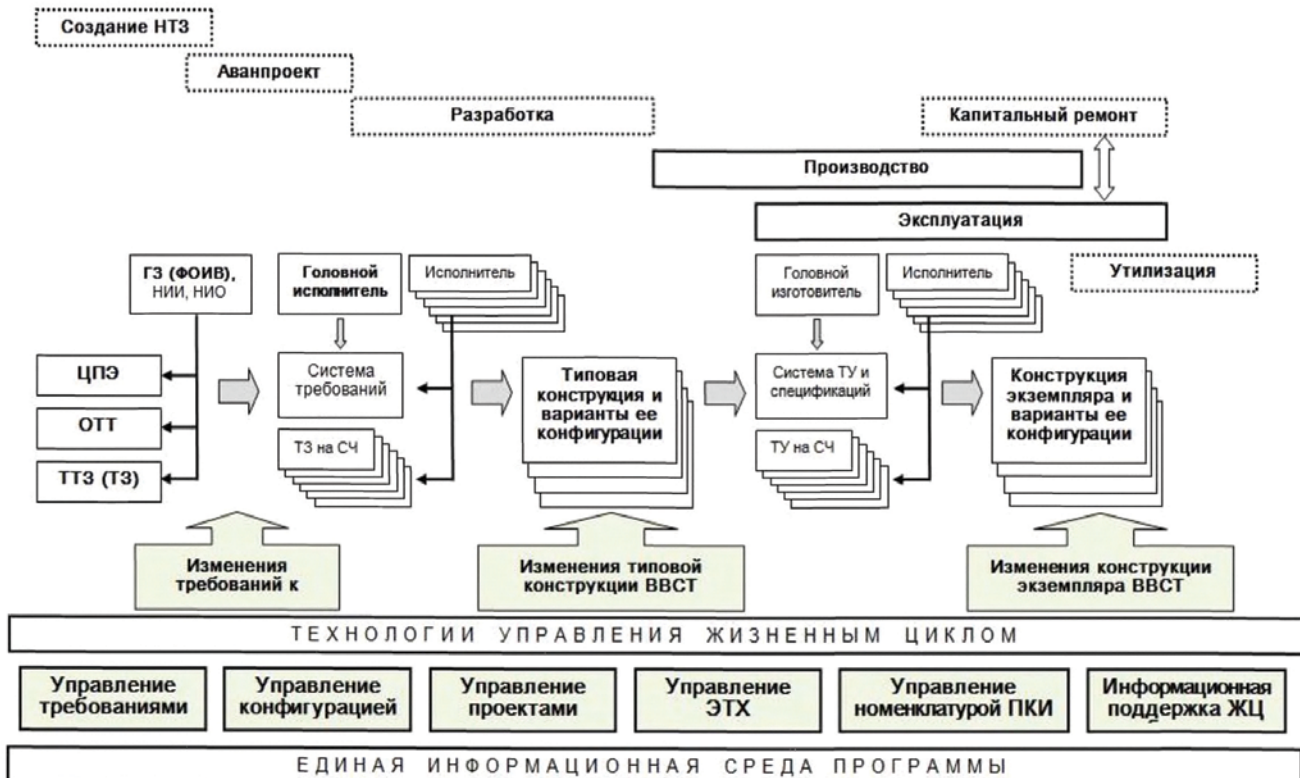


Рис. 3. Процессы полного жизненного цикла ВВСТ (ГОСТ Р 56135–2014)



Рис. 4. Процессы жизненного цикла модуля системы управления согласно ГОСТ Р ИСО/МЭК 15704–2022

Система управления производственным комплексом развивается в ходе своего жизненного цикла как результат действий, выполняемых и управляемых специалистами организации, использующих для этих действий процессы. Стадии создания систем управления, изложенные в ранее существующих требованиях ГОСТ 34 601, унифицированы и актуализированы в ГОСТ Р 59793–2021 [16].

Детали модели жизненного цикла системы управления выражены в терминах этих процессов, их результатов, отношений и последовательности. Каждый процесс перечня реализуемых задач управления последовательно описывается в следующих терминах:

- «Название» – характеризует область процесса в целом;
- «Цели» – описывает цели выполнения процесса;
- «Выход (выходные результаты)» – выражает заметные результаты, ожидаемые от успешной работы процесса;
- «Действия» – это множества связанных задач процесса, подпроцессов;
- «Задачи» – это требования к системе, рекомендации или допустимые действия, используемые для подде-

ржки достижения конкретных результатов.

Создаваемый перечень процессов функциональных систем управления конкретной верфи должен объединять задачи в виде предполагаемых действий в процессе ее управления в целом или отдельным специализированным судостроительным производством, каждая из которых реализуется на жизненном цикле системы в составе типовых четырех процессов:

- соглашения,
- организационного обеспечения проекта,
- технического управления,
- технических.

Процессы жизненного цикла задачи, входящей в состав системы управления, отражены в соответствии с требованиями ГОСТ ИСО/МЭК 15 504–5–2016 [8], а также требованиями ГОСТ Р ИСО/МЭК 15 704–2022 [9], в которых унифицированы категории процессов и их группы. На рис. 4 представлены процессы жизненного цикла отдельного модуля системы управления [8].

За последние годы выпущен комплекс государственных стандартов России, регламентирующих подход к организации производственных процессов

в рамках международных требований ИСО. Таким образом, в РФ создана методическая основа формирования нового облика автоматизированных систем управления при переходе от программно-аппаратной структуры к процессно-ориентированной системе управления верфью. Так, в соответствии с требованиями (ГОСТ Р 58542–2019) процессы сгруппированы в принятой терминологии как обобщение модели применяемых процессов.

Различают (согласно п. 5.2. ГОСТ 58542–2019) основные и вспомогательные процессы управления:

- основные процессы характеризуют все процессы получения, подготовки, отслеживания и выполнения судового заказа;
- вспомогательные процессы характеризуют все процессы закупки, логистики, менеджмента персонала и материалов и т. п., т. е. поддерживающие основные процессы;
- процессы управления характеризуют все типы внутренних связей, способы обеспечить наделения персонала полномочиями и определения его компетенций, способы достижения индивидуальных целей в соответствии с корпоративными представлениями и т. п.



В соответствии с НТД РФ [11] (согласно п. 3.14. ГОСТ Р 52294–2004) различают:

- рабочий процесс (work process) – как совокупность логически упорядоченных, повторяемых и взаимосвязанных видов деятельности в рамках организационной структуры социотехнической системы с целью:
- достижения решения поставленной задачи,
- реализации программы действий,
- целеопределенного преобразования входов процесса в выходы и, в конечном итоге, достижения стратегических целей системы.

Бизнес-процесс в соответствии п. 3.3. ГОСТ Р 15704–2020 – это частично упорядоченный, часто вложенный набор видов деятельности предприятия, которые следует исполнять для получения желаемого результата, стремясь достичь заданной цели предприятия или его части.

Основными бизнес-процессами по номенклатуре типов и наименований для судостроения в рамках ГОСТ 58542–2019 [14] являются:

- заказ продукции,
- производственное планирование,
- рабочее проектирование,
- технологическая подготовка производства,
- управление производством продукции,
- разработка и производство продукции,
- эксплуатация, ремонт, модернизация,
- сопровождение, управление устареванием,
- управление сервисным обслуживанием и ремонтами кораблей,
- утилизация кораблей (в части планирования ресурсов).

На практике процесс заказа открывает жизненный цикл формирования облика и послепродажного обслуживания создаваемой морской техники (МТ). Процесс поставки МТ отвечает за завершение процессов ее разработки, эксплуатации и (или) сопровождения.

Вспомогательными бизнес-процессами являются:

- управление закупочной деятельностью,
- управление МТО и поставками товарно-материальных ценностей,
- управление логистикой (складская и транспортная логистика),
- управление техническим обслуживанием и ремонтами технологического и специального оборудования верфи,
- документирование состояния производимой продукции,
- управление конфигурацией произ-



Рис. 5. Функциональность (ГОСТ Р МЭК 61069–2017)

- видимой продукции,
- обеспечение качества производимой продукции,
- верификация продукции на этапах её полного жизненного цикла,
- аттестация (валидация) продукции,
- совместный анализ производства продукции,
- аудит процессов,
- решение проблемы.

Вспомогательный процесс может быть использован другим процессом, который таким образом обеспечивает реализацию конкретной цели.

Бизнес-процессы управления включают в планировании, построении, выполнении и отслеживании деятельности в соответствии с направлением, заданным органом руководства, для достижения целей предприятия. К ним относятся:

- формирование управленческой отчетности,
- экономический анализ деятельности (предприятий судостроения и новых направлений деятельности),
- контроль расходов в рамках бюджета,
- управление ценообразованием и контролем себестоимости,
- формирование Планово-учетной информации (ПУИ) и плана реализации ПУИ, актуализация, отчетность по исполнению ПУИ,
- бухгалтерский и налоговый учет, формирование отчетности,
- управление персоналом (в части интеграции существующих решений),
- управление рисками;
- управление процессами создания и эксплуатации морской техники,
- создание инфраструктуры для реализации процессов производства и послепродажного обслуживания,
- усовершенствование процессов управления,
- обучение и переподготовка персонала.

Дополнительно, согласно НТД РФ, применяют к процессам управления термины: «организационное обеспечение», «руководство».

Процессы организационного обеспечения проекта дают возможность организации приобрести и поставлять

продукты или услуги через инициирование, поддержку и контроль проектов. Они обеспечивают ресурсы и инфраструктуру, необходимые для поддержки проекта и удовлетворения организационным целям и установленным соглашениям. Привлекаемые процессы не предназначены для представления исчерпывающего множества бизнес-процессов, которые обеспечивают стратегическое управление бизнесом организации.

Процессы организационного обеспечения проекта согласно п. 6.2. ГОСТ Р 57193 включают в себя процессы управления:

- моделью жизненного цикла,
- инфраструктурой,
- портфелем,
- человеческими ресурсами,
- качеством,
- знаниями.

Процессы руководства способствуют достижения целей предприятия путем:

- сбалансированной оценки потребностей заинтересованных сторон, существующих условий и возможных вариантов;
- установления направления развития через приоритизацию и принятие решений;
- постоянного мониторинга соответствия фактической продуктивности и степени выполнения требований, установленным направлениям и целям предприятия.

Цель процессов определения системных требований цифровой трансформации – преобразовать ориентированное на пользователя представление заинтересованных сторон о требуемых возможностях системы в технических представлениях решений, которые бы удовлетворяли эксплуатационным потребностям пользователя. Этот процесс создает ряд количественно оцениваемых системных требований, которые для поставщика задают характеристики, атрибуты, функциональные и эксплуатационные возможности. Ими система должна обладать для удовлетворения требований заинтересованных сторон, в том числе заказчика МТ.

При проектировании автоматизированной системы управления и ее ар-

хитектуры закладывают требуемое целевое назначение (миссию). Степень, с которой это может быть осуществлено, определяется как полнота свойств системы. Однако при проектировании системы управления с набором жестко установленных и фиксированных задач полнота свойств на ранних стадиях невозможно полностью определить функциональность системы или ее части. В таких случаях следует обеспечить систему средствами для выбора конфигурации и схемы компоновки модулей, а также предусмотреть конфигурацию системы, обеспечивающую в процессе разработки гибкость для выполнения дополнительных задач и модификаций в дополнение к ранее утвержденным требованиям к создаваемой системе. Функциональные свойства должны классифицироваться в соответствии с рис. 5.

Функциональность системы не может быть оценена непосредственно по одному свойству. Она может быть определена только при помощи анализа и испытания каждого ее свойства по отдельности. При оценке функциональности системы следует учитывать готовность соответствующих средств для функционирования системы (см. требования к уровням готовности производства и к ее интеграции с другими АСУ согласно ГОСТ Р 58048), что требует соответствующей доработки ранее утвержденного ТЗ на создание автоматизированной системы.

Согласно п. 3.4. ГОСТ 34.602–2020, «ТЗ на автоматизированную систему (АС) является основным документом, определяющим требования и порядок создания автоматизированной системы, в соответствии с которым проводится разработка АС и ее приемка». Он содержит требования к системе, ее функциональным возможностям, технические характеристики, условия эксплуатации и другую информацию, необходимую для разработки и внедрения системы.

Однако согласно ГОСТ 34.602. допускается разрабатывать ТЗ на составные части системы (подсистемы, комплексы задач, программно-технические комплексы, компоненты технического и программного обеспечения и т. п.). При необходимости могут разрабатываться другие документы, детализирующие отдельные требования к автоматизированной системе. Приводим цитату: «Пункт 3.3. ГОСТ 34.602. В АС могут выделяться составные части (СЧ), для которых могут разрабатываться ТЗ на составные части (далее – ТЗ на СЧ)». Таким образом, у проектанта автоматизированной системы имеется нормативное право

на доработку заданной функциональности системы управления на основании выполненного анализа и испытаний программных средств в виде разработки и утверждения составной части ТЗ (СЧ ТЗ) в качестве уточнения ранее утвержденного ТЗ на систему в целом.

Согласно приложению 1 к приказу Минцифры России от 18 ноября 2020 г. № 600 «Об утверждении методик расчета целевых показателей национальной цели развития Российской Федерации «Цифровая трансформация» по разделу «Промышленность» установлены для системообразующих предприятий обрабатывающих отраслей промышленности следующие директивные показатели к 2030 г. в виде цифровой зрелости:

- основных производственных процессов предприятий промышленности – 85%;
- вспомогательных производственных процессов предприятий промышленности – 90%.

Для судостроения РФ, учитывая специфику отрасли, соответственно Минцифры России установлены показатели цифровой зрелости для основных процессов – 45%, а для вспомогательных – 70%.

Главными элементами бизнес-процесса являются описание в области применения модели создания и послепродажного обслуживания морской техники для удовлетворения обоснованных требований заказчика. Описания процессов в базовой модели управления верфью включают в себя:

- положение о назначении процесса;
- описание на верхнем уровне общие цели совершения процесса;
- совокупность выходов, которая демонстрирует успешное достижение назначения процесса.

Эти описания процессов должны удовлетворять следующим требованиям:

- процесс должен быть описан в терминах назначения и выходов;
- в любом описании процесса совокупность выходов процесса должна быть необходимой и достаточной для достижения назначения процесса;
- описания процессов должны быть такими, чтобы в них не были включены или предполагались какие-либо элементы схемы измерения.

Если на рис. 2 и рис. 3 ранее были отражены типовые функциональные схемы, характеризующие базовые причинно-следственные связи между функциональными блоками управления производственным комплексом, то на рис. 6 представлен типовой унифицированный модуль формирования обобщенной структурной схемы реализации задачи в виде конфигурации типового унифицированного блока функционирования системы управления промышленного предприятия.

Для оптимизации процессов разработки отечественного программного обеспечения целесообразно использовать унифицированный подход к формированию модели управления типового функционального блока, как представленного в составе информа-

### Обобщенная функциональная схема блока управления на примере обрабатывающих технических средств [ГОСТ Р 34.1501.1.]



подсистема  $S_1$ , выполняющая основную технологическую функцию ( $\Phi_1$ ),  
 подсистема  $S_2$ , выполняющая вспомогательную функцию ( $\Phi_2$ ),  
 подсистема  $S_3$ , выполняющая функцию управления ( $\Phi_3$ ), осуществляет управляющие воздействия  $U_1, U_2$  на подсистемы  $S_1, S_2, S_3$   
 подсистема  $S_4$ , выполняющая функцию руководства планированием ( $\Phi_4$ ).

Рис. 6. Типовой модуль формирования обобщенной структуры бизнес-процесса функционального блока системы управления промышленного предприятия (ГОСТ 34.1501.1)



ционного взаимодействия, приведенного на рис. 6, или другой конфигурации, удовлетворяющей требованиям Заказчика.

На основании требований ГОСТ 34 601 предлагается следующая сокращенная структура этапов реализации задач для последующей оценки сроков и объема работ по реализации программы цифровой трансформации организации взаимодействия с разработчиками отечественного программного обеспечения:

- формирование требований к адаптации предложенного программного обеспечения к унифицированной организационной структуре предприятий судостроительной отрасли;
- разработка и согласование концепции функционирования комплекса предлагаемых унифицированных задач системы управления верфью;
- разработка и согласование частных технических заданий на разработку согласованного по номенклатуре задач отечественного программно-аппаратного комплекса;
- разработка и согласование технического проекта, согласованного по номенклатуре бизнес-процессов и входящих в них задач отечественного программно-аппаратного комплекса;
- разработка рабочей документации;
- ввод в промышленную эксплуатацию бизнес-процессов управления судостроительного/судоремонтного комплекса (опытная апробация, опытная эксплуатация, опытно-промышленная эксплуатация, передача в промышленную эксплуатацию).

Согласно уточненной Стратегии цифровой трансформации предприятий судостроительного комплекса до 2035 г. предусмотрены следующие основополагающие инициативы:

- инжиниринг,
- производственная эффективность,
- создание системы гарантированных поставщиков,
- собственные несудостроительные компетенции,
- новый технологический уклад,
- цифровизация,
- компетенции и кадры,
- организационное развитие,
- финансовая прозрачность,
- маркетинг,
- связи с общественностью.

Поэтому рациональное использование привлекаемых ресурсов и результативность проводимой технической политики судостроительного комплекса, в том числе за счет унификации

процессов разработки информационных систем управления предприятий судостроения на базе НТД РФ является крайне важным для выполнения государственных программ создания морской техники на период до 2035 г.

## ВЫВОДЫ

1. Современный уровень развития технологий позволяет осуществить качественный подход к разработке, рациональному использованию моделей управления и организации промышленного производства, в том числе и особо сложного, к которому следует отнести судостроительный/судоремонтный комплекс РФ.

2. В настоящее время формирование моделей управления производственного комплекса по созданию и послепродажному обслуживанию морской техники военного, гражданского назначения на ее полном индустриальном цикле осуществляется в конфигурации инструментария программных средств,

3. Требуется при формировании структуры системы управления судостроительным комплексом перейти от структуризации системы управления в составе программно-аппаратных комплексов (CAD, CAM, CAE, ..., PLM... SCADA...) к формированию бизнес-процессов системы управления на базе датацентричного принципа формирования информационного пространства, в которые полностью или частично включаются специализированные программно-аппаратные блоки при их динамическом взаимодействии в режиме реального времени.

4. В России создана в составе НТД РФ методическая основа формирования нового облика автоматизированных систем управления при переходе от программно-аппаратной структуры системы к процессно-ориентированной.

5. Для оптимизации процессов разработки отечественного программного обеспечения целесообразно использовать унифицированный подход к формированию модели управления типового функционального блока, удовлетворяющей требованиям Заказчика.

Согласно уточненной Стратегии цифровой трансформации предприятий судостроительного/судоремонтного комплекса до 2035 г. предусмотрено внедрение конкретных проектов по различным направлениям совершенствования процессов управления предприятиями отрасли, которые должны существенно повысить результативность их функционирования.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации приказ от 18 ноября 2020 года № 600 «Об утверждении методик расчета целевых показателей национальной цели развития Российской Федерации «Цифровая трансформация».
2. Стратегия развития судостроительной промышленности.
3. Стратегия цифровой трансформации предприятий Группы ОСК до 2035 г.
4. *Богданов А. Е., Будниченко М. А.* Организационно-управленческие технологии создания и технического обслуживания морской техники. – СПб.: Крыловский государственный научный центр, 2019. – 394 с.
5. *Лебедев Д. В., Новиков А. В., Бармин А. А., Панин М. В.* Ключевые инициативы цифровой трансформации АО «ОСК» и обшществ Группы ОСК//Судостроение. – 2022. – № 1. – С. 6–10.
6. *Лебедев Д. В., Новиков А. В.* Формирование цифровых компетенций в АО «ОСК»//Судостроение. – 2022. – № 1. – С. 11–14.
7. *Вихлянов М. В.* Об определении, формировании и применении цифровой информационной модели изделий судостроения//Морской вестник. – 2023. – № 4 (88). – С. 1–10.
8. ГОСТ ИСО/МЭК 1550–5– 2016. Информационные технологии. Оценка процессов. – Часть 5. Образец модели оценки процессов жизненного цикла программного обеспечения.
9. ГОСТ Р ИСО/МЭК 15704–2022. Моделирование и архитектура предприятия. Требования к стандартным архитектурам и методологиям предприятия.
10. ГОСТ Р 34.1501.1.–92. ИТ. Промышленная автоматизация. Основное производство. – Часть 1. Эталонная модель стандартизации и методология идентификации. Требования к стандартизации.
11. ГОСТ Р 52294–2004. ИТ. Управление организацией. Электронный регламент административной и служебной деятельности. Основные положения.
12. ГОСТ Р 56135–2014. Управление жизненным циклом продукции военного назначения. Общие положения.
13. ГОСТ Р 57193–2016. Системная и программная инженерия. Процессы жизненного цикла систем.
14. ГОСТ Р 58542–2019. Интегрированные системы менеджмента. Руководство по практическому применению.
15. ГОСТ Р 59194–2020. Управление требованиями. Основные положения.
16. ГОСТ Р 59793–2021. ИТ. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы. Стадии создания.
17. ГОСТ Р 59795–2021. ИТ. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы. Требования к содержанию документов.
18. ГОСТ РВ 0015–002–2020. СРПП ВТ. Системы менеджмента качества. Требования.
19. *Гришин Лев.* То самое введение и методика схемы COBIT 2019. – Версия 1.0 – <http://levgrishin.ru>. ■

При постройке крупных объектов, где заняты тысячи человек, зачастую используют методы типового технологического проектирования с учетом размера, количества операций и однотипности процессов в локальном представлении. В процессе цифровизации можно вернуться к формированию операционного технологического процесса, что позволит интегрировать знания специалистов в систему знаний предприятия, а на основе личного опыта определять специфику с учетом особенностей производственных цепочек конкретного предприятия.

Центральными методами, используемыми при цифровой трансформации, будут аналогия и преобразование систем управления в модели, а модели – в их математические аналоги, последние будут решены однозначно, но первый подход позволит прийти до принимаемой невязки. Попробуем определить порядок ее определения и величину.

Основополагающим постулатом – базисом анализа и управления методами теории управления механических систем (в некоторых изданиях – теории автоматического управления) – является степень точности цифровой модели – цифровизации объектов управления. Но подобный подход приводит к расходящемуся ряду решений, что в общей структуре будет представлять неопределенную систему уравнений, где их количество больше количества определяющих уравнений. В классической теории механики применяется метод расчета необходимой и достаточной точности.

Определим порядок системы, точнее, в общем случае примем систему с шестью степенями свободы (три поступательных, три вращательных –  $A, R$ ). Ввиду значимости временной составляющей будем рассматривать динамическую систему  $t$ . Определимся с требуемым периодом дискретизации процессов, которая, как в классической механике, будет проводиться по параметру времени, для судостроения – по минимальному времени управления, или суточным заданиям.

Таким образом, в общем случае инвариант примет вид

$$J = \{A_1, A_2, \dots, A_n; L_1, L_2, \dots, L_m, R_1, R_2, \dots, R_m\}, \quad (1)$$

где  $A_i$  – параметры дискретизации согласно представлению выше,  $L_i$  – маршрут технологической оперативной связи,  $R_i$  – ограничение маршрута с учетом размещения моделей заказа [4].

Сам процесс формирования технологии постройки представляет собой «разборку» модели проектанта в условиях вариации инварианта (1), тем самым формируется базовая технология постройки, при этом ее изменения представляют собой либо технологические варианты либо изменения, согласованные с проектантом [5].

## АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ЗАДАЧ ТЕОРИИ УПРАВЛЕНИЯ В СИСТЕМНЫХ ПОДХОДАХ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПОСТРОЙКИ КОРАБЛЕЙ И СУДОВ

Г. Я. Кремлёв, вед. инженер-конструктор ПАО «СЗ «Северная верфь»,  
Д. И. Гомонов, начальник бюро подготовки производства  
ОГТ АО «Кронштадтский морской завод»,  
контакт. тел. +7 (911) 199 4708, +7 (911) 128 2668

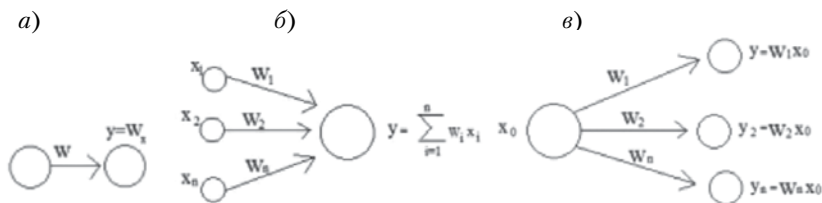


Рис. 1. Граф: а – одноветвевой, б – многоветвевой, в – многоветвевой

Представим процесс формирования технологии и постройки через граф системы управления дугами, где вершина – переменная, а ребро – связь между вершинами. Вершина на схеме изображается кружком и определяет переменную. Если к вершине подходит одно ребро, то она характеризует выходную величину ребра (рис. 1, а), если же в вершину входят несколько ребер, то она соответствует сумме выходных переменных этих ребер (рис. 1, б). Начальная вершина ребра определяет ее входную переменную (исходные данные) (рис. 1, в), вершина графа, имеющая только выходящие из нее ребра, – внешнее воздействие и называется входной вершиной графа.

Таким образом, последовательность ребер  $W_1, W_2, \dots, W_n$  – ориентированный маршрут, определяющий путь от  $x_0$  до  $x_n$ . При этом, если не возникает технологического дублирования (все вершины различны), то следует рассматривать путь от  $x_0$  до  $x_n$  как простой. Это означает условное ограничение подбора технологического пути постройки как простого пути от  $x_0$  до  $x_n$ , при автоматическом построении путь становится сложным как вариант проекта на основе ошибок проектанта (шифр 7) или внесения изменений в случае модернизации по требованию заказчика (шифр 9). Для отображения классического представления графа (рис. 2) управления в структурной схеме необхо-

димо сумматор с выходной переменной  $x$  заменить вершиной  $x$ , звено с передаточной функцией  $W$  – дугой  $W$ ; если выходная переменная подается на сумматор по отрицательному входу, то указанное звено следует заменить дугой  $W$ ; каждой переменной, в том числе соответствующей внешнему воздействию, присвоить свою вершину.

Здесь  $x_{вх}$  – входящий сигнал (задающий),  $x_{вых}$  – сигнал датчика выхода – управление (методом отрицательной обратной связи) на датчике выхода,  $\mu$  – управление (методом отрицательной обратной связи),  $\lambda_1$  – воздействие входное,  $\lambda_2$  – воздействию системы (факторное),  $\lambda_3$  – воздействие на прием управляющего сигнала.

При этом определителем графа  $A$  станет функция

$$A = 1 - \sum_j W_{0j} + \sum_{j,k} W_{0j} W_{0k} - \sum_{j,k,l} W_{0j} W_{0k} W_{0l} \dots \quad (2)$$

Здесь в первой сумме  $W_{0j}$  – передаточная функция  $j$ -го простого контура, равная произведению передаточных функций дуг, входящих в этот контур, и суммирование производится по всем простым контурам; во второй сумме  $W_{0j} W_{0k}$  – произведение передаточных функций  $j$ -го и  $k$ -го простых контуров, и суммирование производится по всем несоприкасающимся парам контуров; в третьей сумме  $W_{0j} W_{0k} W_{0l}$  – произведение передаточных функций



Рис. 2. Классическое системное представление управления



$j$ -го,  $k$ -го,  $l$ -го простых контуров, и суммирование производится по всем несоприкасающимся тройкам контуров и т. д. Передаточная функция системы управления относительно входа  $x$  и выхода  $z$  определяется следующим образом:

$$W_{zx} = \frac{1}{A} \sum_{i=1}^m W_{ni} A_i, \quad (3)$$

где  $A$  – определитель графа системы управления;  $W_{ni}$  – передаточная функция  $i$ -го прямого пути от начальной вершины  $x$  и конечной вершины  $z$ ;  $m$  – общее число таких прямых;  $A_i$  – определитель подграфа  $i$ -го прямого пути.

Выполним оценку устойчивости через ее алгебраический критерий; как известно, основным условием устойчивости непрерывной системы управления необходимо и достаточно, чтобы все корни ее характеристического уравнения имели отрицательную вещественную часть. На комплексной плоскости корни, имеющие отрицательную вещественную часть, располагаются в левой полуплоскости и поэтому называются левыми, корни, имеющие положительную вещественную часть, располагаются в правой полуплоскости и называются правыми, а корни, расположенные на мнимой оси – нейтральными. Поэтому основное условие устойчивости можно сформулировать еще так: для того чтобы система была устойчива, необходимо и достаточно, чтобы все корни характеристического уравнения были левыми – необходимое условие устойчивости. Для того чтобы система была устойчива, необходимо, чтобы все коэффициенты ее характеристического уравнения

$$a_0 * \lambda^n + a_1 * \lambda^{n-1} + \dots + a_n = 0 \quad (4)$$

были строго одного знака:

$$a_0 > 0, a_1 > 0, \dots, a_n > 0$$

$$\text{или } a_0 < 0, a_1 < 0, \dots, a_n < 0.$$

Характеристический полином  $Q(\lambda)$  (левая часть характеристического уравнения  $Q(\lambda) = 0$ ) получается из собственного оператора  $Q(p)$  простой заменой оператора  $p$  на комплексную переменную. Если дано уравнение системы управления в символической форме, то дифференциальный оператор при выходной переменной и будет собственным оператором. Другими словами, для определения устойчивости годятся классические критерии ее определения, а именно критерии Гурвица, Льерна–Шипара, а для частотной постановки задачи устойчивости подходит критерий Найквиста.

Таким образом, следует отметить, что и подграфы (операции в структуре формируемого техпроцесса) будут строго удовлетворять условиям, как часть целого, другими словами, классические критерии устойчивости применимы и для операций. Так, например, для формирования условного управления при операционной задаче будут применимы проверки устойчивости, что, в свою очередь, будет верно и для управляющего процесса в структуре

полного техпроцесса, что обуславливает для задач логистики подбор приоритета размещения, формирования, определения структуры развернутого фронта (в условиях определенного, но открытого агента).

Предлагаемый метод инверсионного формирования техпроцесса по модели проектанта способен обеспечить устойчивое выполнение условий, благодаря качеству этой модели, а в условиях безбумажного проектирования гарантирует надежное выполнение требований проектанта при минимизации издержек. При этом к системе применимы методы классической теории управления динамических систем, что обуславливает возможность системной инженерно-технологической подготовки при рассмотрении задач формирования техпроцесса постройки по модели проектанта. Качество формирования этого процесса будет напрямую зависеть от качества модели ее точности и полноты, что, в свою очередь, сводит систему инженерного-технологической проработки возможности изготовления к проверке модели – прогону через систему предприятия и выдаче пула пересечений, графа узлов типовых и требуемых операций, где остается лишь определиться с необходимостью применения не включенных в типовые (свойственные для строителя) операции на проектируемом заказе.

Следует отметить, что при использовании метода имитационного моделирования в условиях комплексной постановки технологического процесса по модели проектанта будут обеспечены не только удобство, единство формирования техпроцесса, прозрачность (поскольку система представляется открытой для внутренних служб), но и увеличение горизонта планирования за счет перехода от разового проектирования к системному, при этом знания специалиста будут становиться знаниями предприятия, а решения процесса постройки отражены в его информационной базе. Это позволит выделить технологические маршруты и приоритеты для дальнейшего развития предприятия строителя.

## ВЫВОДЫ

1. Специфика применимости методов теории управления к системам имитационного моделирования технологии управления постройки сводится к классическим системам управления.

2. Применение методов теории управления механических систем позволит перейти от проектирования локального *Ad hoc* к системному.

3. Применение системы имитационного моделирования позволит базе данных предприятия наследовать знания специалистов и распространять их на предприятие.

4. Имитационное моделирование в рамках теории управления имеет вы-

сокую степень адаптивности и пригодно для анализа устойчивости управления.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Лихтциндер Б. Я., Ольберг П. А. Моделирование и цифровые двойники // Вестник Самарского ГТУ. – Сер.: Технические науки. – 2022. – № 4 (76). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/modelirovanie-i-tsifrovyye-dvoyniki> (дата обращения: 04.06.2024).
2. Привалов А. Н., Шаров В. А. Цифровое моделирование отказоустойчивых информационно-управляющих систем // Изв. ТулГУ «Технические науки». – 2023. – № 2. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tsifrovoye-modelirovanie-otkazoustoychivykh-informatsionno-upravlyayuschih-sistem> (дата обращения: 04.06.2024).
3. Леонов О. А., Шкаруба Н. Ж., Гринченко Л. А., Пупкова Д. А. Создание цифровой модели процесса комплектации и сборки для ремонтного производства // Изв. НВ АУК. – 2023. – № 2 (70). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sozdanie-tsifrovoy-modeli-protsess-a-komplektatsii-i-sborki> (дата обращения: 04.06.2024).
4. Кремлёв Г. Я., Фомичёв А. Б. Оптимизация формирования постройки корпусов судов и кораблей: практика и перспективные решения // Сб. НТС. – 2023. – С. 69–74.
5. Сальников Н. М., Кремлёв Г. Я., Фомичёв А. Б. Применение имитационного моделирования при сборке и организации строительства объектов Минобороны // Известия РАН. – 2024. – № 4 (134). – С. 3–7.
6. Усачев М. С., Дорошенко В. А. Выбор операторных уравнений и структуры процессорных измерительных средств для автоматизации сборки изделий в приборостроении // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2014. – № 4 (104). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vybor-operatornykh-uravneniy-i-struktury-protsessornykh-izmeritelnykh-sredstv-dlya-avtomatizatsii-sborki-izdeliy-v-priborostroenii> (дата обращения: 04.06.2024).
7. Бутко А. О., Кузнецов П. М., Хорошко Л. Л. Организация цифрового двойника процессов восстановления дробильно-измельчительного оборудования // ГИАБ. – 2020. – № 8. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/organizatsiya-tsifrovogo-dvoynika-protsessov-vosstanovleniya-drobilnoizmelchitel'nogo-oborudovaniya> (дата обращения: 04.06.2024).
8. Лаврентьева М. В., Говорков А. С., Карлина Ю. И. Сокращение сроков конструкторско-технологической подготовки высокоточного производства с использованием экспертной системы // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2017. – № 4 (56). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sokraschenie-srokov-konstruktorsko-technologicheskoy-podgotovki-vysokotochnogo-proizvodstva-s-ispolzovaniem-ekspertnoy-sistemy> (дата обращения: 04.06.2024).
9. Муромский В. Р., Твиченко С. В. Применение технологии дополненной реальности в ракетостроении // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. – 2022. – №. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-technologii-dopolnennoy-realnosti-v-raketostroenii> (дата обращения: 04.06.2024) ■

В настоящий момент рынок судостроения постоянно развивается и вместе с этим растет необходимость в эффективных технических и экономических решениях.

Головные предприятия оборонного сегмента сегодня стараются стать производителями полного цикла и достичь требуемого показателя качества, снижая риски зависимости от поставщиков. Объединенная судостроительная корпорация заинтересована в том, чтобы максимальная доля добавленной стоимости формировалась внутри контура корпорации. Такой подход стимулирует АО «СПО «Арктика» максимально сконцентрировать производство всей номенклатуры деталей и комплектующих, необходимых для выполнения комплекса электромонтажных работ, на собственных производственных мощностях.

Предметом исследования является анализ трудоемкости при проведении операций по креплению кабеля в подвесках, а также поиск более экономичных и удобных способов выполнения электромонтажных работ. Проведение электромонтажных работ, своего рода «кровеносной» системы – основа работы машин и механизмов. Анализ рынка изделий слесарного назначения, в том числе кабельных подвесок, показал, что разработанное в «СПО «Арктика» устройство для крепления кабеля имеет высокую конкурентоспособность и большой потенциал в отрасли.

Основными рисками проекта являются неподтвержденный спрос на продукцию (кабельные подвески), а также высокий барьер для входа в отрасль, связанный с необходимостью согласования изобретения с Научно-исследовательским институтом стандартизации и сертификации «Лот» ФГУП «Крыловский государственный научный центр».

## ТЕХНИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ

При выполнении электромонтажных работ предпочтение отдается креплению кабелей в металлических кабельных подвесках, которые позволяют вести укладку каждого кабеля без дополнительных приспособлений. Большинство кабельных подвесок унифицировано по типоразмерам, каждому типоразмеру присвоен индекс. Требования к изготовлению кабельных подвесок сформулированы в отраслевом стандарте ОСТ5Р.6180–81.

На сегодняшний день для крепления кабеля используется устройство, содержащее U-образный корпус, на боковых стенках которого имеются отверстия для фиксированного перемещения и крепления прижимной планки, упругие прокладки. Прижимная планка устанавливается в прямоугольное отверстие на первой боковине U-образного корпуса и крепится с помощью винта и гайки ко второй боковине корпуса. При добавлении кабеля в устройство ее U-образный корпус раскрепляется в обратном порядке, добавляется кабель, и процесс крепления, описанный выше, повторяется. По окончании монтажа винты крепления фиксируются краской, что затрудняет последующий демонтаж кабеля.

На рис. 1 изображена кабельная подвеска по ОСТ5Р.6180–81.

Недостатком устройства для крепления кабеля по ОСТ5Р.6180–81 является то, что прижимную планку необходимо снимать с корпуса при укладке очередного кабеля, а затем вновь устанавливать и крепить к корпусу с помощью винта крепления. Процесс крепления длителен и трудоемок из-за необходимости завинчивания и отвинчивания крепящего винта.

# ПРОЕКТ ИННОВАЦИОННОГО КРЕПЛЕНИЯ МАГИСТРАЛЬНЫХ И МЕСТНЫХ КАБЕЛЕЙ НА КОРАБЛЯХ, СУДАХ И ПЛАВСРЕДСТВАХ

**Ю.Н. Разумов**, начальник лаборатории входного контроля электрооборудования,

**Е.В. Сердюков**, инженер по наладке и испытаниям,

**О.А. Тараканов**, инженер по нормированию труда,

АО «СПО «Арктика»,

контакт. тел. +7 (8184) 58 5433



Рис. 1. Кабельная подвеска по ОСТ5Р.6180–81

В предлагаемом устройстве на второй боковине U-образного корпуса выполнены по высоте фиксирующие выступы, расположенные над отверстиями. В зоне каждого отверстия сделан карман, обращенный открытой стороной к соответствующему выступу. На рис. 2 изображена усовершенствованная кабельная подвеска.



Рис. 2. Усовершенствованная кабельная подвеска

Устройство для крепления кабеля работает следующим образом: протянутые кабели укладывают в корпус кабельной подвески, заводят один отгиб прижимной планки в прямоугольное отверстие на первой боковине U-образного корпуса, свободное пространство между прижимной планкой и кабелем заполняют упругими прокладками, склеенными между собой, затем заводят другой отгиб прижимной планки изнутри U-образного корпуса в отверстие, охваченное карманом, и устанавливают на фиксирующий выступ.

Предлагаемое устройство для крепления кабеля имеет ряд преимуществ по сравнению с прототипом:

1. Исключение винтового крепления прижимной планки к корпусу кабельной подвески.
2. Снижение трудоемкости.



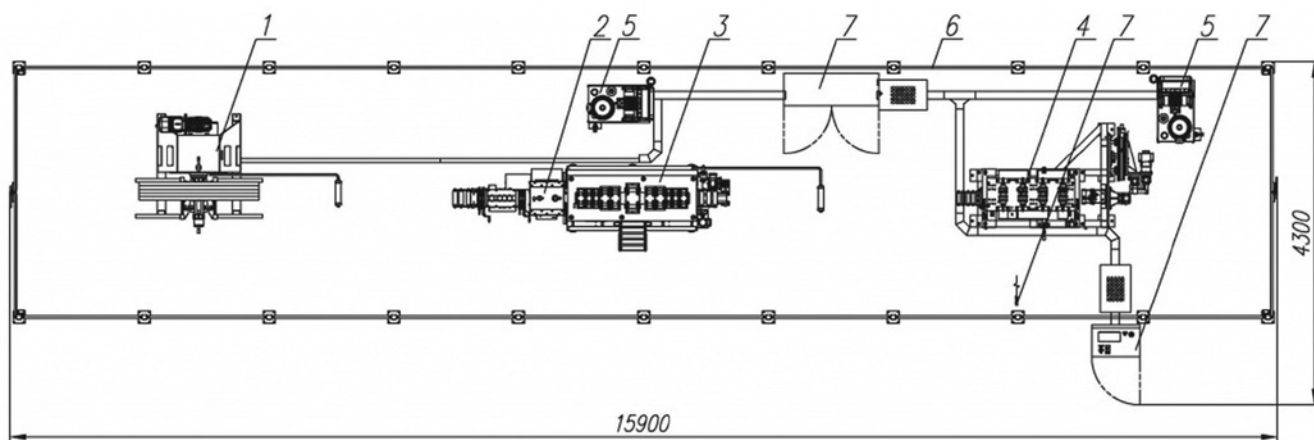


Рис. 3. Автоматизированная линия производства корпусов подвесок

1 – рулоноразматыватель; 2 – устройство правильно-подающее; 3 – гидропресс; 4 – устройство профилезгибочное; 5 – гидроборудование; 6 – ограждение; 7 – электрооборудование

3. Повышение удобства монтажа и демонтажа.
4. Экономия крепежа.
5. Отсутствие необходимости выполнения гальванических работ.
6. Сокращение времени на увязку кабелей.

Для производства корпусов кабельных подвесок нового типа планируется приобрести оборудование, организовать и ввести в эксплуатацию автоматизированную поточную линию (рис. 3), которая позволит улучшить качество готовой продукции и сократить трудоемкость при производстве. Кроме того, станет возможным выполнение нескольких операций за один цикл – станок с программным управлением из рулонной полосной ленты формирует профиль будущей подвески, прокалывает в нем отверстия, выдавливает карманы, делает гибку под заданный типоразмер и отрубает готовую подвеску.

Общая потребность в финансировании проекта составляет 114 млн. руб. Основные статьи затрат включают следующее:

- 59 млн. руб. на начальном этапе. В эту сумму входит стоимость закупки, установки и наладки оборудования автоматизированной линии, а также струйной моечной машины. Помимо этого, учтена сумма затрат на подготовку и оснащение производственного участка;
- 10,5 млн. руб. ежегодно для поддержания производства на заданном уровне. В данную сумму входят подготовка кадров, оплата труда и материалов, обслуживание оборудования и прочие производственные расходы.

### РАСЧЕТ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ

Для сравнения экономической эффективности кабельных подвесок нового типа определим затраты трудоемкости, основной заработной платы, а также суммы накладных расходов при применении каждого вида подвесок на одном заказе «Борей-А». В среднем на данном заказе применяется около 65 тыс. кабельных подвесок.

Для определения трудоемкости используем нормативные сборники норм времени, применяемые в АО «СПО «Арктика» и согласованные с ЦНИИ СЭТ.

Рассчитаем значение трудоемкости на крепление 10 кабельных подвесок старого типа:

$$T_c = N \cdot k_s \cdot k_n, \quad (1)$$

где  $N = 1,6$  нормо/ч (норма на крепление 10 кабельных подвесок среднего типоразмера  $50 \times 180$ ),  $k_s$  – коэффициент серийности заказа, 1,1;  $k_n$  – коэффициент неудобств при выполнении работ на заказе, 1,4;

При использовании кабельных подвесок нового типа технология укладки кабеля и его крепления не изменяется, за исключением операции с установкой винта и закручиванием гайки.

Таким образом, трудоемкость на крепление 10 кабельных подвесок нового типа

$$T_{\text{винт}} = T_c - T_{\text{винт}}, \quad (2)$$

где  $T_{\text{винт}}$  – трудоемкость на установку 10 винтов и закручивание 10 гаек в условиях заказа, (0,2541 нормо/ч).

Также необходимо учесть исключение затрат на закупку крепежа и на его гальванизацию.

После анализа рынка становится понятно, что затраты на закупку 10 комплектов крепежа (винт–гайка) составляют порядка 40 руб., а затраты на гальванизацию 10 комплектов – 60 руб.

Для определения затрат на оплату труда основных производственных рабочих и сопутствующих накладных расходов используем показатели расходов АО «СПО «Арктика».

Стоимость часа для выполнения данного вида работ составляет 533 руб. Определим итоговые затраты и сопутствующие накладные расходы:

$$З = \text{ОЗП} + \text{ДЗП} + \text{СВ} + \text{ОР} + \text{АУР} + \text{Пр}, \quad (3)$$

где ОЗП =  $T \cdot n \cdot 533$  руб. (Здесь  $T$  – трудоемкость изготовления соответствующего типа кабельных подвесок;  $n$  – количество кабельных подвесок на заказе, 65 000 шт.); ДЗП – дополнительная заработная плата (33% от ОЗП); СВ – социальные выплаты (30% от ОЗП + ДЗП); ОР – общепроизводственные расходы (67% от ОЗП); АУР – административно-управленческие расходы (191% от ОЗП); Пр – прибыль предприятия, закладываемая в статьи накладных расходов (5% от ОЗП).

Составим сравнительную таблицу (табл. 1) затрат при использовании подвесок старого и нового типов.

Таблица 1  
Сравнение затрат при использовании подвесок старого и нового типов

Вид затрат	Подвески старого типа	Подвески нового типа
Трудоемкость, нормо/ч	16 016,00	14 364,35
Оплата труда, руб.	8 536 528,00	7 656 198,55
Дополнительная ЗП, руб.	1 887 426,34	1 692 785,50
Социальные выплаты, руб.	3 127 186,30	2 804 695,21
Общепроизводственные расходы, руб.	5 719 473,76	5 129 653,03
Адм.-управленческие расходы, руб.	16 304 768,48	14 623 339,23
Учетная прибыль, руб.	1 778 769,14	1 595 333,58
Затраты на закупку крепежа, руб.	260 000,00	0,00
Затраты на гальванизацию, руб.	390 000,00	0,00
ИТОГО ЗАТРАТ	38 004 152,03	33 502 005,10

## Матрица McKinsey / General Electric для верфей Группы ОСК

Таким образом, мы получаем, что абсолютная экономия при внедрении в использование кабельных подвесок нового типа составит 4 502 146,93 рублей, а относительная экономия – 11,85%.

## АНАЛИЗ РЫНКА

На сегодняшний день на стапелях, у набережных российских верфей находятся в разных стадиях готовности фрегаты, корветы, малые ракетные корабли и другие корабли различных классов. Как говорил В.В. Путин во время церемонии подъема флагов на новых кораблях ВМФ РФ 25 декабря 2023 г.: «в ближайшие годы в рамках государственной программы вооружения со стапелей судостроительных заводов страны будут спущены на воду и переданы флоту новые корабли современных проектов, насыщенные новейшим оборудованием» [8]. Их постройка невозможна без кабельно-проводниковой продукции, требующей огромного количества судовых подвесок для ее укладки и крепления.

Прогноз рынка электромонтажных работ и электрооборудования верфей Группы предприятий ОСК в среднем в год можно оценить в 60 750 млн. руб. до 2027 г., в том числе:

- рынок электромонтажных работ в среднем в год – 22 500 млн. руб.;
- рынок электрооборудования в среднем в год – 38 250 млн. руб.

Прогноз рынка электромонтажных работ (далее – ЭМР) и электрооборудования (далее – ЭО) в перспективе до 2027 г. с учетом данных концепции проекта ЦТС «ОСК-ЭМР» представлен на рис. 4.

Основные перспективные рынки сбыта данных услуг – верфи Группы ОСК, расположенные в Санкт-Петербурге, Калининграде, Мурманске, Севастополе, Нижнем Новгороде, Астрахани, Комсомольске-на-Амуре. А основным потребителем ЭМР – более 80 % от общего рынка – являются верфи Группы ОСК, расположенные в Санкт-Петербурге, Калининграде и Северодвинске.

В соответствии со структурой прогноза рынка ЭМР и ЭО для верфей Группы ОСК до 2027 г. (см. рис. 4) составим матрицу McKinsey / General Electric (табл. 2).

Привлекательность сегмента	Конкурентоспособность сегмента		
	низкая	средняя	высокая
высокая		Поставка электрооборудования	
средняя	ЭМР, ремонт	СКС, сервис	ЭМР новое строительство (в т.ч. изготовление изделий слесарного насыщения)
низкая			

Из табл. 2 видно, что производство изделий слесарного насыщения имеет среднюю привлекательность – высокую конкурентоспособность бизнеса в сегменте с высоким потенциалом для компании. При входе в сегмент сначала рекомендуется сформировать устойчивое конкурентное преимущество. Рекомендации по усилению привлекательности продукта:

- концентрирование усилий на конкурентных преимуществах товара, ключевыми из которых являются снижение трудоемкости и повышение удобства монтажа и демонтажа;
- четкое определение источников роста в сегменте (с точки зрения потребителей и конкурентов);
- выстраивание избирательной четкой стратегии «нападения» только на тех конкурентов, против которых у компании есть явное преимущество;
- уклонение от прямой борьбы «лоб в лоб» с лидерами рынка, обладающими высокой конкурентоспособностью.

Изобретению запатентовано, поэтому влияние угроз со стороны новых игроков низкое. Однако наблюдается высокая зависимость от заказчика, так как в качестве ключевого заказчика для АО «СПО «Арктика» выступают судостроительные заводы Российской Федерации, что на сегодняшний день, учитывая политическую ситуацию, положительно сказывается на количестве заказов, но в перспективе может привести к

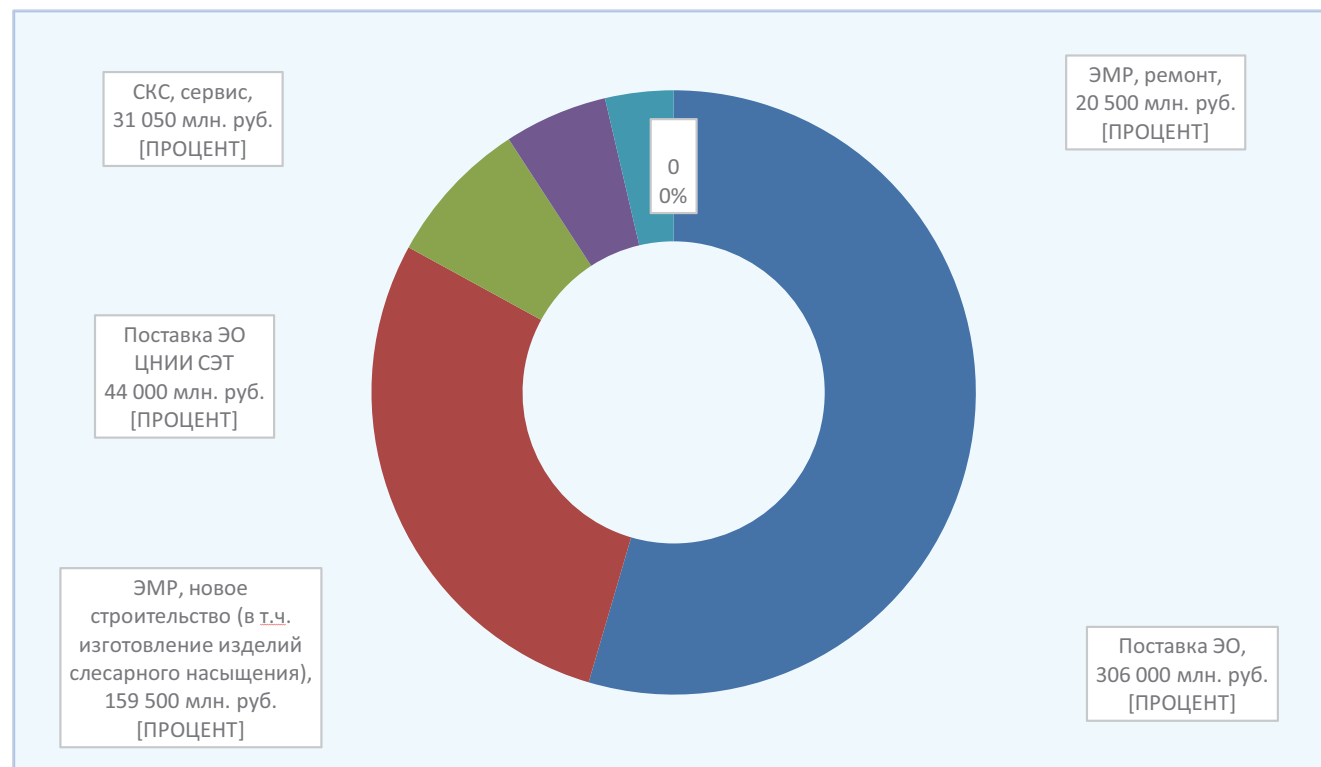


Рис. 4. Прогноз рынка ЭМР и ЭО верфей Группы ОСК в перспективе до 2027 г.



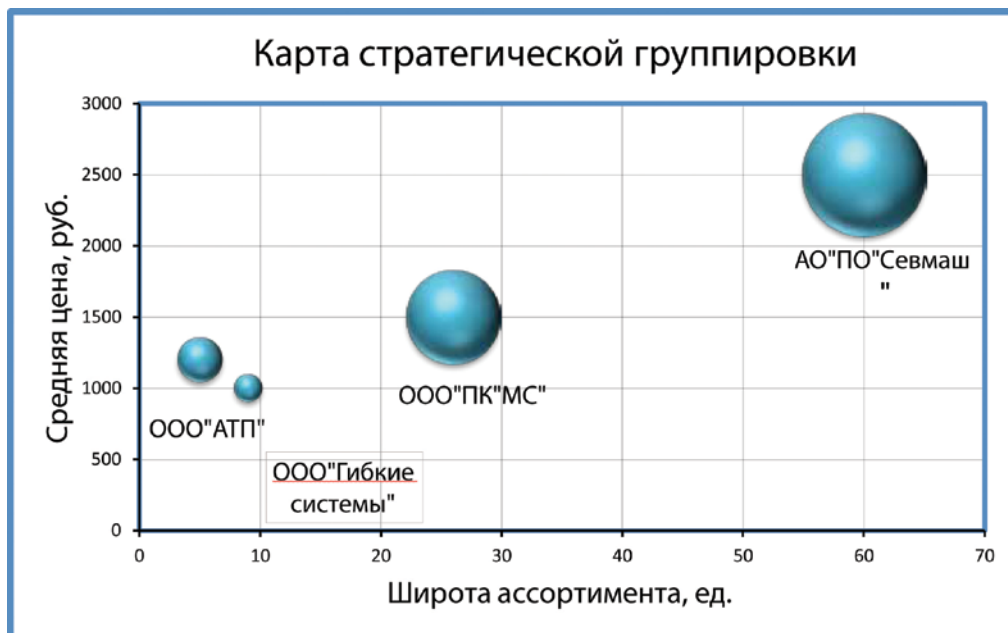


Рис. 5. Карта стратегической группировки

жесткой зависимости от них, что требует диверсификации производства в сторону гражданской продукции.

Изучение конкурентов имеет целью выявить их слабые и сильные стороны и с учетом этого построить свою стратегию конкурентной борьбы.

На рис. 5 отображены отличительные конкурентные характеристики компаний по производству изделий слесарного назначения: ООО «Гибкие системы» (Челябинск), ООО «ПК «МС» (Санкт-Петербург), ООО «Аддитивные технологии в промышленности» (Уфа), АО «ПО «Севмаш» (Северодвинск) и составлена карта стратегической группировки, охватывающая общие черты компаний. Основным конкурентом в производстве кабельных подвесок по объему продаж в отрасли является АО «ПО «Севмаш».

Благодаря использованию патента на устройство можно избежать прямой конкуренции при выходе на рынок новых игроков. Изобретение обладает рядом конкурентных преимуществ, добавляющих ценность для потребителя, поэтому существует возможность реализовать продукт дороже существующих на рынке устройств. Выбор пассивной стратегии «обхода» также позволяет избежать прямой конкуренции путем фокусирования продуктового преимущества на узком участке рынка. По Майклу Портеру это – сфокусированная стратегия дифференциации.

Изобретение относится к устройствам для монтажа и крепления кабеля на судах и может быть использовано в других отраслях промышленности, где применяется электромонтаж.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Баринов В.А., Бусалов Д.Ю.* Стратегический менеджмент : учеб. пособие. – 2-е изд., доп. – М.: ИНФРА-М, 2024. – 294 с.
2. *Батищева Е.А.* Анализ и управление денежными потоками. – Ставрополь: Прогресс, 2017. – 560 с.
3. *Бойсигитов С.К.* Возможности использования матрицы GE (GENERAL ELECTRIC) в анализе привлечения рынка // Экономика и социум. – 2022. – №5 (96)-1 – 339 с.
4. *Бычкова С. М., Бадмаева Д. Г.* Методика анализа денежных потоков организации // Международный бухгалтерский учет. – 2017. – № 21. – С. 23– 30.
5. *Инвестиции и инновации: учеб. / Под ред. В.Н.Щербакова.* – 3-е изд. – М.: Дашков и К, 2020. – 658 с.
6. *Портер Майкл.* Конкурентное преимущество: Как достичь высокого результата и обеспечить его устойчивость/Пер. с англ. Е. Калинина, 2016. – 1012 с.
7. *Волков А.С.* Оценка эффективности инвест. проектов: учеб. пособие. – М.: ИЦ РИОР, ИНФРА-М, 2019. – 111 с.
8. Российское общественно-политическое интернет-издание «Газета.ru» – <https://www.gazeta.ru/army/news/2023/12/25/22003903.shtml?updated>
9. Патент SU 1723614 A1/Разумов Ю. Н., Фуртиков В. И. – М., Государственный комитет по изобретениям и открытиям при ГКНТ СССР, 1992.
10. ОСТ5Р6180–81. Изделия монтажные для крепления судового электрооборудования, кабелей и проводов. Технические условия. ЦНИИ «Лот». Переиздание с изменениями, 1995. – 187 с. ■

Одной из значимых эксплуатационных характеристик жаропрочных сплавов, используемых в проточной части газотурбинных двигателей (ГТД), особенно морского назначения, является их коррозионная стойкость при высоких температурах. В настоящее время эта характеристика определяется разработчиками сплавов по их субъективным представлениям и по результатам коррозионных испытаний образцов этих сплавов по различным методикам: в расплавах солей, в солевых обмазках, на газодинамических стендах («с горелкой») и др. Поэтому при разработке новых никелевых сплавов, оценке возможности эксплуатации ГТД в новых условиях, при формировании проточной части турбин с одинаковым уровнем коррозионной стойкости практически невозможно сравнивать сплавы по характеристике «коррозионная стойкость».

В настоящей работе предлагается для нормирования этой характеристики сплавов использовать единый подход, основанный на общедоступных расчетных принципах. Работа выполнена применительно к жаропрочным сплавам на основе никеля.

Результаты коррозионных испытаний на газодинамическом стенде в диапазоне температур 700 – 1000 °С позволили оценить скорость коррозии (в виде повреждения испытываемых материалов в г/м<sup>2</sup>ч) для Ni, Cr, Co, Mo, W, Ti, Al, Fe, Nb при их работе в составе сплавов [1]. Скорости коррозии отдельных металлов оказались одинаковыми при одной температуре независимо от химического состава сплава. Это дало возможность выполнять оценку скорости коррозии сплавов расчетным путем. При оценке скоростей коррозии отдельных металлов в условиях сульфидно-оксидной коррозии было принято допущение, что коррозионное повреждение вызвано только сульфидной коррозией. Поэтому расчетная оценка скорости коррозии также будет приведенной к условиям сульфидной коррозии, а полученное значение иметь название «приведенная».

В табл. 1 показаны скорости коррозии перечисленных металлов при температуре 900 °С, которая выбрана как максимальная, при которой еще может реализовываться процесс горячей сульфидно-оксидной коррозии в проточной части ГТД, однако уже при более высокой температуре значительно увеличивается скорость возгонки солей Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, NaCl, что снижает возможность их «прилипания» к поверхности металла, снижается коэффициент сепарации солей из потока на элементы проточной части. В результате коррозионные повреждения сплавов при температурах выше 900 °С уменьшаются по причинам, не связанным с коррозией [2].

## НОРМИРОВАНИЕ КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ ЖАРОПРОЧНЫХ НИКЕЛЕВЫХ СПЛАВОВ

**А.З. Багерман**, канд. техн. наук,  
руководитель секции «Судовые энергетические установки»,  
**И.П. Леонова**, инженер,  
РосНТО судостроителей им. акад. А.Н. Крылова,  
**С.А. Заводов**, канд. техн. наук,  
гл. инженер опытного завода ПАО «ОДК-Сатурн»,  
**А.А. Живушкин**, вед. специалист АО «Климов»,  
контакт. тел. (812) 710 4011

Таблица 1  
Скорость взаимодействия металлов в составе сплавов с агрессивной средой, г/м<sup>2</sup>ч, при температуре 900 °С [1]

T, °C	Ni	Cr	Co	Mo	W	Ti	Al	Fe	Nb
900	4,6	4,0	4,5	6,5	6,75	2,9	4,7	3,9	4,1

Таблица 2  
Пример оценки приведенной скорости коррозионного повреждения сплава ЭИ929 при температуре 900 °С

Характеристика	Ni	Cr	Co	Mo	W	Ti	Al	Fe	Nb
$g_p$ , г	54,3	10,5	14,0	5,0	5,5	1,7	4,0	5,0	-
$V_p$ , см <sup>3</sup> /г	0,120	0,140	0,112	0,097	0,052	0,40	0,37	0,126	0,116
$V_i = v_i \cdot g_p$ , см <sup>3</sup>	6,51	1,47	1,57	0,485	0,286	0,680	1,480	0,63	-
$V_{\text{отн}}$	0,496	0,112	0,120	0,037	0,022	0,052	0,113	0,050	-
$Q_{\text{пр}} = V_{\text{отн}} \cdot g_p$ , г/м <sup>2</sup> ч	2,28	0,448	0,540	0,240	0,147	0,150	0,53	0,190	-

При оценке скоростей, показанных в табл. 1, по результатам коррозионных испытаний предполагалось, как уже сказано, что все повреждения вызваны сульфидной коррозией. Поэтому скорости коррозии сплавов, определенные с использованием данных табл. 1, будут названы приведенными.

Пример оценки приведенной скорости коррозионного повреждения сплава показан в табл. 2. Рассматривается 100 г сплава. Площадь поверхности, контактирующая с агрессивной средой, принимается равной 1 м<sup>2</sup>. Поверхность контакта с агрессивной средой отдельных металлов соотносится их доле в общем объеме рассматриваемого сплава.

Здесь  $g_i$  – массовая доля металла в 100 г сплава,  $v_i$  – удельный объем металла,  $q_i$  – скорость коррозии металла по табл. 1.

Сумма всех объемов отдельных металлов составила  $V_{\Sigma} = 13,11$  см<sup>3</sup>, сумма потерь отдельными металлами, или приведенная скорость коррозии, –  $Q_{\Sigma} = 4,525$  г/м<sup>2</sup>ч.

Для сравнения коррозионной стойкости отдельных сплавов используется шкала по параметру «стеснения», который применялся в работах [3, 4] при оценке теплопроводности сплавов, степени черноты сплавов и других характеристик.

Параметр «стеснения»  $V_{\text{отн}} = V_{\Sigma}/d$ , где  $d$  – плотность сплава по справочнику,



Рис. 1. Связь приведенной скорости коррозионного повреждения сплавов с их параметром «стеснения»



Связь приведенной скорости сульфидно-оксидной коррозии никелевых сплавов с их параметром «стеснения» при температуре 900 °С

№ п/п	Сплав	Параметр «стеснения» $V_{отн}$	Скорость коррозии, г/м <sup>2</sup> ч
1	ЭП 881	1,021	4,633
2	ВЖ 145	1,026	4,540
3	ЭК 58	1,046	4,540
4	ЭИ 602	1,048	4,460
5	ЭИ 868	1,048	4,484
6	ЭИ 652	1,051	4,430
7	ЭП 886	1,056	4,860
8	ЭИ 894	1,0748	4,400
9	ЭП 884	1,077	4,860
10	ЭП 238	1,079	4,600
11	ЭП 708	1,084	4,538
12	ЭИ 617	1,084	4,467
13	ЭП 99	1,084	4,478
14	ЭП 199	1,088	4,526
15	ЭИ 867	1,088	4,700
16	ЭП 693	1,088	4,436
17	ЭИ 109	1,092	4,690
18	ЭП 220	1,099	4,530
19	ЭИ 929	1,101	4,550
20	ЭИ 826	1,104	4,550
21	ЭП 962П	1,108	4,505
22	ЭИ 698У	1,111	4,414
23	ЭИ 602	1,112	4,463
24	ЖС 6У	1,115	4,770
25	ЭП 741	1,115	4,562
26	ЭП 57	1,116	4,484
27	ЭП 975	1,121	4,500
28	ЧС 88	1,122	4,320
29	ЭП 742	1,124	4,467
30	ЖС 6КП	1,133	4,476
31	ЖС 32	1,131	4,473
32	ЭП 494	1,142	4,472
33	ЖС 6К	1,127	4,480
34	ЖС 26	1,115	4,770

Таблица 4

Средний химический состав сплавов, %

Сплав	Ni	Cr	Co	Mo	W	Ti	Al	Fe	Nb
ЧС88ВИ	58,0	16,0	11,0	1,9	5,3	4,6	3,0	-	-
Коррозионно-стойкие	62,0	14,5	10,4	3,6	6,5	1,9	3,2	3,0	2,2
Коррозионно-нестойкие	59,4	13,4	10,6	6,2	7,6	1,3	4,2	4,2	2,0

Таблица 5

Приведенная скорость коррозионной стойкости зарубежных сплавов при температуре 900 °С

Скорость	GTD111	In738	In939	In6201	In6203	In742	Rene80	Rene80H
Значение	4,31	4,39	4,20	4,33	4,29	4,42	4,34	4,37

$V$  – сумма объемов всех металлов сплава в свободном состоянии вне сплава, по химическому составу, например, как в табл. 2. Таким образом, параметр «стеснения» есть отношение суммы объемов металлов в свободном состоянии, соответствующих 100 г сплава, к объему 100 г сплава.

Результаты обработки характеристик 34 сплавов из работы [5] с целью оценки  $Q_{св}$  и  $V_{отн}$  приведены в табл. 3 и на рис. 1.

При обработке результатов, приведенных в табл. 3, была выявлена группа сплавов (26 из 34), которая показала практически одинаковую скорость коррозии.

Результаты обработки этих данных методом наименьших квадратов аппроксимировали следующим уравнением:

$$Q_{св} = -0,0284 V_{отн} + 4,524, \text{ г/м}^2\text{ч.} \quad (1)$$

Получилась практически горизонтальная линия с разбросом  $\pm 0,09$  г/м<sup>2</sup>ч, что свидетельствует о том, что вся рассмотренная выборка имеет одинаковый уровень приведенной коррозионной стойкости.

В эту группу не вошли сплавы под номерами 1, 7, 9, 10, 15, 17, 24, 34, которые показали худшую коррозионную стойкость.

Оценка коррозионной стойкости никелевых сплавов по (1), представленная в табл. 3, условно разделила их на коррозионно-стойкие и нестойкие к коррозии. Все сплавы сравнивались в одинаковых условиях и отличались только химическим составом, это лишний раз доказывает, что различие в реакции на агрессивные действия среды определяются их химическим составом.

В табл. 4 приведены данные о среднем количестве металлов (химическом составе) в каждой из полученных групп и сплава ЧС88ВИ, имеющего лучшие показатели стойкости к коррозии. Данные адекватны нашим представлениям о коррозионной стойкости сплавов.

Наряду со сплавами, перечисленными в табл. 3, были рассмотрены зарубежные сплавы, приведенные в табл. 5. В некоторых сплавах наряду с металлами из табл. 3 содержатся Nb и Ta. Содержание Ta составило от 1,1 до 3,9%. Авторы не располагают опытными данными о скорости коррозии Ta в составе сплавов, поэтому оценка приведенной скорости коррозионного повреждения сплавов GTD111, In738, In939, In6201, In6203, In792 выполнена без учета тантала.

Результаты, приведенные в табл. 5, показывают, что уровень коррозионной стойкости сплава, который предлагается принять как показательный, подтверждается и опытом эксплуатации зарубежных материалов. Лучшие из них имеют коррозионную стойкость, одинаковую

с лучшим на сегодняшний день отечественным сплавом ЧС88ВИ.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты выполненной работы позволили выявить зависимость условного (расчетного) коррозионного

повреждения жаропрочных никелевых сплавов с их параметром «стеснения», которая отвечает практическим представлениям о коррозионной стойкости сплавов на текущий момент.

Они также показали, что жаростойкие сплавы на основе никеля могут быть

разделены на коррозионно-стойкие и нестойкие к горячей сульфидно-оксидной коррозии. Критерием оценки для попадания сплава в ту или иную группу может служить оценка приведенной скорости коррозии по методике, использованной в табл. 2. Если результат меньше полученного по уравнению (1), то сплав можно считать коррозионно-стойким. Если результат оценки скорости коррозии больше полученного по уравнению (1) – сплав коррозионно-нестойкий.

Сравнение показателя коррозионной стойкости отечественных сплавов

с зарубежными (см. табл. 3 и табл. 5) подтвердило работоспособность предлагаемого критерия отнесения сплавов к коррозионно-стойким или коррозионно-нестойким.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Багерман А.З., Леонова И.П. Оценка скорости солевой коррозии металлов в составе сплавов // Тяжелое машиностроение. – 2019. – № 1-2. – С. 32–34.
2. Багерман А.З., Леонова И.П., Заводов С.А. и др. Результаты коррозионных испытаний жаропрочных сплавов на огневом

газодинамическом стенде. // Судостроение. – 2024. – № 4. – С. 66–70.

3. Багерман А.З. Оценка возможности прогнозирования коэффициента теплопроводности сплавов на основе никеля и железа. // Тяжелое машиностроение. – 2020. – № 7-8. – С.30–31.
4. Багерман А.З. Оценка степени черноты сталей и сплавов по степени черноты составляющих их металлов. // Газотурбинные технологии. – 2020. – № 4. – С.38–40.
5. Справочник по авиационным материалам. – В 5 т. – Т. 3: Коррозионные и жаропрочные стали и сплавы. – М.: Машиностроение, 1965. – 632 с. ■

Современная энергетика стоит перед серьезной дилеммой: потребление энергии неуклонно увеличивается, а эффективность существующих энергетических установок (ЭУ) практически достигла своего предела. Десятилетиями основой расчетов и проектирования в области ЭУ служила модель идеального газа (ИГ), или, с некоторыми уточнениями, идеальный газ с учетом сжимаемости. Однако возможности, предоставляемые этой моделью, исчерпаны. Дальнейшее повышение эффективности, казалось бы, невозможно. Но выход есть – и он заключается в более точном определении параметров рабочего тела – переходе от модели идеального газа к модели реального газа.

Модель идеального газа, несмотря на свою простоту и удобство в расчетах, представляет собой значительное упрощение реальных газов (РГ). Она не учитывает межмолекулярные взаимодействия и собственный объем молекул, что в условиях высоких давлений и температур, характерных для многих ЭУ (например, газотурбинных двигателей, двигателей внутреннего сгорания что, компрессоров), становится критическим фактором. Различие между моделью ИГ и РГ в этих условиях может быть существенной, приводит к недооценке потерь энергии и снижению характеристик оборудования.

Уточнение модели рабочего тела до уровня РГ предполагает учет межмолекулярных сил притяжения и отталкивания, а также собственного объема молекул. Для этого используются различные уравнения состояния, например, уравнение ван дер Ваальса, Редлиха–Квонга или более сложные модели, предусматривающие особенности конкретных веществ. Эти уравнения позволяют точнее описывать термодинамические свойства рабочего тела в широком диапазоне параметров, но не

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ АДИАБАТНОГО ПРОЦЕССА РЕАЛЬНОГО ГАЗА

Д.О. Глазырина, аспирант,  
Д.М. Кучинский, канд. техн. наук, доцент,  
С.А. Паимцев, преподаватель,  
СПбГМТУ,  
контакт. тел. + 7 (911) 785 3828, + 7 (921) 384 0283, Cyd\_glazyrina@bk.ru,  
kuchinskiy-dm@bk.ru, sergei\_p1981@mail.ru

дают удовлетворительного количественного совпадения расчетных и экспериментальных данных.

Использование уравнений состояния РГ позволяет с большей точностью рассчитывать параметры рабочего процесса (температуру, давление, удельный объем, энтальпию, энтропию), что приводит к уточнению рабочих режимов оборудования и снижению потерь энергии.

Более точные данные о параметрах рабочего тела позволяют оптимизировать конструкцию ЭУ, что в конечном итоге ведет к повышению КПД.

Повышение эффективности установки напрямую переводится в экономию топлива и снижение выбросов вредных веществ в окружающую среду.

Несмотря на увеличение сложности расчетов, переход к модели реального газа является неизбежным шагом на пути к созданию более эффективных ЭУ. Современные программные комплексы позволяют успешно решать задачи термодинамического моделирования с учетом реальных свойств рабочего тела. Исследования в этой области являются ключевыми для преодоления технологического барьера и достижения качественного скачка в эффективности энергетических технологий будущего. Инвестиции в развитие таких исследований – это инвестиции в энергоэффективное и экологически чистое будущее.

В ходе ряда исследований для улучшения совпадения расчетных и экспериментальных данных в качестве базовой модели было выбрано уравнение ван дер Ваальса, которое имеет вид

$$P = \frac{RT}{(v-b)} - \frac{a}{v^2}.$$

Для уточнения уравнения ван дер Ваальса [1] было предложено уравнение реального газа с двумя коэффициентами пропорциональности. Оно позволяет получить уравнения всех термодинамических процессов: адиабатного, изохорного, изобарного, адиотермического и политропного. В связи с этим был проведен эксперимент по определению совпадений экспериментальных и расчетных значений параметров по выше перечисленным процессам.

Предложенное уравнение состояния РГ

$$P = (1 - \lambda^* + \mu^*) \left( \frac{RT}{(v-b)} \right),$$

$$\text{где } \lambda^* = \frac{\frac{a}{v^2}}{\frac{R \cdot T}{(v-b)}}.$$

Для определения коэффициента пропорциональности  $\mu^*$  авторами была предложена формула

$$\mu^* = \left( \frac{1}{3 \cdot J_{kp}} \right)^n \cdot \left[ 1 - \left( \frac{T_{kp}}{T_i} \right)^{\text{sign} \Delta P} \right],$$



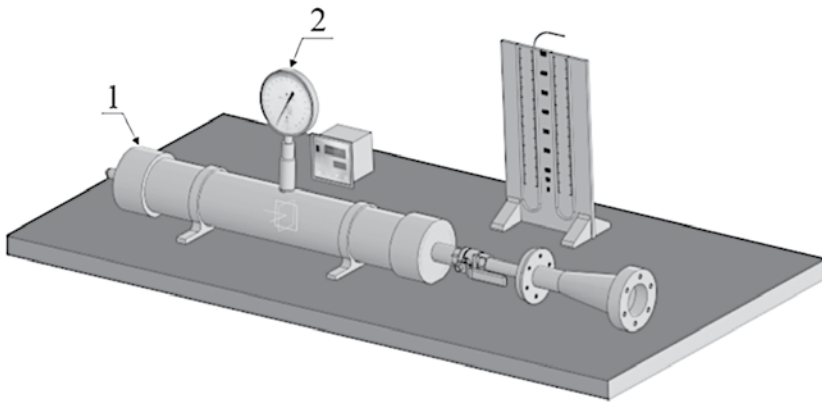


Рис. 1. 3D модель экспериментальной установки  
1 – сосуд, 2 – манометр

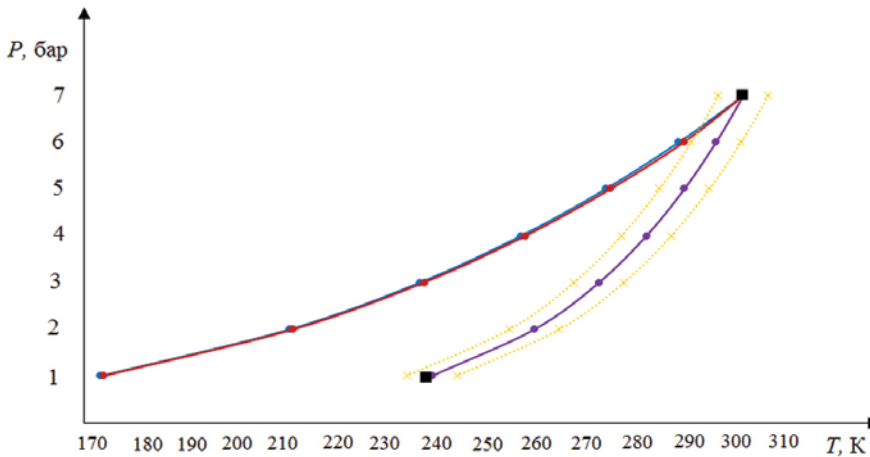


Рис. 2. График адиабатного процесса расширения воздуха, рассчитанного по уравнениям: реального газа с двумя коэффициентами (—●—); идеального газа с коэффициентом  $z$  (—●—); идеального газа (—●—)  
■ – экспериментальные значения; ..... – доверительный интервал

где  $n = 0,67$  для воздуха,  $\text{sign}\Delta P$  означает, что в случае отрицательного значения

$$\Delta P \text{ в скобке } \left(1 - \frac{T_i}{T_{кр}}\right), \text{ положительного } - \left(1 - \frac{T_{кр}}{T_i}\right)$$

$$J_{кр} = \frac{R \cdot T_{кр}}{P_{кр} \cdot v_{кр}},$$

где  $J_{кр}$  – безразмерный критический параметр (критический коэффициент),  $R$  – удельная газовая постоянная,  $T_{кр}$  – критическая температура,  $P_{кр}$  – критическое давление,  $v_{кр}$  – критический удельный объем.

Адиабатный процесс происходит без теплообмена рабочего тела с окружающей средой. Практически единственный процесс в цикле теплового двигателя, при реализации которого совершается полезная работа. Реальный процесс расширения рабочего

тела в двигателе в определенной степени приближается к теоретическому процессу. В некоторых циклах (ГТУ, ДВС) работа совершается сначала в изобарном, а затем и в адиабатном процессах, но вклад изобарного процесса в общую величину работы цикла значительно меньше, чем адиабатного процесса.

Полученное уравнение адиабатного процесса имеет вид

$$Pv^{k_{пр}} = \text{const.}$$

Новая модель реального газа позволяет определить показатель адиабаты по формуле

$$k_{пр} = \frac{2 \cdot \lambda^* - 2 \cdot \mu^* + (1 - \lambda^* + \mu^*) \cdot k}{1 + \lambda^* - \mu^*}.$$

Для исследования предложенной модели РГ было необходимо проверить соответствия расчетных и эксперимен-

тальных данных. На кафедре теплофизических основ судовой энергетики в СПбГМТУ была изготовлена экспериментальная установка (рис. 1), которая позволяет исследовать адиабатный процесс расширения РГ.

Для проверки соответствия расчетных данных экспериментальным были проведены необходимые опыты. Построен доверительный интервал (рис. 2).

С помощью компрессора нагнетается воздух в сосуд 1, который выполнен в виде трубы и соединен с манометром 2. Для измерения температуры воздуха в закрытом объеме размещена термопара, которая выведена к термодату. Воздух нагнетается до необходимого избыточного давления, открывается клапан, и воздух расширяется в атмосферу. На выходе фиксируем показания температуры и давления. Эксперимент проводился при разных избыточных давлениях от 1 до 6 бар.

Для адиабатного расширения результаты расчета показали, что при начальном избыточном давлении  $P_{изб} = 6$  бар в конце процесса расширения по уравнению ИГ и ИГ с коэффициентом сжимаемости температура  $T = 173$  К ( $-100$  °С), по предложенной модели РГ –  $T = 235$  К ( $-38$  °С). Экспериментом было получено  $T = 236$  К ( $-37$  °С).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Расчетные значения температуры, полученные по уравнению реального газа с двумя коэффициентами пропорциональности, удовлетворительно согласуются с экспериментом.

2. При расчете значений температуры по уравнениям идеального газа и идеального газа с коэффициентом сжимаемости получить удовлетворительное совпадение с экспериментом не удалось.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Глазырина Д.О., Кучинский Д.М. Исследование свойств реального газа. // Неделя науки Санкт-Петербургского государственного морского технического университета. – 2020. – Т. 2. – № 4. – С. 51–54.
2. Павловский В.А. Введение в термодинамику реальных газов: монография / ФГУП «Крыловский государственный научный центр». – СПб., 2013. – 230 с.
3. Кучинский Д.М., Мальх Н.П., Зайцев О.Д. Основы термодинамики реальных газов: учеб. пособие. – СПб.: Изд-во СПбГМТУ. – 2018. – 222 с. ■

**АО «Компрессор»** является разработчиком и изготовителем специализированного компрессорного и газового оборудования для кораблей и судов всех типов и назначений, а также для многих других отраслей, в том числе компрессорных станций для нужд ВМФ, компрессоров пускового воздуха для основных и вспомогательных дизелей и компрессоров для гражданских судов, установок для очистки и осушки сжатого воздуха [1], специальной компрессорной техники для ракетных комплексов войск стратегического назначения и ПВО. Кроме того, в числе продукции акционерного общества – комплексы компрессорного оборудования и систем для хранения, распределения газов для космодромов, компрессоры и компрессорное оборудование для энергетического комплекса и атомной энергетики, винтовые компрессорные установки для РЖД, компрессоры буферного газа для ПАО «Газпром», блочные установки подготовки топливного, пускового и импульсного газа [2], приборы автоматического управления для компрессорного и газового оборудования, приборы измерения и контроля параметров сжатого воздуха, оборудование, предназначенное для защиты окружающей среды, утилизации и уничтожения отходов [3], а также комплексы по переработке органических отходов [4].

Для строительства независимого флота кораблей и судов необходимо освоение и внедрение технологий, позволяющих производить на территории РФ ключевое комплектующее оборудование, которое ранее поставлялось из-за рубежа или состояло из иностранных комплектующих и материалов и имело низкую степень локализации.

Необходимо, чтобы комплектующее оборудование как составной элемент и неотъемлемая часть общесудовых систем, было освоено российскими предприятиями, отечественный аналог должен иметь такие же габаритные и размеры, быть пригодным для ремонта и модернизации. Приборы управления должны быть построены на базе ответственных программных логических контроллеров (ПЛК) и иметь отечественное программное обеспечение и контрольно-измерительное оборудование, имеющее необходимые сертификаты РМРС или декларации, а также необходимые документы для эксплуатации и периодического освидетельствования судов, работающих под давлением, и поверки применяемых средств измерений в соответствии с нормативными документами РФ.

#### ТРЕБОВАНИЯ К СУДОВЫМ ИНСИНЕРАТОРАМ

В мире остро стоит вопрос о переработке отходов. Хранение, вывоз и дальнейшая переработка отходов на судах имеет особую специфику и поэтому высокую стоимость.

Хранение как твердых, так и жидких отходов на судах проблематично, так как необходимо дополнительное место. Вывоз жидких отходов с судна может осуществляться только специализированными компаниями, сброс за борт запрещен.

Утилизацию жидких нефтяных отходов (шлам) можно проводить в специально оснащенных судовых инсинераторах.

В руководящих документах РМРС, приложение 1, п. 4.1 [5] указано, что в соответствии с правилом 16 Приложения VI к МАРПОЛ 73/78 [6] судовые инсинераторы, установленные на судах, кили которых заложены 1 января 2000 г. или после этой даты, должны соответствовать требованиям резолюции ИМО МЕРС.76 (40) [7] или МЕРС. 244 (66). В соответствии с правилом 16 [7] каждый инсинератор должен иметь свиде-

## ИНСИНЕРАТОРЫ «ИСКРА» ДЛЯ СЖИГАНИЯ ТВЕРДЫХ И ЖИДКИХ НЕФТЯНЫХ ОТХОДОВ НА СУДАХ ГРАЖДАНСКОГО ФЛОТА И КОРАБЛЯХ ВМФ

**А. В. Бураков**, начальник ЦКБ,  
**Р. И. Демидюк**, начальник отдела,  
**С. Ю. Титова**, вед. инженер,  
**Д. В. Балакшина**, ст. инженер,  
**В. С. Канев**, инженер,  
АО «Компрессор»,  
контакт. тел. (812) 295 5090

тельство ИМО об одобрении, выданное в соответствии с резолюцией МЕРС. 76 (40).

Утилизация шлама в инсинераторах имеет ряд преимуществ:

- нет необходимости хранения отходов в больших количествах на протяжении всего плавания;
- процесс автоматизирован и безопасен;
- сжигание происходит при высоких температурах (от 850 до 1200 °С), что обеспечивает полное сжигание и окисление в том числе дымовых газов.

#### СОЗДАНИЕ И ПОСТАНОВКА НА ПРОИЗВОДСТВО ИНСИНЕРАТОРА «ИСКРА 10»

Нашим предприятием в 2023 г. совместно с АО «ЦМКБ «Алмаз» на кораблях проектов 20380 и 20385 проведена работа по импортозамещению иностранных инсинераторов IRLA10 (Испания) на разработанный малогабаритный инсинератор «ИСКРА 10» (рис. 1) для уничтожения твердых отходов [8], осуществлена сертификация в РМРС, получен патент на полезную модель [9].



Рис. 1. Инсинератор «ИСКРА 10»



Для постановки на производство судовых инсинераторов типа «ИСКРА 10» в АО «Компрессор» освоены технологии производства термостойких элементов и сборочных единиц, создан стенд для проверки работоспособности инсинератора при качке и дифференте в соответствии с требованиями РМРС, разработана кооперация поставщиков специализированного оборудования, разработана система автоматического управления и отработано программное обеспечение. В настоящее время заключены договоры на поставку более 10 инсинераторов типа «Искра 10» с приемкой РМРС.

### РАЗРАБОТКА И ИСПЫТАНИЕ «ИСКРА 10.1»

Для сжигания нефтесодержащих отходов дополнительно к твердым необходимо создание комплекса совместно работающих элементов (инсинератор, шламовая цистерна, циркуляционный насос шлама, дозирующий насос шлама) и систем (системы дымоудаления, охлаждения, дизельного топлива, шлама, сжатого воздуха, пожарной сигнализации), которые также должны интегрироваться в судовые системы корабля.

При создании установки «ИСКРА 10.01» необходимо было решить следующие научно-технические задачи:

- обеспечение однородности (гомогенизация) жидких нефтесодержащих отходов в шламовой цистерне с нагревателем и циркуляционным насосом;
- обеспечение качественного распыла нефтяных отходов (шлама) с помощью двухкомпонентной форсунки (подбор конструкции, давлений компонентов, размеров исследование дискретности (минимизации размера капель) и угла распыла шлама для полноты сгорания), регулировки расхода и сохранения соотношения компонентов воздуха и горючего;
- обеспечение качественного сгорания и необходимого компонентного состава дымовых газов: минимальное содержание  $CO$ ,  $CO_2$ ,  $C$ ;
- обеспечение качественного охлаждения камеры сгорания и стенок до требуемой температуры на поверхности;
- подбор материалов камеры сгорания;
- подбор отечественного оборудования;
- обеспечение безопасности (вакуум в камере сгорания для предотвращения выхода продуктов сгорания из корпуса в атмосферу)

Для полноты сгорания отходов инсинератор спроектирован таким образом, чтобы рабочая температура внутри камеры сгорания поддерживалась в диапазоне 850–1200 °С, а содержание кислорода в дымовых газах было не менее 6%. Для этого камера сгорания изготавливается из огнеупорных блоков, способных выдержать высокую температуру, не разрушаясь. В блоках предусмотрены отверстия для захода воздуха из окружающей среды, необходимого для полного окисления дымовых газов при сгорании отходов. Соблюдая эти параметры, в инсинераторе происходит полное сгорание отходов и шлама при удовлетворении требования:  $CO$  – не более 200 мг/МДж).

Согласно п. 4.2 Резолюции МЕРС. 76 (40) нагревание внешних поверхностей инсинератора не должно превышать 60 °С во избежание экстремального воздействия тепла на людей, эксплуатирующих оборудование. Для этого между огнеупорными блоками и металлическим каркасом инсинератора проложен теплоизоляционный слой. Также в металлическом каркасе спроектирована воздушная рубашка охлаждения, по которой с помощью дымососа, установленного в тракте дымохода, проходит воздух, забираемый из окружающей среды. Воздух, проходя через рубашку охлаждения, охлаждает наружные стенки инси-

нератора до допустимой температуры. Из рубашки охлаждения воздух поступает в дымоход, где, смешиваясь с горячими дымовыми газами, выходящими из камеры сгорания, охлаждает их до температуры не более 350 °С, что служит защитой от горячих дымовых газов оборудования, установленного в тракте дымохода.

Для безопасной эксплуатации инсинератора в помещении он спроектирован таким образом, чтобы в камере сгорания процесс сжигания происходил при пониженном давлении. Это достигается с помощью дымососа, который принудительно высасывает дымовые газы из камеры сгорания, создавая тем самым в камере давление разрежения. Из-за разницы давлений дымовые газы не выходят через неплотности инсинератора в окружающую среду, позволяя безопасно эксплуатировать оборудование.

При сжигании жидких нефтяных отходов возникает несколько проблем:

- разный химический состав отходов может привести к расслаиванию шлама;
- высокое содержание воды в шламе;
- высокая вязкость.

Для решения этих проблем в инсинераторе судовом «ИСКРА 10.01» имеется цистерна шламовая, в которой происходит подготовка шлама перед его подачей на сжигание. Цистерна снабжена электрическим нагревателем, работающим в автоматическом режиме, температура которого контролируется по сигналу термопреобразователя. Нагрев происходит до температуры 80 °С. При такой температуре вода осаждается, а вязкость шлама повышается. Для поддержания однородности шлама и одинаковой температуры во всем объеме жидкости на цистерне установлен циркуляционный насос.

Для защиты насоса от попадания воздуха в его полость и для защиты цистерны от переливания шламом цистерна укомплектована сигнализаторами уровня, передающими в автоматическом режиме данные на щит управления, который в свою очередь передает данные на верхний уровень.

Для подачи шлама к шламовой форсунке инсинератор оснащен системой дозирования, состоящей из трубопроводов шлама и воздуха, насоса дозирования шлама и датчиков давления. Для обеспечения безопасности при аварии трубопроводы имеют по два соленоидных клапана на каждом для перекрытия подачи воздуха и шлама в нештатной ситуации.

Для сжигания шлам подается в форсунку. Использование шламовой форсунки имеет ряд особенностей, на которые следует обратить внимание:

- температура шлама. Для нормальной работы форсунки шлам необходимо нагревать для уменьшения вязкости. Это обеспечивает оптимальную текучесть и улучшает качество распыла;
- качество распыла. Основная задача форсунки – равномерное распыление жидкости для обеспечения полного сгорания топлива. Неравномерность и низкая дисперсность приведут к плохому сгоранию, нагару, загрязнению оборудования и снижению КПД;
- вязкость топлива. Вязкость шлама напрямую зависит от температуры, качества и состава. Поэтому для точной регулировки подачи топлива требуется учитывать эти параметры и использовать подогрев жидкости для поддержания оптимальной вязкости;
- давление. Для оптимального распыла шлама требуется высокое давление, для этого в системе подачи устанавливают специальные насосы;
- очистка и обслуживание. Состав шлама может варьироваться и содержать серу и другие вещества, которые могут засорять форсунку, образовывать нагары. Это ухудшает работу форсунки и эффективность распы-

ления, поэтому необходима регулярная очистка и при необходимости замена форсунок;

- использование сжатого воздуха или пара. Для улучшения распыла мазута в большинстве систем применяют паровую или пневматическую форсунку. Добавление пара или воздуха позволяет улучшить распыл, снизить вязкости топлива и улучшить горение;
- соблюдение экологических требований. Горение шлама сопровождается выбросом угарного газа, сернистых соединений и других загрязняющих веществ. Для того чтобы снизить выброс загрязняющих веществ в окружающую среду, необходимо предусмотреть устройства или параметры рабочей среды, позволяющие очищать или дожигать дымовые газы.

Известно, что для распыления шлама используют следующие типы форсунок:

- механическая;
- с распыливающей средой (паровая или пневматическая);
- комбинированная (в том числе ротационная).

В механических форсунках для распыления жидкости используется энергия самого топлива, создаваемая насосом, при подаче его под большим давлением в малое отверстие, а также с помощью центробежных сил – при закручивании самого шлама или при вращении частей форсунки. Топливо, попадая из форсунки в камеру, взаимодействует с газовой средой и распыляется на мелкие капли.

**Достоинства:** занимает немного места, так как проектируется только топливный трубопровод подачи шлама, высокая производительность

**Недостатки:** нужно высокое давление, меньшая дисперсность капель, ограниченный диапазон регулирования, необходимо очищение топлива от механической примеси перед подачей на форсунку.

В форсунках с распыливающей средой основным способом распыления топлива является дробление капель с помощью распыливающей среды – пара или сжатого воздуха. На форсунку в отдельные коллекторы подается шлам и воздух/пар. Шлам, выходя из сечения сопла форсунки, дробится на мелкодисперсные капли сжатым воздухом или паром, подаваемым с большой скоростью из сопла собственного коллектора форсунки.

**Достоинства:** простота устройства, высокое качество распыла при большом диапазоне регулирования производительности.

**Недостатки:** при использовании распыла паром – большой расход пара, низкая производительность, сильный шум, снижение температуры в камере сгорания из-за подачи пара/воздуха для распыла.

В комбинированных форсунках совмещается использование энергии топлива под давлением и вспомогательное распыление с помощью сжатого воздуха или пара. В такого типа форсунках возможно широкое регулирование производительности: при высокой производительности форсунки работают как механические, а при малой – как паровые.

**Достоинства:** хороший распыл в широком диапазоне изменения производительности, не требуется тонкая очистка шлама.

**Недостатки:** сложность конструкции, сильный шум.

В инсинераторе судовом «ИСКРА 10.01» производительность по сжиганию шлама низкая (15 л/ч), как и давление подачи шлама на форсунку. Исходя из приведенных достоинств и недостатков для распыления шлама, выбрана форсунка с распыливающей средой, а именно – распыление с помощью сжатого воздуха.

Разработанный инсинератор судовой для сжигания твердых и нефтяных отходов представлен на рис. 2, цистерна для подготовки шлама – на рис. 3.



Рис. 2. Инсинератор «ИСКРА 10.01»



Рис. 3. Цистерна шламовая

Созданный стенд (показан на рис. 4) для испытаний судовых инсинераторов по назначению позволяет проводить проверку при работе, в том числе, в условиях крена и дифферента.





Рис. 4. Стенд для испытаний инсинератора «ИСКРА 10.01» со шламовой цистерной

**Технические характеристики инсинератора «ИСКРА 10.01»**

Параметр, ед. измерения	Значение
Максимальная мощность, кКал/ч (кВт).....	100 000 (116)
Производительность сжигания:	
– твердых отходов, кг/ч.....	25
– жидких отходов, л/ч.....	15
Максимальный расход топлива горелкой, кг/ч.....	11,0
Расход пара/сжатого воздуха для распыления шлама, нм <sup>3</sup> /ч.....	22
Давление пара/сжатого воздуха для распыления шлама, МПа (кгс/см <sup>2</sup> ).....	0,3–0,6 (3–6)
Потребляемая мощность, кВт:	
– инсинератора.....	10,0
– цистерны шламовой.....	6,0
Объем шламовой цистерны, л.....	250
Напряжение питания установки от источника трехфазного переменного тока частотой 50 Гц, В.....	380 (400)
Габаритные размеры, мм.....	1443×1931×1125
Масса инсинератора, не более, кг.....	2100
Максимальная температура на выходе топочных газов из камеры сгорания, °С.....	1200
Минимальная температура на выходе топочных газов из камеры сгорания, °С.....	850
Температура предварительного нагрева камеры сгорания, °С.....	650
Давление разрежения в камере сгорания, Па.....	5–100
Содержание O <sub>2</sub> в выхлопных газах из инсинератора.....	Минимум 6%

**ВЫВОДЫ**

Разработанные судовые малогабаритные инсинераторы «ИСКРА 10.01» со шламовой цистерной позволяют заменить судовые инсинераторы иностранного производства, например Detegasa IRLA-10 (Испания), могут устанавливаться на имеющиеся фундаменты, имеют идентичные габаритные и присоединительные размеры. В комплект поставки включены вентилятор дымовых газов, дымогаситель, комплект компенсаторов, ответные соединительные части, прибор автоматического управления с отечественным программным обеспечением и с доступной компонентной базой и КИП, что позволяет интегрировать оборудование в судовые системы и модернизировать его в будущем.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Целью отечественных судостроительных предприятий является создание независимого Российского флота, которая достигается в первую очередь замещением иностранного судового комплектующего оборудования. Это может быть достигнуто только при поддержке отечественных производителей судового комплектующего оборудования путем закупки исключительно российского оборудования при строительстве кораблей и судов.

В настоящее время отечественным предприятиям и научным организациям необходимо объединиться и направить ресурсы на решение общей задачи российского судостроения – создания эффективного флота.

Инсинератор «ИСКРА 10.01» был создан АО «Компрессор» в тесном сотрудничестве ведущими научными и проектными организациями АО «ЦМКБ «Алмаз», РМРС, АО «ЦНИИМФ», БГТУ «Военмех» им. Д.Ф. Устинова и с использованием накопленного опыта. На технические решения используемые в инсинераторах типа ИСКРА10.1 получен патент РФ № 230936 от 25.12.2024 г. [13].

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Создание судовых систем осушки, очистки, хранения и контроля параметров сжатого воздуха для энергетических установок, в том числе кораблей ВМФ и гражданского флота/Бураков А. В., Томашевский С. М., Томашевская И. А., Балакшина Д. В., Титова С. Ю.//Морской вестник. – 2024. – № 2 (90). – С. 55–60.
2. Развитие технологий глубокой адсорбционной сушки природного газа в установках подготовительного импульсного газа/Кузнецов Ю. Л., Бураков А. В., Перминов А. С., Титова С. Ю., Шарифова С. Э.//Экспозиция «Нефть Газ». – Набережные Челны, 2018. – 5 (65). – с. 73–75.
3. 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.
4. Application of synthesis gas compressors in solid organic waste treatment plants/Burakov A. V., Kotlov A. A., Burakova D. A., Levikhin A. A., Kuzmin A. M. – AIP Conference Proceedings. – Сер.: «Oil and Gas Engineering, OGE 2021», 2021, с. 030007.
5. Руководство по применению положений Международной конвенции МАРПОЛ 73/78 НД № 2–030101–049/PMPC. – <https://lk.rs-class.org/regbook/getDocument2?type=rules3&d=7C5350CA-C63A-4DCC-BE42-DE0FCE6F216D&f=2-030101-049>
6. Resolution MEPC.76 (40) adopted on 25 September 1997 STANDARD SPECIFICATION FOR SHIPBOARD INCINERATORS. [https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MEPCDocuments/MEPC.76\(40\).pdf](https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MEPCDocuments/MEPC.76(40).pdf)
7. МАРПОЛ 73/78. Приложение VI (пересмотренное) к Международной конвенции по предотвращению загрязнения с судов 1973 года, измененной Протоколом 1978 года к ней. Правила предотвращения загрязнения воздушной среды с судов – <https://docs.cntd.ru/document/499014496?ysclid=m3lajbzsck7242444005>.
8. Судовые инсинераторы для кораблей ВМФ и гражданского флота/Кузнецов Л. Г., Бураков А. В., Демидюк Р. И., Канев В. С., Титова С. Ю., Балакшина Д. В. Морской вестник. – 2023. – № 3 (87). – С. 51–54.
9. 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. 6.03.2023.
10. Нифонтов Ю. А., Тимофеев П. А. Установка для сжигания нефтесодержащих отходов арктических регионов//ТТПС. – 2019. – № 1 (47). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ustanovka-dlya-szhiganiya-neftesoderzhaschih-othodov-arkticheskikh-regionov> (дата обращения: 29.08.2024).
11. Мокренко Д. С., Циценко Д. А., Игнатова Л. И. Переработка мусора на судах//ББК 1 Р76. – 2023. – С. 71.).
12. Симонов В. В. Способы обработки твердых и жидких отходов на судах //Современные проблемы логистики, экономики, управления в эпоху глобальных вызовов: сборник материалов II Международной заочной научной конференции. – Астрахань, Издатель: Сорокин Роман Васильевич, 2023. – С. 180–184.
13. Патент на полезную модель РФ № 216855 Инсинератор судовой для сжигания отходов/Кузнецов Л. Г., Бураков А. В., Демидюк Р. И., Балакшина Д. В., Титова С. Ю. Оpubл. 25.12.2024 г.// Бюлл. №36. ■

## ВВЕДЕНИЕ

В ряде предшествующих работ [1–3] авторов настоящей статьи рассматривались вопросы концептуальной организации и технической реализации робототехнического комплекса для проведения диагностики состояния внутренней поверхности судовых валопроводов (рис. 1) [1]. Диагностика проводится на основании прямых признаков наличия дефектов, для чего в составе робототехнического комплекса предусмотрено наличие диагностических датчиков. Одной из наилучших по соотношению «цена–функциональные характеристики» разновидностей таких датчиков являются профилометрические датчики; вариант технической реализации подсистемы сканирования поверхности на их основе и рассматривается в настоящей работе.

## АППАРАТНОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОФИЛОМЕТРИЧЕСКОЙ ПОДСИСТЕМЫ

Как показано на рис. 1, а, диагностический датчик (или система диагностических датчиков – СДД) располагается на торце робототехнического комплекса и закрепляется на подвижной опоре, приводимой в действие сервомашинной блока датчиков СМд. Вариант данной конструкции, предложенный в экспериментальных целях авторами, показан на рис. 2. В данном варианте применены широко распространенные элементы: сервомашинка HiTech в качестве основы датчика ГЗКУ-631, а в качестве усилителя – сборка на основе микросхемы Pwm8403.

Основной микроконтроллер МКо посредством измеряющей программы настраивает следующие периферийные устройства: блок широтно-импульсной модуляции ШИМ, управляющий сервомашинной СМд и тем самым задающий положение датчика; блок аналого-цифрового преобразователя АЦП, измеряющий уровень выходного сигнала датчика; таймер, тактирующий моменты смены управляющего воздействия на сервомашину, т. е. ее перемещения в очередное угловое положение («такты-У») и моменты опроса АЦП, т. е. измерения текущего уровня сигнала датчика («такты-И»).

Далее измеряющая программа при получении очередного «такта-У» переводит сервомашину в очередное положение, а при получении очередного «такта-И» – проводит опрос АЦП и запись в память профилограммы поверхности кода уровня сигнала, отражающего состояние поверхности в текущей точке расположения датчика.

Графовая модель измеряющей программы показана на рис. 3.

# ПРОФИЛОМЕТРИЧЕСКАЯ ПОДСИСТЕМА РОБОТОТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ДИАГНОСТИКИ ВНУТРЕННЕЙ ПОВЕРХНОСТИ СУДОВЫХ ВАЛОПРОВОДОВ

*А. Е. Васильев, д-р техн. наук, зав. кафедрой ТСМ,*

*А. В. Вегнер, ст. преподаватель,*

*Д. Е. Голубева, ст. преподаватель,*

*В. А. Карпенко, ст. преподаватель,*

*В. Д. Ковалев, ассистент,*

*СПбГМТУ,*

*контакт. тел. (812) 713 8405, tsm@smtu.ru*

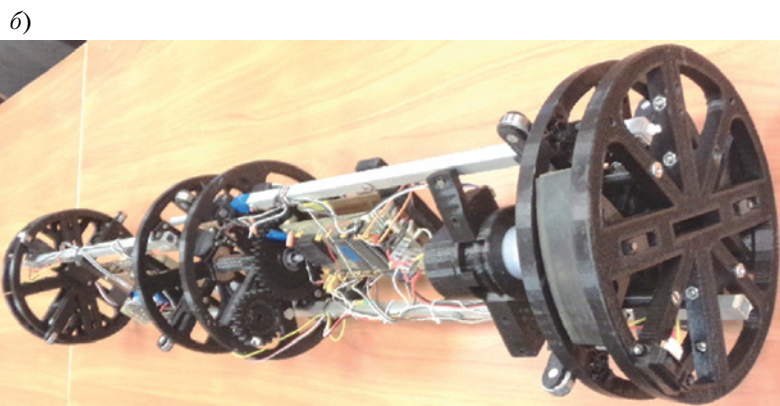
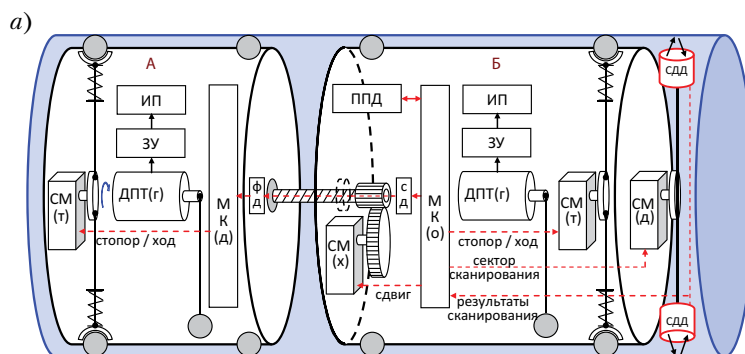


Рис. 1. Структура (а) и внешний вид (б) робототехнического комплекса диагностики

После инициализации программа ожидает поступления от таймера сигналов-меток истечения очередного временного интервала: поступление сигнала «метка-У» означает, что необходимо позиционировать сервомашину в очередное угловое положение, что осуществляется посредством расчета соответствующего управляющего кода и подачи его на ШИМ-генератор; поступление сигнала «метка-И» означает, что необходимо выполнить опрос АЦП и полученное кодовое значение занести в очередную ячейку памяти профилограммы поверхности. По исчерпанию диапазона кодов-позиций углового положения измеряющая программа идентифицирует факт завершения сканирования слоя поверхности и переходит в исходное состояние. Память профилограммы до-

ступна для чтения иными компонентами программного обеспечения, в том числе обладающими функциями интеллектуального анализа карты состояния поверхности, выявления ее дефектов и проведения их классификации, подобными описанным в [4–6].

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для оценки функциональных свойств конструктивного, аппаратного и программного обеспечения диагностической подсистемы авторами была изготовлена тестовая поверхность, содержащая искусственно созданные дефекты с регулярной структурой (рис. 4). Посредством тестовых запусков программы проводилось сканирование профиля поверхности, затем информация



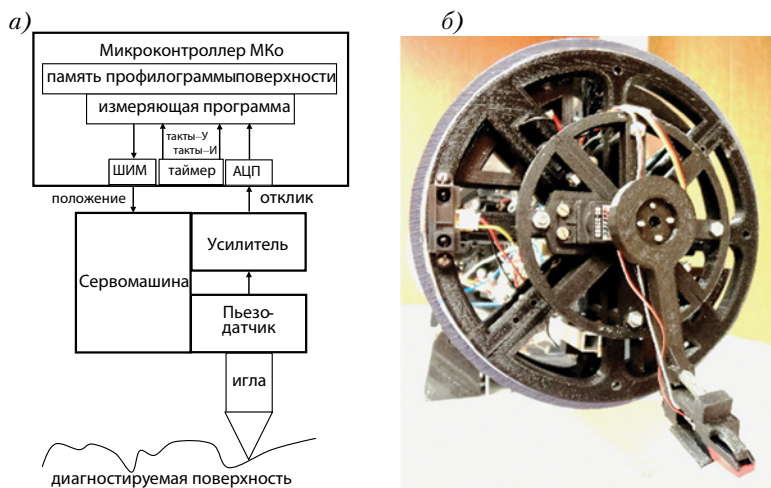


Рис. 2. Структурная схема (а) и внешний вид (б) диагностической подсистемы

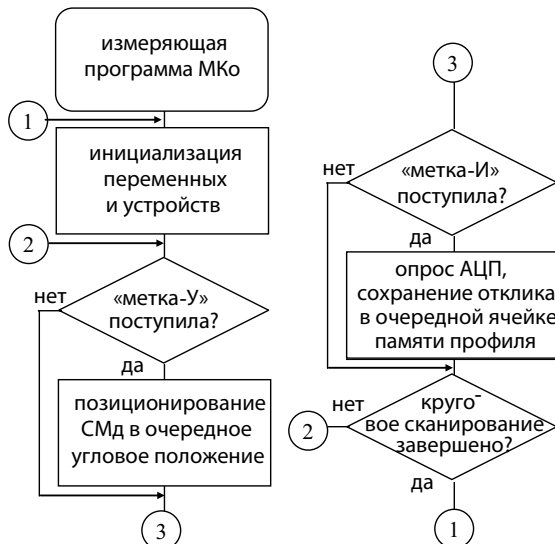


Рис. 3. Графовая модель функционирования измеряющей программы



Рис. 4. Вид сверху тестовой поверхности с нанесенными искусственными дефектами

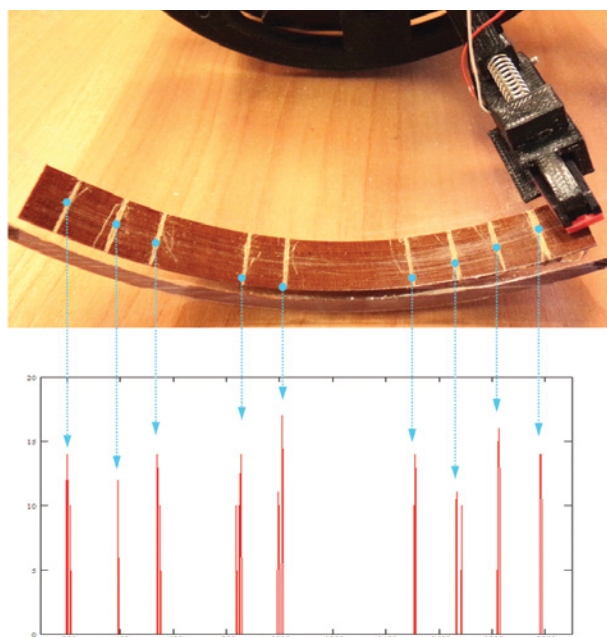


Рис. 5. Результаты сканирования тестовой поверхности

из памяти профилограммы выгружалась и визуализировалась для последующего анализа.

На рис. 5 приведена типичная картина сохраненных в памяти профилограммы кодов откликов подсистемы опроса датчика, сопоставленная с физическим расположением дефектов на тестовой поверхности. По ширине участка импульсных выбросов можно судить о геометрической протяженности дефекта в направлении движения сканирующего датчика, по амплитуде импульсных выбросов – о глубине проникновения дефекта в диагностируемую поверхность.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предлагаемые авторами методы и средства профилометрической регистрации дефектов на внутренней поверхности судовых валопроводов, сочетаемые с применением сканирующих датчиков иных принципов действия, формируют карты состояния поверхности высокой достоверности, а применение методов и средств интеллектуальной обработки этой карты состояния позволяет их классифицировать и прогнозировать развитие, что является значимым дополнением к существующим методам и средствам диагностики элементов судовых пропульсивных комплексов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Прикладные аспекты разработки средств диагностики внутренней поверхности судовых валопроводов/Васильев А. Е., Везнер А. В., Голубева Д. Е., Карпенко В. А., Ковалев В. Д. // Морской вестник. – 2023. – № 3 (87). – С. 64–65.
2. Робототехнический комплекс средств диагностики внутренней поверхности судовых валопроводов/Васильев А. Е., Везнер А. В., Голубева Д. Е., Карпенко В. А., Ковалев В. Д. // Морской вестник. – 2024. – № 3 (91). – С. 62–64.
3. Патент РФ на изобретение № 2831869. Устройство для диагностики внутренней поверхности вращающихся трубопроводов/Васильев А. Е., Везнер А. В., Голубева Д. Е., Карпенко В. А., Ковалев В. Д. – Оpubл. 16.12.2024. // Бюлл. № 35.
4. Zhu M., Shen B., Sun Y., Wang C. Surface Defect Detection and Classification Based on Fusing Multiple Computer Vision Techniques. – In book: Advances and Trends in Artificial Intelligence. Theory and Practices in Artificial Intelligence. – 2022, P. 51–62.
5. Review on Deep Learning with CNNs Applied to Surface Defect Detection/Cumbajin E., Rodrigues N., Costa P, Miragaia R., Frazão L., Costa N., Fernández-Caballero A., Carneiro J., Buruberri L. H., Pereira A. A. Systematic // Imaging. – 2023. – Vol. 9. – Article № 193.
6. Liu Y., Zhang C., Dong X. A survey of real-time surface defect inspection methods based on deep learning // Artificial Intelligence Review. – 2023. – Vol. 56. – P. 12131–12170. ■

Сегодня в условиях глобального изменения климата и истощения традиционных источников энергии вопрос перехода на возобновляемые источники стал одним из ключевых. На протяжении последних десятилетий человечество активно исследует альтернативные способы генерации энергии, которые способны удовлетворить растущие потребности экономики при минимальном воздействии на окружающую среду.

Океаны, покрывающие более 70% поверхности Земли, представляют собой колоссальный резервуар не только биоресурсов, но и энергии. Энергия морей и океанов имеет множество форм, таких как приливы, волны, морские течения и температурные градиенты. Все они обладают огромным потенциалом, который до сих пор используется лишь частично. Например, исследование Международного агентства по возобновляемой энергии (International Renewable Energy Agency) указывает, что суммарная мощность доступной морской энергии может многократно превысить текущий уровень глобального потребления.

В отличие от традиционных возобновляемых источников, таких как солнечные и наземные ветровые электростанции, морская энергия обладает высокой стабильностью. Это делает ее особенно привлекательной для энергетических систем, от работы которых требуются предсказуемость и надежность. Тем не менее ее внедрение сопряжено с рядом технических, экономических и экологических проблем.

Цель данной работы – изучение современных технологий, использующих альтернативные морские источники энергии, анализ их преимуществ и ограничений, а также выявление перспектив развития.

## ОСНОВНЫЕ ВИДЫ МОРСКОЙ ЭНЕРГИИ

Существуют разнообразные формы использования ресурсов океана для производства электроэнергии. Можно выделить основные виды добычи морской энергии, такие как приливная энергия, энергия волн, морских течений, океанотермическая энергия и ветровая энергия на шельфе.

*Приливная энергия* основывается на использовании гравитационного взаимодействия между Землей, Луной и Солнцем, что вызывает регулярные приливы и отливы. Основной принцип работы приливных электростанций (далее – ПЭС) заключается в установке турбин в местах с высокой разницей уровней воды.

Примером является крупнейшая по выработке и одна из первых ком-

# РАЗВИТИЕ МОРСКИХ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

*К. Ю. Пшеничных, студент магистратуры СПбГМТУ, kkiritmix@mail.ru*

мерческих ПЭС La Rance мощностью 240 МВт, которая находится во Франции.

Преимущество ПЭС – высокая предсказуемость приливов и стабильность генерации энергии, а недостаток – наличие специальных географических условий, узкие проливы с сильным течением.

*Энергия волн* создается за счет передачи ветровой энергии на поверхность океана. Устройства для улавливания этой энергии преобразуют колебательное движение воды в электричество.

Удалось найти несколько видов технологий получения волновой энергии:

- плавающие буи (мощность 600 кВт) разработаны шведской компанией CorPower и успешно испытаны у берегов Португалии. Они оснащены уникальной системой синхронизации движений с небольшими колебаниями волн, которая увеличивает выработку электроэнергии даже при слабом волнении, а встроенная система перехода в спящий режим защищает от разрушительного воздействия штормов;
- специальная установка для генерации энергии волн (мощность 2,3 МВт), разработанная компанией Pelamis в Шотландии и ставшая первой в мире коммерческой установкой такого типа. Она состояла из соединительных секций, которые изгибаются при прохождении волн. Устройство стабильно проработало более 15 000 часов и имело большую выработку энергии, но из-за ряда финансовых и не только трудностей компаний, в которых побывала волновая ферма, была успешно утилизирована.

Преимуществом волновой энергии является огромный потенциал мощности вдоль побережий, а недостатком – высокая зависимость от погодных условий и сложность технического обслуживания.

*Энергия морских течений* является одним из наиболее перспективных направлений возобновляемой энергетики. Она основывается на использовании кинетической энергии подводных потоков, вызванных глобальной циркуляцией воды в океанах. Морские течения обладают значительной стабильностью и предсказуемостью,

что делает их привлекательными для генерации электроэнергии.

Виды технологий для использования энергии морских течений:

- подводные турбины, установленные на морском дне, преобразуют кинетическую энергию течений в механическую, которая затем преобразуется в электричество. Имеют вид наземных ветряных турбин и устанавливаются в зависимости от направления течений;
- плавучие платформы с турбинами имеют преимущество по сравнению с подводными турбинами, так как устанавливаются ближе к поверхности воды, где течение сильнее;
- гибридные системы представляют собой комбинацию подводных турбин с солнечными панелями или ветрогенераторами для повышения эффективности.

Разработкой системы занимается следующий ряд компаний: MeyGen (Шотландия), Strangford Lough (Северная Ирландия), Bluemull Sound (Шетландские острова, Великобритания), Raz Blanchard (Франция)

Преимущество использования подводных турбин – высокая эффективность в регионах с мощными постоянными течениями, а недостатки – высокая стоимость оборудования, сложность установки и воздействие на морские экосистемы.

*Океанотермическая энергия* (ОТЕС, Ocean Thermal Energy Conversion) основывается на разнице температур между теплой поверхностной водой и холодной глубинной для генерации электроэнергии. Этот метод особенно эффективен в тропических регионах, где температура поверхности океана превышает 25 °С, а на глубине (около 1000 м) она опускается до 5 °С.

Принцип работы ОТЕС: теплая вода из поверхностных слоев океана подается в теплообменник, где испаряется хладагент (как правило, аммиак). Хладагент в свою очередь крутит турбину низкого давления, а та – электрогенератор. После хладагент конденсируется в другом теплообменнике, через который прокачивается холодная вода, поднятая с глубины. Данная система работает лучше всего в районе экватора, где разницы температур у поверхности и на глубине составляет не менее 20 °С.



Система находится на стадии тестирования, крупнейшей экспериментальной установкой является Макару'у ОТЕС Plant (Гавайи, США) мощностью 100 кВт.

Преимущества ОТЕС – надежность и стабильность процессов, минимальный выброс вредных веществ, а также возможность производить не только энергию, но и пресную воду. Недостаток системы – потребность в значительных инвестициях и больших температурных градиентов.

**Ветровая энергия на шельфе.** Шельфовые ветровые электростанции используют силу ветра над морской поверхностью. Это один из наиболее быстро развивающихся источников возобновляемой энергии, благодаря высокой скорости ветров в открытом море и отсутствию препятствий для воздушных потоков. Такие станции устанавливаются на шельфе – относительно мелководной части океана или моря, где глубина обычно не превышает 50–60 м.

Особенностью установок ветровых генераторов на шельфе является высокая эффективность работы, ветер в открытом море сильнее и стабильнее, чем на суше, что позволяет генерировать больше энергии.

Существуют стационарные и плавучие ветрогенераторы, их отличие заключается лишь в методе крепления к морскому дну.

На данный момент крупнейшая морская ветряная ферма в мире (мощность 1,2 ГВт) находится у Hornsea One (Великобритания).

Преимущества данной установки являются высокая выработка энергии и экологическая безопасность, так как она не выбрасывает загрязняющих веществ, а недостатками – высокая стоимость строительства, сложность обслуживания и воздействие на морскую экосистему.

## БАЛАНС ПРЕИМУЩЕСТВ И НЕДОСТАТКОВ

Каждый из рассмотренных видов морской энергии имеет свои уникальные преимущества, которые делают их привлекательными для устойчивого развития энергетики. Однако они также требуют решения множества технических и экологических задач для массового внедрения.

Преимущества морских альтернативных источников энергии, такие как экологичность, стабильность и возобновляемость, делают их важным направлением развития энергетики.

Для успешного развития морской энергетики необходимо:

- снижение затрат через инновации и масштабирование;
- обеспечение совместимости с морскими экосистемами;
- устранение барьеров для интеграции технологий в энергетические системы.

В условиях глобального перехода на низкоуглеродную экономику морские источники энергии могут стать одним из ключевых решений для обеспечения устойчивого развития экономики.

## ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ МОРСКОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Мировой океан может производить около 100 ТВт энергии, что значительно превышает текущие потребности человечества в ней, а энергия волн, приливов и морских течений может обеспечить до 10% глобальных энергетических потребностей. Это делает морскую энергетику важной для будущей глобальной энергетической устойчивости. Особенно привлекательной морской энергия является для островных и удаленных территорий, не имеющих доступа к традиционным энергетическим сетям. Для таких регионов она может стать альтернативой дорогостоящим и загрязняющим источникам энергии, повышая их энергетическую независимость и безопасность.

Перспективы развития морской энергетики связаны с повышением экономической эффективности технологий, их интеграцией с другими возобновляемыми источниками энергии и внедрением инноваций для повышения надежности и устойчивости. Успешные проекты, такие как MeyGen, Hornsea One и Макару'у ОТЕС Plant, подтверждают значимость морской энергетики в глобальном переходе к экологически чистым и устойчивым энергетическим системам.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполненный анализ позволил выявить ключевые особенности и потен-

циал различных видов морской энергии, таких как энергия волн, приливов, морских течений, океанотермическая энергия и ветровая энергия на шельфе. Технологии их получения демонстрируют высокую экологическую устойчивость и способность удовлетворить значительную часть мировых энергетических потребностей.

Таким образом, развитие морских альтернативных источников энергии является чрезвычайно важным направлением, поскольку оно объединяет в себе решение нескольких ключевых задач современности: снижение углеродных выбросов, обеспечение энергетической безопасности и устойчивости, а также сокращение зависимости от ископаемых источников энергии. Мировой океан представляет собой практически неисчерпаемый ресурс, который при эффективном использовании может стать одним из столпов глобальной энергетической системы. Внедрение инновационных технологий в данной области не только будет способствовать сохранению климата, но и стимулировать экономический рост, создание новых рабочих мест и развитие технологий, направленных на устойчивое будущее.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Боголюбов А. С. Возобновляемые источники энергии. – М.: Энергия, 2019. – 320 с.
2. Гусев А. Н. Альтернативная энергетика: теоретические основы и технологии. – СПб.: Политехника, 2020. – 256 с.
3. Сидоров В. В. Энергия океанов: технологии и перспективы. – Екатеринбург: Уралтех, 2018. – 298 с.
4. Gielen D., Boshell F., Saygin D. The Role of Renewable Energy in the Global Energy Transformation//Energy Strategy Reviews. – 2019. – № 24. – P. 38–50.
5. Uihlein A., Magagna D. Wave and tidal current energy – A review of the current state of research beyond technology//Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2020. – № 58. – P. 1070–1081.
6. IRENA. Renewable Energy Statistics 2022: Data and Trends in Renewable Energy Development. – Abu Dhabi: IRENA, 2022. – 150 p.
7. Ocean Energy Europe//Annual Report 2021. – Brussels: OEE, 2021. – 86 p.
8. UK Department for Business. – Energy & Industrial Strategy. Offshore Wind Sector Deal 2022. – London: UK Government, 2022. – 102 p. ■

Судовые поршневые компрессоры (ПК) играют ключевую роль в обеспечении работоспособности систем сжатого воздуха (ССВ), которые критически важны для работы главных и вспомогательных энергетических установок, а также механизмов и систем обеспечения обитаемости личного состава корабля. Надежность ПК напрямую влияет на эксплуатационную безопасность и экономическую эффективность. Вместе с тем анализ аварий и неисправностей элементов ССВ и потери работоспособности (журнал учета полученных рекламаций предприятий АО «НПО «Компрессор» и АО «Компрессор» за период с 2014 по 2024 г., анализ опыта проведения работ по государственными контрактам между АО «Компрессор» и Министерством обороны Российской Федерации по сервисному обслуживанию (агрегатной замене), техническому сопровождению эксплуатации, продлению назначенных показателей эксплуатации компрессоров подводных лодок, кораблей и судов ВМФ) показывают, что вероятность возникновения отказа, потери работоспособности или возникновения условий неправильного функционирования очень велика. Основная доля работ по устранению неисправностей оборудования ССВ, проводимый АО «Компрессор», приходился на ПК как основной элемент любой корабельной ССВ.

Опыт выполненных работ позволяет выделить характерные неисправности ПК, а именно:

- зазоры:
  - между втулкой цилиндра и поршнем;
  - между валом и коренным подшипником;
  - между шатунами и шейками вала;
  - между тарелкой и седлом клапана;
  - в прецизионных парах лубрикаторного насоса;
- износ:
  - поршневых колец;
  - тарелки клапана.
  - сальника подшипника.

Своевременное обнаружение таких дефектов требует методов анализа, способных работать с нелинейными и нестационарными сигналами, что остается актуальной проблемой в области технической диагностики.

## ОБЗОР МЕТОДОВ ЧАСТОТНО-ВРЕМЕННОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ НЕИСПРАВНОСТЕЙ СУДОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Благодаря методам частотно-временного анализа сигналов можно обнаружить неисправности и извлекать из них конкретные признаки.

# ДИАГНОСТИКА НЕИСПРАВНОСТЕЙ СУДОВЫХ ПОРШНЕВЫХ КОМПРЕССОРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ГИЛЬБЕРТА-ХУАНГА

*Р.Р. Хотский, зам. начальника ВП МО РФ,  
А.В. Махшианов, д-р техн. наук, проф. ГУМРФ им. адм. С.О. Макарова,  
А.В. Бураков, начальник ЦКБ «АО «Компрессор»,  
Л.Н. Тындыкаръ, ст. преподаватель ГУМРФ им. адм. С.О. Макарова,  
контакт. тел. (812)295 5034, +7 (921) 325 2493, (812) 295 5090,  
+7 (904) 644 3598*

Обработка сигналов включает в себя методы: временной области, частотной области, частотно-временного анализа. Для раннего выявления характерных неисправностей судового оборудования, к которому в полной мере относится ПК, можно использовать статистические показатели временного ряда таких параметров, как среднее, пиковое, среднеквадратичное значения, значения эксцесса и т.д. К сожалению, эти показатели недостаточно точны.

В настоящее время основными методами частотно-временного преобразования для обнаружения неисправностей судового оборудования применяются ниже перечисленные методы [1].

**Быстрое преобразование Фурье (fast Fourier transform, или FFT).** Отображает измеряемый сигнал в виде суперпозиции нескольких синусоидальных или косинусоидальных функций. FFT метод может четко отображать частотное распределение сигнала, где амплитуда и частота гармонических составляющих могут быть использованы в качестве характеристик той или иной неисправности. К сожалению, при использовании методов частотной области теряется информация о времени, в этом случае трудно различать похожие гармоники.

**Кратковременное преобразование Фурье (Sparse Fast Fourier Transform, или SFFT).** Это улучшенный метод, основанный на FFT, который называется кратковременным (оконным) преобразованием Фурье. Метод реализует частотно-временной анализ благодаря разделению обрабатываемого сигнала на небольшие временные интервалы с различными типами статистического распределения, такими как прямоугольник, Хэмминг, Гаусс.

Данный метод хорошо подходит для обработки нелинейного сложного сигнала, но разрешение по времени и частоте зависит от выбранного интервала, который фиксирован, следовательно, разрешение тоже фиксировано на всем частотном и временном диапазоне, и точность

разрешения неравномерная. Если же необходимо постоянно высокое разрешение, то данный метод требует высоких вычислительных мощностей, поэтому не подходит для анализа переходных процессов судового оборудования [2].

**Вейвлет-преобразование (Wavelet transform, или WT).** Данный метод состоит из дискретного и непрерывного вейвлет-преобразования. Суть метода заключается в том, что входной сигнал подвергается свертке  $f(t)$  с помощью материнской вейвлет-функции  $\varphi(t)$  и генерации вейвлет-коэффициентов. В вейвлет-функции есть коэффициент масштабирования  $a$ , связанный с частотой, и коэффициент свертки  $b$ , связанный с временем, таким образом, выражение выглядит следующим образом:

$$W_{\varphi}f(a,b) = \int f(t) |a|^{-1/2} \varphi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt. \quad (1)$$

В методе WT, в отличие от STFT, параметры  $a$  и  $b$  могут меняться в зависимости от частоты. Таким образом, благодаря WT, любой сигнал может быть разложен на сигналы в разных частотных диапазонах с разными разрешениями, что позволяет проводить точный и гибкий анализ неисправностей судового оборудования [2, 3].

**Преобразование Гильберта-Хуанга (Hilbert-Huang transform, или HHT).** Данный подход представляет собой метод частотно-временного анализа, который сочетает в себе эмпирическую модовую декомпозицию с преобразованием Гильберта. Первоначально сигнал раскладывается на несколько функций, каждая такая функция представляет собой однокомпонентную функцию, затем с помощью преобразования Гильберта вычисляется мгновенная частота исходного сигнала [4].

Этот метод преодолел недостаток STFT и WT, который заключался в том, что их частотно-временное разрешение было тесно связано с выбором частотного и временного диапазона рассмотрения сигнала. Благодаря этому, метод HHT хорошо подходит для динамичес-



кого анализа сигналов из-за своей чувствительности к переходным частотам, также он показал хорошие результаты в высокоскоростных и динамических условиях эксплуатации.

**Распределение Вигнера–Вилля, иногда называемое вейвлетом Гейзенберга (Wigner–Ville transform, или WVD).** Основное преимущество данного метода – возможность выявить частотно-временную плотность энергии, которая получается путем корреляции входного сигнала с временем и частотой. Однако, если анализируемый сигнал содержит более одной частотной составляющей, результат WVD будет иметь посторонние шумы, что неблагоприятно для диагностики неисправностей судового оборудования.

Преимущества и недостатки приведенных выше методов проанализированы в табл. 1.

Результаты краткого обзора методов обработки сигналов, позволяют утверждать, что для представления некоторым базисом нестационарных временных рядов необходимо выполнение условий: полноты, ортогональности, локальности, адаптивности.

Первое условие гарантирует точность разложения, второе – наличие положительной энергии и позволяет избежать потерь (утечки). Эти требования являются стандартными для всех линейных методов разложения. Надо отметить, что даже эти условия в некоторых вышеперечисленных методах не выполняются, а последние два характерны как раз для нестационарных данных. Наиболее критическим для нестационарности является

требование локальности, поскольку в нестационарных данных нет масштаба времени и, следовательно, все события должны идентифицироваться временем их появления. Другими словами, необходимо, чтобы амплитуда (или энергия) и частота были функциями времени. Требование адаптивности также является важным, так как только путем адаптации к локальным изменениям имеющихся данных разложение может полностью учитывать лежащие в основе процессов физические законы, а не просто будет выполнять математические требования для аппроксимации данных. Кроме того, нельзя надеяться, что заранее определенный базис будет соответствовать всем явлениям, имеющим нестационарный или нелинейный характер. Наиболее простым способом выбора необходимого адаптивного базиса является получение его на основе самих данных. Такую возможность может обеспечить преобразование Гильберта–Хуанга [5, 6].

В соответствии с преобразованием Гильберта–Хуанга обработка данных проводится в два этапа. На первом этапе исходные данные с помощью эмпирической модовой декомпозиции (ЭМД) разлагаются на ряд отдельных компонентов, называемых существенными модальными функциями или эмпирическими модами (ЭМ). Таким образом, разложение данных происходит по базису, который получается из самих данных, а не выбирается из заранее известного набора. Второй этап состоит в применении преобразования Гильберта к каждому компоненту ЭМ и построении распределения «энергия–частота–время», т. е.

Гильбертова спектра, позволяющего сохранить временные локальные особенности анализируемых временных рядов. Здесь функции базиса получаются адаптивно непосредственно из самих сигналов процедурами отсеивания «эмпирических мод» или «внутренних колебаний» (intrinsic mode functions, или IMF).

## АНАЛИЗ АЛГОРИТМА ЭМПИРИЧЕСКОЙ МОДОВОЙ ДЕКОМПОЗИЦИИ

ЭМД включает разложение анализируемого сигнала на ряд эмпирических мод посредством процесса просеивания, причем каждая такая функция имеет определенный масштаб времени или определенную полосу частот и должна удовлетворять следующим двум условиям:

1) во всем наборе данных число экстремумов и число пересечений нулевого уровня должно быть либо равным либо отличаться максимум на единицу;

2) в любой точке средние значения огибающих, определенных локальными максимумами и локальными минимумами, должны быть равны нулю.

Необходимо также отметить, что разложение в ЭМД начинается с самой высокочастотной моды, содержащейся в сигнале  $x(t)$ , поэтому каждая последующая ЭМ содержит колебания более низкой частоты, чем предыдущая. Такое разложение основано на следующих допущениях:

- сигнал  $x(t)$  имеет, по крайней мере, два экстремума (один минимум и один максимум);
- характеристический масштаб времени определяется временным промежутком между двумя последовательными экстремумами.

В общем случае для заданного сигнала  $x(t)$  эффективный алгоритм ЭМД состоит из следующих шагов [5, 7]:

**И т е р а ц и я 1.** Определение всех экстремумов (максимумов и минимумов) исходного сигнала  $x(t)$  (рис. 1).

**И т е р а ц и я 2.** Нахождение верхней  $A_{\max}(t)$  и нижней  $A_{\min}(t)$  огибающих по всем локальным максимумам и минимумам соответственно. Для этой цели чаще всего применяется интерполяция кубическими сплайнами (рис. 2).

Типы сплайновой интерполяции обычно не классифицируются как кубические, квадратичные или линейные. Вместо этого эти термины относятся к степени полиномиальных функций, используемых для определения сплайна.

Естественные сплайны – это тип кубического сплайна, который накладывает дополнительные ограничения на кривую, чтобы гарантировать, что она гладкая в конечных точках. Алгоритм использует набор естественных граничных условий для обеспечения того, чтобы вторые производные кривой были равны нулю в конечных точках. Это мо-

Таблица 1  
Сравнения методов, основанных на обработке сигналов

Метод	Преимущества	Недостатки
FFT	Точное отображение частотных характеристик	Исследуемая система должна быть линейной; анализируемые данные должны быть или периодическими, или стационарными, или, по меньшей мере, квазистационарными. В противном случае полученный спектр не будет иметь физического смысла
SFFT	Возможность обрабатывать сложный сигнал	Метод основан на традиционном спектральном Фурье-анализе, принимается допущение о стационарности на коротких интервалах, что не всегда оправдано для нестационарных данных. Кроме того, существует непреодолимое противоречие между временным и частотным разрешениями: для локализации получаемой информации во времени длительность выбираемого интервала (ширина окна) должна быть малой, а разрешение по частоте требует большой длительности обрабатываемых временных рядов
WT	Точный и гибкий анализ неисправностей	Неадаптивность. Как только выбран базовый вейвлет, его придется использовать для анализа всех данных. При выборе разных базисных функций разложение (декомпозиция) сигнала оказывается не единственным, в связи с этим выбор подходящей базисной функции вейвлета представляет достаточно сложную проблему
HHT	Подходит для динамического анализа в высокоскоростных условиях эксплуатации	Требует высокой вычислительной мощности
WVD	Выявляет частотно-временную плотность энергии	Возникновение перекрестных составляющих (интерференции), значительным образом усложняющих интерпретацию получаемого частотно-временного представления

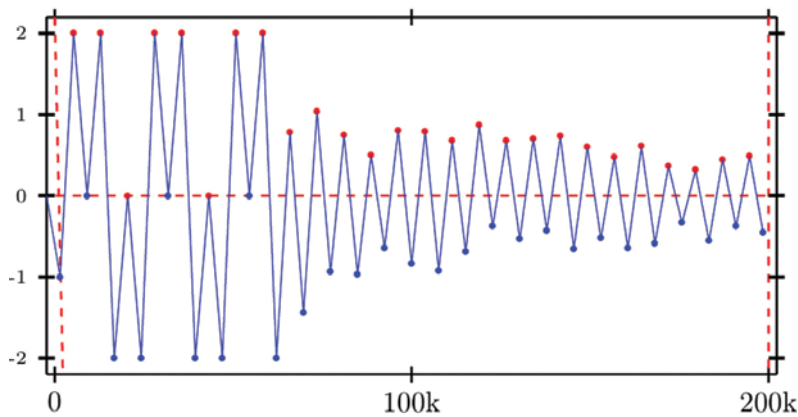


Рис. 1. Локализация экстремумов сигнала  $x(t)$

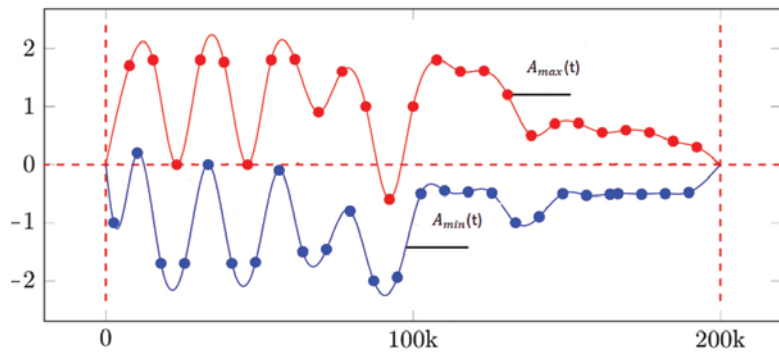


Рис. 2. Интерполяция кубическими сплайнами

жет быть полезно в случаях, когда кривая должна быть плавной и непрерывной по всему диапазону данных.

В настоящее время применяют следующие основные типы интерполяции [8]:

1. Интерполяция естественного кубического сплайна.

2. Интерполяция сжатым кубическим сплайном. Сжатая интерполяция кубического сплайна аналогична естественной интерполяции кубического сплайна, но она ограничивает первые производные в конечных точках.

3. Сплайны Akima – это тип кубического сплайна, который предназначен для обработки данных со значительным шумом или выбросами. Алгоритм использует локальный метод для оценки наклона кривой в каждой точке данных, что делает его более устойчивым к зашумленным данным. Результирующая кривая может быть не такой гладкой, как стандартный кубический сплайн, но она может быть более точной в случаях, когда данные зашумлены.

Сплайн-интерполяция Akima использует кусочно-определенную кубическую полиномиальную функцию с измененными коэффициентами для обеспечения непрерывности и дифференцируемости.

4.  $\beta$ -сплайновая интерполяция – это обобщение алгоритма кубического сплайна, который позволяет более гибко управлять формой кривой.  $\beta$ -сплайны определяются набором контрольных точек и параметром степени, который определяет порядок полиномов, используемых для построения кривой.  $\beta$ -сплайны

широко используются в компьютерной графике и приложениях CAD/CAM, поскольку они позволяют легко манипулировать формой кривой [9].

Функция  $\beta$ -сплайна для всей области затем определяется как линейная комбинация этих базисных функций и соответствующих им контрольных точек [10].

5. Интерполяция сплайнов Catmull-Rom – это тип интерполяции сплайнов Эрмита, который требует дополнительных контрольных точек для определения формы кривой.

6. Сплайны Эрмита используют как значения функции, так и производные функции в каждой точке данных для построения гладкой кривой. Это позволяет им обрабатывать данные с разрывами или острыми углами более эффективно, чем другие типы сплайновых алгоритмов. Сплайны Эрмита широко используются в компьютерной графике и научных вычислениях.

Интерполяция сплайна Эрмита использует кусочно-определенную поли-

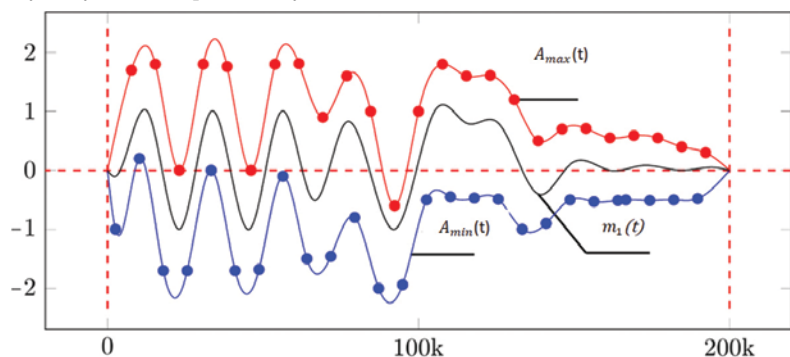


Рис. 3. Среднее значение огибающих

номиальную функцию степени 3 с двумя контрольными точками и их соответствующими производными, которые определяют форму кривой. Данная интерполяция сплайна также может быть расширена до более высоких степеней с большим количеством контрольных точек и их соответствующих производных;

7. Интерполяция сплайна Безье использует кусочно-определенную полиномиальную функцию. Это кривая, определяемая четырьмя точками: две из них – это конечные точки и две другие – это контрольные точки. Кривая не проходит через контрольные точки, но последние действуют как магниты, вытягивая кривую в определенных направлениях и влияя на то, как кривая изгибается.

Интерполяция сплайнов Безье может быть расширена до более высоких измерений с отдельными контрольными точками для каждого измерения.

Каждый из этих алгоритмов сплайновой интерполяции имеет свои собственные сильные и слабые стороны [8].

И т е р а ц и я 3. Вычисление среднего значения полученных огибающих (рис. 3)

$$m_1(t) = \frac{A_{\max}(t) + A_{\min}(t)}{2}$$

И т е р а ц и я 4. Выделение разности  $h_1(t) = [x(t) - m_1(t)]$ . Если  $h_1(t)$  не удовлетворяет двум условиям, указанным выше, то  $h_1(t)$  используется в качестве исходного сигнала для повторения итераций 1–3 до тех пор, пока функция  $h_{1k}(t) = h_{1(k-1)}(t) - m_{1k}(t)$  будет удовлетворять указанному условию. В этом случае функция  $c_1(t) = h_{1k}(t)$  будет являться первым компонентом ЭМ сигнала  $x(t)$ .

И т е р а ц и я 5. Вычитая функцию  $c_1(t)$  из  $x(t)$ , получаем

$$x(t) - c_1(t) = r_1(t). \quad (2)$$

Функция  $r_1(t)$  используется далее для выполнения итераций 1–4. В результате будет получена функция  $c_2(t)$ , которая будет вторым компонентом ЭМ сигнала  $x(t)$ .

Повторяя данную операцию, можно получить  $n$  компонентов ЭМ  $x(t)$ :

$$\left. \begin{aligned} r_1(t) - c_2(t) &= r_2(t); \\ &\vdots \\ r_{n-1}(t) - c_n(t) &= r_n(t). \end{aligned} \right\} \quad (3)$$



Просуммировав уравнения (2) и (3), можно получить разложение  $x(t)$  в виде

$$x(t) = \sum_{i=1}^n c_i(t) + r_n(t), \quad (4)$$

где  $r_n$  – остаток, который может быть трендом или постоянной величиной.

Для того чтобы компоненты ЭМ сохраняли физический смысл амплитудной и частотной модуляции, необходимо определить критерий останковки процесса просеивания. Это может достигаться в случае ограничения, например, некоторой нормированной величины  $S$ , которая вычисляется из двух последовательных результатов просеивания как

$$S = \sum_{t=0}^T \left[ \frac{|h_{l(k-1)} - h_{l(k)}(t)|^2}{h_{l(k-1)}^2(t)} \right]. \quad (5)$$

Типовое значение для  $S$  обычно устанавливается между 0,2 и 0,3 или процесс прерывается, когда остаток  $r_n$  становится монотонной функцией, из которой нельзя больше извлечь ЭМ.

Рассмотренная процедура разложения действительно похожа на просеивание – выделение мельчайшей локальной моды из данных, изначально основанных на характеристическом временном масштабе. При этом процесс просеивания имеет двойной эффект: устраняются перекрывающиеся колебания и сглаживаются неравномерности амплитуд. Первое условие необходимо в случае, когда требуется увеличение значимости мгновенной частоты, а второе – в случае, когда амплитуды соседних колебаний сильно отличаются друг от друга.

### АНАЛИЗ МГНОВЕННОЙ ЧАСТОТЫ, ГИЛЬБЕРТОВА И КОНТУРНОГО СПЕКТРОВ

Для каждого компонента ЭМ  $c_i(t)$  можно найти преобразование Гильберта

$$H[c_i(t)] = \int_{t-\tau}^{\infty} \frac{c_i(\tau)}{t-\tau} d\tau. \quad (6)$$

При таком определении  $c_i(t)$  и  $H[c_i(t)]$  образуют комплексно-сопряженную пару (рис. 4), что позволяет определить аналитический сигнал  $z_i(t)$  в виде следующего выражения:

$$z_i(t) = c_i(t) + jH[c_i(t)] = a_i(t) \exp[j\theta_i(t)], \quad (7)$$

где  $a_i(t) = \sqrt{(c_i^2(t) + H^2[c_i(t)])}$  – амплитуда;  $\theta_i(t) = \arctg \frac{H[c_i(t)]}{c_i(t)}$  – фаза сигнала.

Мгновенная частота может быть вычислена по формуле

$$f_i(t) = \frac{1}{2\pi} \frac{d\theta_i(t)}{dt}. \quad (8)$$

Согласно (8), мгновенная частота – однозначная функция времени, поэтому для получения значимой мгновенной частоты каждый компонент ЭМ  $c_i(t)$  должен быть монокомпонентной фун-

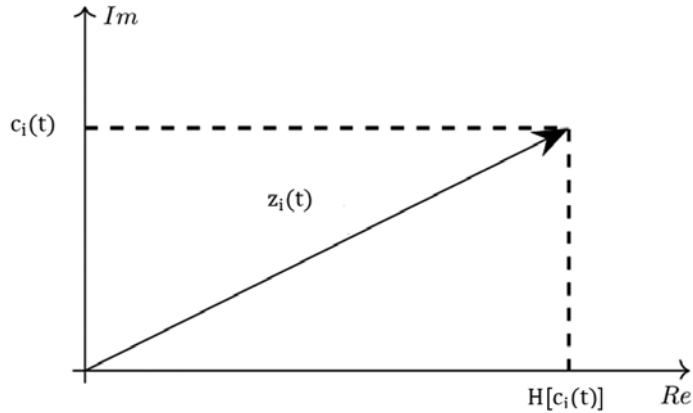


Рис. 4. Изображение комплексно-сопряженной пары  $c_i(t)$  и  $H[c_i(t)]$

кцией. Метод ЭДМ удовлетворяет этим требованиям.

После выполнения преобразования Гильберта на каждом компоненте ЭМ первоначальные данные могут быть выражены как действительные в следующей форме:

$$\begin{aligned} X(t) &= \operatorname{Re} \sum_{i=1}^n a_i(t) \exp[j\theta_i(t)] = \\ &= \operatorname{Re} \sum_{i=1}^n a_i(t) \exp[j \int \omega_i(t) dt]. \end{aligned} \quad (9)$$

Здесь остаток  $r_n$  опущен, поскольку он представляется либо монотонной, либо постоянной функцией. Хотя преобразование Гильберта может рассматривать монотонный тренд как часть более продолжительных колебаний, энергия, связанная с остаточным трендом, будет преобладать. Поэтому для сохранения информации, содержащейся в других низкочастотных и более высокочастотных составляющих, итоговая неэмпирическая составляющая должна быть опущена.

Уравнение (9) позволяет найти амплитуду и частоту каждой составляющей в зависимости от времени.

Эти же данные при разложении в ряд Фурье будут определяться выражением

$$X(t) = \operatorname{Re} \sum_{i=1}^n a_i \exp[j\omega_i(t)], \quad (10)$$

где  $a_i$  и  $\omega_i$  – постоянные.

Отличие между уравнениями (9) и (10) очевидно: ЭМ представляет обобщенное разложение в ряд Фурье. Изменяющаяся амплитуда и мгновенная частота не только существенно улучшают эффективность разложения, но и позволяют осуществлять разложение нестационарных данных. В случае разложения ЭМ амплитудная и частотная модуляции также отчетливо разделены. Таким образом удается преодолеть ограничение постоянства амплитуды и фиксированной частоты в классическом Фурье-преобразовании.

Уравнение (9) также позволяет представить амплитуду и мгновенную частоту в зависимости от времени в виде

трехмерного графика, причем контур амплитуды может быть выражен в координатах частоты и времени. Это частотно-временное распределение амплитуды называется амплитудным спектром Гильберта  $H(\omega, t)$ , или просто гильбертовым спектром.

Спектр Гильберта находят из выражения

$$H(\omega, t) = \operatorname{Re} \sum_{i=1}^n a_i(t) \exp[j \int \omega_i(t) dt]. \quad (11)$$

Тогда контурный спектр может быть определен следующим образом:

$$h(\omega) = \int_0^T H(\omega, t) dt, \quad (12)$$

где  $T$  – длительность анализируемого сигнала;  $H(\omega, t)$  – спектр Гильберта в координатах частоты и времени.

Контурный спектр дает меру суммарного вклада амплитуды (или энергии) каждого значения частоты. Он представляет совокупную амплитуду по всему диапазону данных в вероятностном смысле. Частота в случае гильбертова или контурного спектров имеет совершенно другое значение по сравнению с Фурье-спектром. В Фурье-представлении наличие энергии на частоте означает составляющую синусоидальной или косинусоидальной волны, существующей на протяжении всего временного интервала данных, и то, что по всему временному интервалу данных имеется более высокая вероятность локального появления такой волны.

Фактически гильбертов спектр есть взвешенное ненормированное совместное распределение амплитуды, частоты и времени. Вес, определяемый для каждой ячейки времени-частоты, есть локальная амплитуда. Следовательно, частота в контурном спектре указывает только на вероятность того, что существует колебание с этой частотой. Точное время появления такого колебания определяется в полном гильбертовом спектре.

Контурный спектр, рассчитанный в соответствии с выражением (12), является в некотором смысле аналогом

частотного спектра Фурье для нестационарных сигналов, хотя между ними мало сходства, так как для нестационарных данных Фурье-спектр не имеет физического смысла.

Стоит отметить, что определения (8) и (9) подразумевают, что в каждый текущий момент времени в сигнале существует единственное значение амплитуды и частоты. Однако физическая интерпретация понятия «мгновенности» неоднозначна и требует определенных ограничений. Действительно, в стационарных моногармонических сигналах и в сигналах с непрерывным гладким изменением частоты понятие «мгновенности» имеет вполне определенный физический смысл, поскольку точно фиксирует положение каждой текущей точки в частотно-временном пространстве.

Однако уже для суммы двух гармонических сигналов, положение усложняется. Физически в каждой текущей точке сигнала постоянно присутствуют две частоты с определенной амплитудой колебаний. Мгновенная амплитуда преобразования Гильберта в этом случае отображает не сумму значений гармоник в каждый текущий момент времени, а огибающую интерференции этих гармоник, при этом максимальные мгновенные значения огибающей, равные сумме амплитуд гармоник, фиксируются в точках максимумов по модулю суммы первых производных гармоник, а минимальные значения, равные разности амплитуд гармоник, в точках минимума суммы модулей первых производных гармоник. Это обеспечивает симметричность верхней и нижней огибающих относительно временной оси. Все вышеизложенное действительно и для любых многотональных сигналов.

## ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОЙ ФУНКЦИИ КОРРЕЛЯЦИОННОГО ТИПА

Один из традиционных способов сравнения сигналов (в данном случае исследуемых сигналов, полученных с технически неисправного ПК) и некоторого эталона (сигналов исправного ПК) состоит в вычислении корреляционной функции [11].

В качестве мер сходства эталона и исследуемого сигнала, получаемого при контроле оборудования, предлагается применение функций корреляционного типа.

В качестве таких функций могут быть приняты следующие [12]:

1. Функция, подобная метрике Хаусдорфа

$$k_1(A, B) = \frac{1}{G} \max |a_{ij} - b_{ij}|, \quad (13)$$

где  $a_{ij}$  – значение амплитуды на  $i$ -й частоте и  $j$ -том отсчете времени эталонного спектра Гильберта  $A$ ;  $b_{ij}$  – значение амплитуды на  $i$ -й частоте и  $j$ -том отсчете времени очередного спектра Гильберта  $B$ ;  $G$  – максимальное значение амплитуды.

2. Функция, подобная вычислению городской метрики,

$$k_2(A, B) = \frac{1}{GN^2} \sum_{i, j=1}^N |a_{ij} - b_{ij}|. \quad (14)$$

3. Функция, подобная вычислению усредненной городской метрики,

$$k_3(A, B) = \frac{1}{GN^2} \sum_{i, j=1}^N |a_{ij} - b_{ij} - m(A) + m(B)|. \quad (15)$$

где  $m(A)$  и  $m(B)$  – средние значения амплитуд спектров Гильберта  $A$  и  $B$ .

4. Функция, подобная вычислению евклидовой метрики (среднеквадратичная погрешность)

$$k_4(A, B) = \frac{1}{GN} \sqrt{\sum_{i, j=1}^N (a_{ij} - b_{ij})^2}. \quad (16)$$

5. Коэффициент корреляции

$$k_5(A, B) = 1 - \frac{\sum a_{ij} b_{ij}}{(\sum a_{ij}^2 \sum b_{ij}^2)^{\frac{1}{2}}}. \quad (17)$$

6. Сумма квадратов разностей

$$k_6(A, B) = \frac{1}{G^2 N^2} \sum_{i, j=1}^N (a_{ij} - b_{ij})^2. \quad (18)$$

7. Взвешенная сумма квадратов разностей

$$k_7(A, B) = \frac{\sum_{i, j=1}^N (a_{ij} - b_{ij})^2}{G \sqrt{\sum_{i, j=1}^N a_{ij}^2 \sum_{i, j=1}^N b_{ij}^2}}. \quad (19)$$

Следует отметить, что целесообразным является сравнение спектров Гильберта в диапазонах частот, характеризующих их наиболее явные отличия.

## ВЫВОДЫ

Применение преобразования Гильберта–Хуанга в диагностике характерных неисправностей судовых ПК может найти широкое распространение в системах технического диагностирования. Адаптивная природа метода, основанная на эмпирической модовой декомпозиции и спектральном анализе Гильберта, позволяет преодолеть ограничения традиционных частотно-временных методов, таких как быстрое преобразование Фурье и вейвлет-преобразование, при работе с нестационарными и нелинейными сигналами.

Однако для широкого внедрения метода требуются дополнительные исследования, в том числе:

- автоматизация выбора числа IMF и параметров интерполяции при декомпозиции,
- адаптация алгоритма к анализу мно-

гоканальных сигналов (вибрация, акустика, давление) для комплексной диагностики,

- тестирование метода на других типах судового оборудования с нестационарными режимами работы.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Саксонов Е.А., Симонов С.Е., Горюничев М.Г. Обзор методов обнаружения неисправностей синхронного электродвигателя с постоянными магнитами // Инженерный вестник Дона. – 2023. – № 4(100). – С. 8–38. – EDN ZAMMDU.
2. Астахов Н. В., Башкиров О. Ю., Журилова А. В., Макаров О. Е. Частотно-временный анализ нестационарных сигналов методами вейвлет-преобразования и оконного преобразования Фурье // Радиотехника. – 2019. – Т. 83. – № 6(8). – С. 109–112. – DOI 10.18127/j00338486-201906(8)-03. – EDN YPSCFU.
3. Катеров Ф.В., Ремесник Д.В. Отличительные особенности вейвлет-преобразования // European Research. – 2016. – № 8(19). – С. 50–51. – EDN WIQHBF.
4. Лапицкая Н.В., Леванцевич В.А., Костюк С.Ф. Применение преобразования Гильберта–Хуанга при анализе вибрационных сигналов машин и агрегатов // Актуальные вопросы машиноведения // Актуальные вопросы машиноведения. – 2020. – Т. 9. – С. 224–228. – EDN NIWFHQ.
5. The empirical mode decomposition method and the Hilbert spectrum for non-stationary time series analysis // Huang N.E. [et al.] // Proc. R. Soc. – London. – 1998. – A454. – P. 903–995.
6. Кан Ш.Ч., Микулович А.В., Микулович В.И. Анализ нестационарных сигналов на основе преобразования Гильберта–Хуанга. Информатика. 2010; (2(26)):25–35.
7. Кан Ш.Ч., Микулович В.И. Применение методов EMD для удаления шумов в вибрационных сигналах // Информационные системы и технологии (IST'2009). (Informational systems and technologies, IST'2009). – Мат-лы V Международ. конференции-форума, Минск, 16–17 ноября 2009 г. – В 2 ч. – Ч. 2. – Минск: А.Н. Вараксин, 2009. – 364 с.
8. Завьялов Ю.С., Квасов Б.И., Мирошниченко В.Л. Методы сплайн-функций. – М.: Наука, 1980. – 113 с.
9. Соболев Б.В., Месхи Б.Ч., Пешихов И.М. Практикум по вычислительной математике. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2008. – 208 с.
10. Макаров В.Л., Хлобыстов В.В. Сплайн-аппроксимация функций: учеб. пособие для вузов. – М.: Высшая школа, 1983. – 80 с.
11. Загретдинов А.Р., Гапоненко С.О., Серов В.В. Концепция оценки технического состояния оборудования на основе ННТ-преобразования виброакустических сигналов // Инженерный вестник Дона. – 2015. – № 3(37). – С. 16. – EDN VHSANB.
12. Старовойтов В.В. Локальные геометрические методы цифровой обработки и анализа изображений. – Минск: Институт технической кибернетики НАН Беларуси, 1997. – 283 с. ■



В настоящее время системы радиосвязи коротковолнового диапазона (КВ) и диапазона промежуточных волн (ПВ) широко используются для организации морской радиосвязи [1–3].

Так, в соответствии с Регламентом радиосвязи (гл. 1, ст. 4) однополосная телефония с полной несущей (класс излучения – НЗЕ) разрешена для использования только на частоте бедствия 2182 кГц [4]. Такой выбор обусловлен необходимостью обеспечения совместимости старой и новой радиоаппаратуры в интересах повышения безопасности, определяемой требованиями ГМССБ [5].

Вместе с тем основным форматом для телефонии в диапазоне ПВ/КВ являются излучения класса JЗЕ, применение которых предполагает использование радиоаппаратуры с высокостабильными синтезаторами частот [68]. Кроме того, активное применение находят радиосигналы с частично подавленной несущей класса излучения RЗЕ, в частности, для автоматической подстройки частоты в тех случаях, когда наблюдается эффект Доплера, в том числе при связи с воздушными судами [7]. А классы излучений F1В и J2В в ПВ/КВ диапазоне применяют при организации передачи цифрового избирательного вызова и радиотелекса [9–11].

Таким образом, можно заключить, что на линиях морской радиосвязи (ЛМРС) могут быть использованы радиостанции как с аналоговой, так и с цифровой модуляцией. Учитывая сложившиеся тенденции повсеместного перехода к цифровым системам радиосвязи, целесообразно провести анализ передач, используемых в современных модемах, получивших наиболее широкое практическое применение.

### АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ СИГНАЛОВ ЦИФРОВЫХ МОДЕМОВ

Первым широко известным высокоскоростным КВ-модемом, обеспечившим скорость передачи данных 2,4 кБит/с, стал модем фирмы Collins Radio (США) «KINEPLEX TE-202», разработка которого была завершена еще в 1956 г. [12]. В этом модеме использовались 16 субканалов с ортогональным частотным уплотнением. Такая передача фактически являлась прототипом технологии частотного мультиплексирования с ортогональным частотным разделением каналов (OFDM – Orthogonal frequency-division multiplexing) [13, 14].

Первым отечественным высокоскоростным модемом стало изделие МС-5 [12]. В данном модеме использовалось

## АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ СИГНАЛОВ ЦИФРОВОЙ МОДУЛЯЦИИ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ НА ЛИНИЯХ МОРСКОЙ РАДИОСВЯЗИ

*В.А. Долгих, ген. директор АО «НТИ «Радиосвязь»,  
контакт. тел. (812) 305 2520, 305 2528*

20 субканалов, организованных в соответствии с принципом OFDM, на основе сигналов двух-, четырех- и восьмипозиционной относительной фазовой манипуляции (ОФМ-2, ОФМ-4 и ОФМ-8) [15]. При этом синхронизация таких передач осуществлялась по информационному сигналу. На приеме была реализована оптимальная некогерентная обработка сигналов.

Однако наибольшее практическое применение получил 12-канальный модем АТ-3004Д с максимальной скоростью передачи данных 2400 бит/с, дальнейшим развитием которого стал модем АТ-3104 [16]. В модеме АТ-3104 реализован 20-тональный сигнал DQPSK (Differential Quadrature Phase Shift Keying) [17], передаваемый по технологии OFDM, который имеет характерный контрольный тон на частоте 3300 Гц, возникающий от по-

даваемой несущей. Все 20 каналов работают на скорости 75 бод. Ширина спектра составляет 2,75 кГц.

На рис. 1 показана спектрограмма передачи модема АТ-3104.

Среди зарубежных изделий следует выделить модем KL4YD, предложенный Дж. Фелпсом в 2014 г. [14]. В его основе лежат сигналы 8-PSK (Octagonal Phase Shift Keying) [18]. Модем предназначен для работы с передатчиками с частотной и однополосной модуляцией в полосе 1,075 кГц, на рис. 2 показана спектрограмма его передачи.

Более успешным в практическом плане считается модем ARQ-M2-242 (Automatic Repeat reQuest, Multiplex) [19]. Данный модем известен как TDM 242, TDM-2, 96-TDM и ARQ-28. Он представляет собой двухканальную мультиплексированную телексную

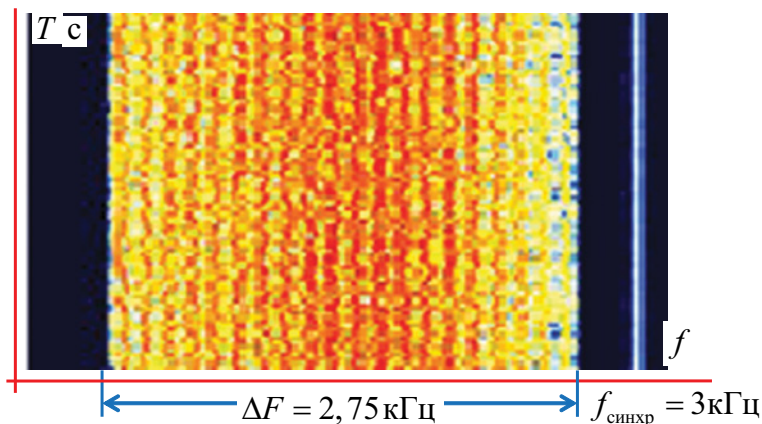


Рис. 1. Спектрограмма сигнала АТ-3104

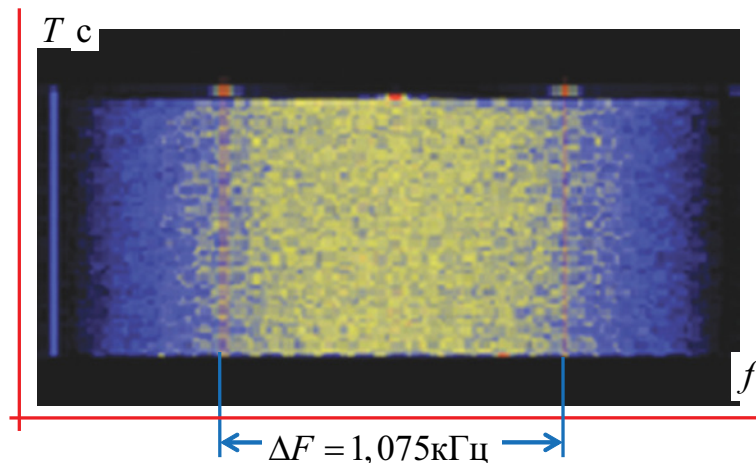


Рис. 2. Спектрограмма сигнала KL4YD

систему с временным разделением каналов. Фактически – это стандартная версия синхронной дуплексной системы ARQ, использующей 7-битный алфавит ITA 3 для коррекции ошибок (CCIR 242).

Данная система нашла применение в авиационных и морских службах при организации ЛМРС по типу «точка–точка».

Дальнейшим техническим развитием ARQ-M2-242 явились следующие модемы [20]:

- ARQ-M2-342 (известен как TDM 342, TDM-2, 96-TDM и ARQ-28 – стандартная версия CCIR 342), представляющий двухканальную мультиплексированную телексную систему с временным разделением каналов;
- ARQ-M4-242 (известен как TDM 242, TDM-4, 192-TDM и ARQ-56), представляющий четырехканальную мультиплексированную телексную систему с временным разделением (стандартная версия CCIR 242);
- ARQ-M4-342 (известен как TDM 342, TDM-4, 192-TDM и ARQ-56), представляющий собой четырехканальную мультиплексированную телексную систему с временным разделением (стандартная версия CCIR 342).

В качестве примера на рис. 3 показана спектрограмма сигнала ARQ-M4-342.

Для модемов указанного класса существует несколько стандартных скоростей передачи. Предпочтительными стандартными скоростями являются 96 бод для двухканальной системы и 192 бод для четырехканальной системы. В этих модемах предусмотрена встречная работа с устройствами, реализующими скорость 50 бод. Длительность такого цикла передачи составляла  $145 + 5/6$  мс.

Кроме того, в ряде модемов предусматривалась возможность работы со скоростями 45 бод. В таких передачах цикл повторения длился  $163 + 1/3$  мс, а общая информационная скорость передачи данных составляла  $85 + 5/7$  бод для двухканальных систем, и  $171 + 3/7$  бод – для четырехканальных.

Самая высокая стандартная скорость составляла 100 и 200 бод при длительности в цикле передачи 140 мс. Такие передачи использовались для связи «точка–точка» [21].

Показателями производительности указанного класса модемов, дающие представление о качестве канала ARQ-M, являются вероятность проявления ошибок и пропускная способность. В общем случае остаточные ошибки в канале могут возникать

Рис. 3. Спектрограмма сигнала ARQ-M4-342

из-за перестановки элементов символов или двойных ошибок. Вероятность их возникновения в канале ARQ-M примерно в 100–1000 раз меньше, чем в незащищенных каналах. Так, если незащищенный 5-битный код имеет частоту проявления ошибок 1%, то частота ошибок в защищенном канале ARQ-M частота проявления ошибок не превышает 0,0025% [21].

При этом следует понимать, что пропускная способность снижается из-за возникающих ошибок. В частности, если количество необработанных ошибок увеличится до 3%, то канал будет постоянно блокироваться из-за необходимости повторных передач. В таких условиях вероятность ошибки при передаче 28 бит в каждом цикле составляет 50%. Цикл повторной передачи восьми символов оказывает вдвое большее влияние.

При 1% необработанных ошибок пропускная способность системы с циклом в четыре символа будет составлять около 80% [21].

#### АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ СИГНАЛОВ ЦИФРОВЫХ МОДЕМОВ ALE

Интересным решением являются модемы с автоматическим установлением связи 2G ALE (Automatic Link Establishment). Официальное обозначение: MIL-STD-188-141A и/или MIL-

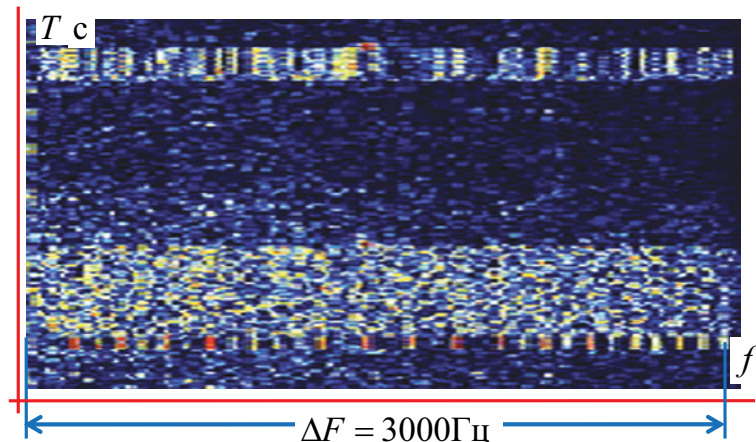
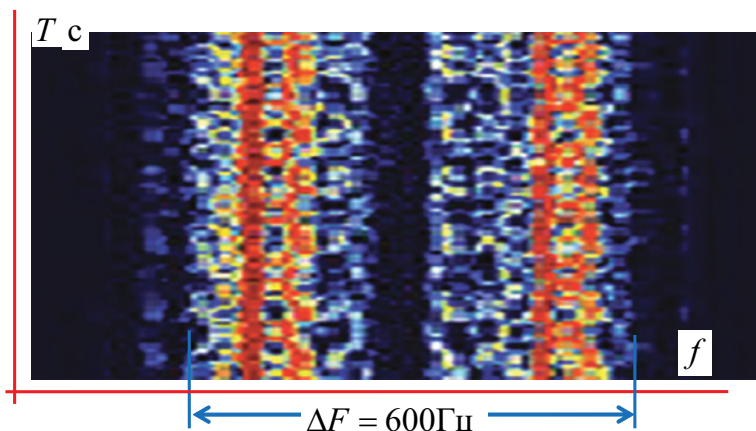
STD-188-141B (Приложение А) [22]. Данный модем известен как FED-STD 1045, FED-STD 1049 и STANAG 5066. Он обеспечивает работу в полосе 2 кГц сигналами MFSK (Multiple frequency-shift keying).

Сигналы стандарта 2G ALE совместимы при работе с узкополосными приемопередатчиками SSB с частотой 3 кГц. Метод модуляции – это 8-позиционная частотная манипуляция или 8FSK, представляющая собой восемь ортогональных тонов в диапазоне от 750 до 2500 Гц [23]. Длительность символа на каждом тоне составляет 8 мс, в результате чего скорость передачи данных по радиоканалу достигает 125 бод, или 125 символов в секунду, а скорость передачи необработанных данных, соответственно, 375 бит/с.

Данные в протоколе ALE представляются в виде 24-битных кадров, которые состоят из 3-битной преамбулы, за которой следуют три символа кода ASCII, каждый из которых состоит из семи битов. Полученный сигнал декодируется на основе методов цифровой обработки, что позволяет обеспечить требуемую достоверность его приема, даже при доминирующем уровне шумов. Протокол предусматривает использование методов ARQ.

Дальнейшим развитием модема 2G ALE является изделие 3G ALE

Рис. 4. Спектрограмма сигнала STANAG 4538





(ARCS), обозначается как MIL-STD-188-141B (приложение C). Он также известен как STANAG 4538.

STANAG 4538 работает в полосе 3 кГц с использованием сигналов FSK, его спектрограмма показана на рис. 4.

Более новые стандарты ALE 3-го поколения или 3G ALE используют точную синхронизацию времени (с помощью определенного протокола синхронизации времени, а также с помощью часов, синхронизированных по GPS) для более быстрого и надежного установления связи. Благодаря синхронизации время установления связи может быть сокращено до 10 секунд. Однако, несмотря на то, что 3G ALE более надежен и значительно повышает эффективность использования канала, широкая доступность оборудования по умеренным ценам сделали 2GALE базовым стандартом для широкого круга морских абонентов.

Особый интерес представляют военные модемы стран НАТО. Это модем ANDVT, работающий по стандарту STANAG 4197 [24]. В модемах ANDVT на основе технологии OFDM используют сигналы QPSK (Quadrature Phase Shift Keying). При этом в полосе 2,3 кГц осуществляется шифрование речи, приводящее к потере периодичности структуры спектрограммы (рис. 5).

Модемы стандарта STANAG 4481, который также известен как CRATT, Link-4 и NATO-75, определен Военным агентством по стандартизации НАТО как «Минимальные стандарты технического оснащения для военно-морской КВ системы вещания с берега на корабль». Работают модемы стандарта STANAG 4481 в диапазоне от 2,815 до 18,016 МГц в полосе от 1,5 до 2,75 кГц с использованием сигналов FSK, PSK. Спектрограмма показана на рис. 6. В Приложении В к MIL-STD-188-110 определен 39-тональный режим OFDM DQPSK, используемый для передачи данных и голоса.

Такой модем работает в полосе 2,4 кГц с использованием сигналов PSK и технологии OFDM. Кроме того, широкое распространение в армии и на флоте США получили модемы по стандарту MIL-STD-188-110 Serial, использующие последовательный режим передачи с сигналами PSK. Такие модемы способны передавать как данные, так и голос с адаптивным изменением скорости. Спектрограмма передачи демонстрируется на рис. 7.

Одной из последних разработок США является модем стандарта STANAG 4529, представляющий модификацию STANAG 4285 для передачи данных и голоса в полосе пропускания 1240 Гц со скоростью до 1800 бит/с. Спектрограмма показана на рис. 8.

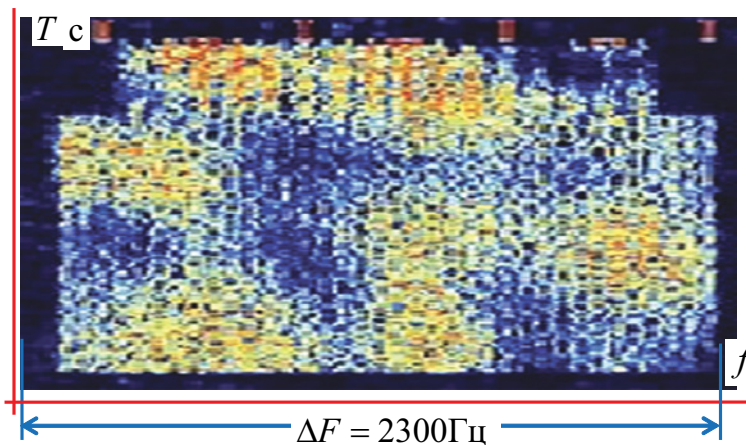


Рис. 5. Спектрограмма сигнала STANAG 4197

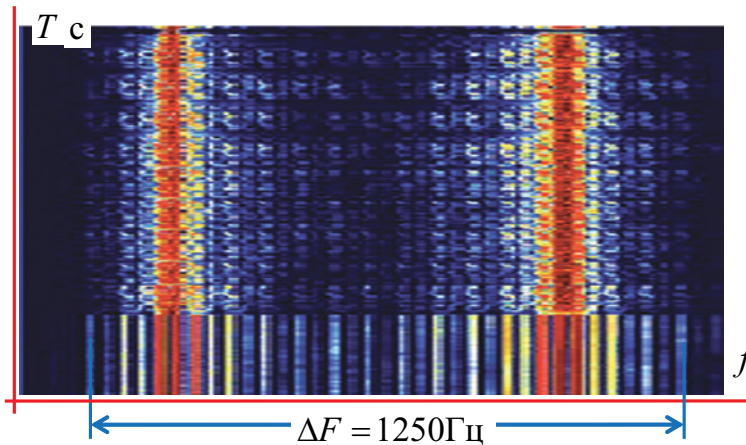


Рис. 6. Спектрограмма сигнала STANAG 4481

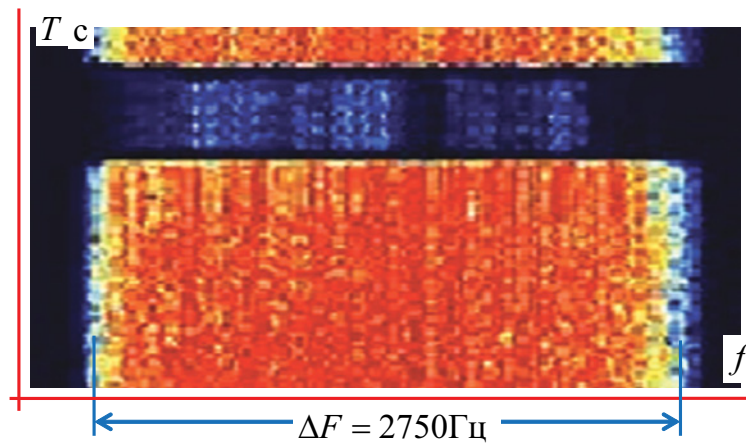


Рис. 7. Спектрограмма сигнала MIL-STD-188-110 Serial

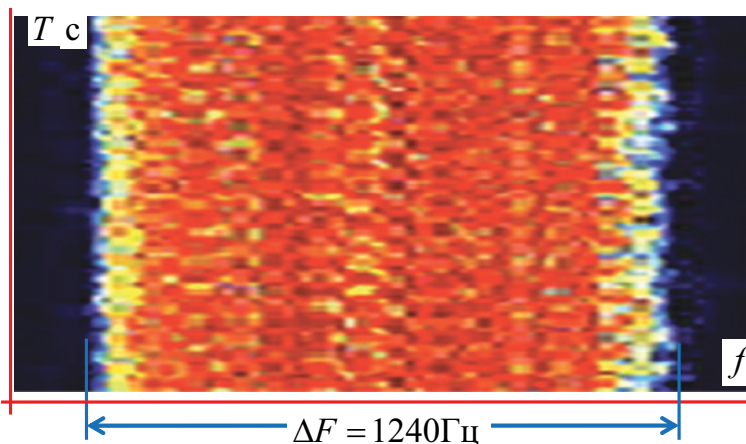


Рис. 8. Спектрограмма сигнала STANAG 4529

В стандарте STANAG 4529 для коррекции ошибок используется помехоустойчивый код (133, 171) с эффективной скоростью кодирования 1/2, 1/4, 1/8 и 2/3.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ технических возможностей современных модемов, используемых в морской радиосвязи в ПК/КВ диапазонах, ориентированы на технологии ортогонального мультиплексирования, со скоростями в пределах субканала не выше 100 бод, при общей полосе передачи порядка 2,4 – 2,75 кГц. То есть современные модемы ориентированы на работу в полосе частот более узкой, чем изначально выделяемая для ЛМРС полоса 3100 Гц, что открывает возможность использовать оставшуюся часть диапазона, например, для передачи телеграфных сообщений.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Зачатейский Д.Е., Юрьев А.Н.* Система св-ПВ радиосвязи с ретранслятором морского базирования // *Техника радиосвязи.* – 2013. – № 2(20). – С. 3–12. – EDN SEONMT.
2. *Дворников С.С., Дворников С.В., Бибарсов М.Р., Москалец Г.Н.* Анализ помехоустойчивости передач морской радиосвязи ПВ/КВ диапазона // *Морской вестник.* – 2024. – № 1(89). – С. 93–97. – EDN NGTIZX.
3. *Глушанков Е.И., Рылов Е.А., Цветков Д.А.* Анализ электромагнитной совместимости в системах морской радиосвязи с многоэлементными антеннами // *Морской вестник.* – 2021. – № 3(79). – С. 114–115. – EDN LEMLSK.
4. *Дмитриев С.Н.* Новації в правовом регулюванні правил плавання в морських портах Росії // *Вестник транспорта.* – 2022. – № 10. – С. 18–25. – EDN VRHKEO.
5. *Кулаков К.О.* Точка зрения на План модернизации ГМССБ // *Вестник государственного морского университета им. адмирала Ф.Ф. Ушакова.* – 2018. – № 1(22). – С. 31–38. – EDN XXSBTV.
6. *Кулинич А.И., Припотнюк А.В., Устинов Ю.М.* Судовые ВЧ-радиостановки - единственное средство дальней связи

в морском районе А4 ГМССБ (Арктическом бассейне России) // *Вестник ГУМРФ им. адмирала С.О. Макарова.* – 2017. – Т. 9, № 1. – С. 201–210. – DOI 10.21821/2309-5180-2017-9-1-201-210. – EDN YGJDMF.

7. *Якушенко С.А., Дворников С.В., Снежко В.К.* Обоснование требований к точности позиционирования речных безкилажных судов // *Морской вестник.* – 2024. – № 1(89). – С. 90–92. – EDN QTVYMN.
8. *Маринич А.Н., Припотнюк А.В., Устинов Ю.М.* Цифровые информационные потоки в судовых интегрированных системах навигации и системах связи // *Вестник ГУМРФ им. адмирала С.О. Макарова.* – 2015. – № 2(30). – С. 48–56. – DOI 10.21821/2309-5180-2015-7-2-48-56. – EDN TPSWZP.
9. *Демидкин В.В.* Неиспользуемые потенциальные возможности цифрового избирательного вызова для общей радиосвязи в ГМССБ // *Морские интеллектуальные технологии.* – 2023. – № 2–1(60). – С. 218–225. – DOI 10.37220/MIT.2023.60.2.027. – EDN MZXHLU.
10. Повышение достоверности приема сигналов морской радиосвязи ПВ/КВ диапазона за счет уточнения порога принятия решения в демодуляторе // *Погорелов А.А., Селезнев А.В., Дворников С.С. [и др.]* // *Морской вестник.* – 2024. – № 3(91). – С. 95–98. – EDN OENXAN.
11. Recommendation ITU-R M.493-15. Digital selective-calling system for use in the maritime mobile service. – International Telecommunication Union. 2019, p. 1 – 62.
12. *Романов Ю.В.* Эволюция высокоскоростных КВ-радиомодемов в XX веке // *Техника радиосвязи.* – 2016. – № 1(28). – С. 72–88. – EDN VUDOID.
13. Исследование субканальных шумов сигналов, сформированных по технологии ортогонального частотного мультиплексирования // *Бестугин А.Р., Дворников С.В., Крячко А.Ф. [и др.]* // *Вопросы радиоэлектроники.* – Сер.: *Техника телевидения.* – 2018. – № 3. – С. 123–129. – EDN VAIBLL.
14. *Бутырский Л.С., Ларин Д.А.* История цифровых систем засекречивания речевого сигнала в США // *Защита информации.* Инсайд. – 2006. – № 3(9). – С. 82–91. – EDN TSGXOJ.
15. Демодуляция сигналов ОФТ на основе адаптивного порога // *Дворников С.В.,*

*Устинов А.А., Пшеничников А.В. [и др.]* // *Вопросы радиоэлектроники.* – Сер.: *Техника телевидения.* – 2013. – № 2. – С. 90–97. – EDN TFTIET.

16. *Бальков А.А., Стрелков И.Д., Атаманюк К.В., Галкина М.Ю.* Сравнение помехоустойчивости сигнальной конструкции с перестановочной частотной модуляцией и группового сигнала устройства АТ-3104 с учетом пик-фактора // *Информация и космос.* – 2023. – № 4. – С. 46–54. – EDN PQRTYD.
17. *Гончаров Д.А., Максимов И.Н., Мелентьев О.Г.* Алгоритм символьной синхронизации по отсчетам комплексной огибающей с элементами адаптивности для модуляции DQPSK // *Вестник СибГУТИ.* – 2024. – Т. 18, № 4. – С. 76–86. – DOI 10.55648/1998-6920-2024-18-4-76-86. – EDN PBXFAX.
18. *Дворников С.В., Марков Е.В., Маноши Э.А.* Повышение помехозащищенности передач декаметровых радиоканалов в условиях непреднамеренных помех // *T-Comm: Телекоммуникации и транспорт.* – 2021. – Т. 15. – № 6. – С. 4–9. – DOI 10.36724/2072-8735-2021-15-6-4-9. – EDN KHPWMU.
19. Т 0668/04 ( ) от 17.11.2005. ЕРО. 2005-11-17.
20. *Scalsky, Stan, Chace, Mike.* Digital Sigals FAQ – Version: 5.3. – Worldwide Utility News. – 2004. – Retrieved 2014-08-17.
21. *Wiesner, Lothar.* Telegraph and Data Transmission over Shortwave Radio Links. – Berlin, Germany: Siemens Aktiengesellschaft. – 1975. – P. 120–124. ISBN 3800912325.
22. Оценка помехозащищенности линий радиосвязи в режиме с медленной программной перестройкой рабочей частоты // *Гордейчук А. Ю., Дворников С. В., Иванов В. А. [и др.]* // *Труды учебных заведений связи.* – 2017. – Т. 3. – № 4. – С. 36–42. – EDN VTQAXR.
23. *Лузан Ю.С., Хмырова Н.П.* Адаптивная радиосвязь в ДКМ диапазоне частот. Современное состояние и тенденции развития // *Техника радиосвязи.* – 2008. – № 13. – С. 3–24. – EDN L TWSBX.
24. *Аладинский В.А., Кузьминский С.В., Софронович И.Г.* Принципы построения и функционирования низкоскоростных кодеров речи, их классификация и параметры, перспективы совершенствования // *Научная мысль.* – 2023. – Т. 23. – № 1,2-1(47). – С. 42–53. – EDN EMXZIN. ■



В настоящее время раннее обнаружение целей (кораблей и крылатых ракет морского базирования) осуществляется различными способами, такими как космическое (оптическое) обнаружение целей, агентурное и обнаружение целей с использованием загоризонтной (ЗГ) РЛС. Последний способ применяется для раннего обнаружения и сопровождения воздушных и морских объектов, расположенных на расстояниях более 2000 км, в независимости от погоды и времени суток [1]. Большая дальность работы ЗГ РЛС достигается за счет отражения радиоволн частотой КВ-диапазона от ионосферы и земной поверхности. Работают такие РЛС в декаметровом диапазоне рабочих частот (3–30 МГц). Для излучения радиоволн на сверхдальние расстояния необходима высокая мощность излучения из-за поглощения, рассеяния и отражения радиоволн.

Рабочая частота выбирается из списка оптимальных рабочих частот (ОРЧ), который располагается между рассчитанными наименьшими применимыми частотами (НПЧ) и максимально применимыми частотами (МПЧ).

Дальность действия ЗГ РЛС для односторонней трассы лежит в пределах 700 – 3000 км и определяется рабочей частотой ЗГ РЛС [1].

Сектор работы ЗГ РЛС в вертикальной плоскости определяется критическим углом отражения сигнала от ионосферы  $\epsilon_{кр}$ . Если сигнал приходит к ионосфере под большим углом, чем критический ( $\epsilon > \epsilon_{кр}$ ), то сигнал не отражается от нее, а уходит в космос. Если же

# ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПОМЕХОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ЗАГОРИЗОНТНУЮ РАДИОЛОКАЦИОННУЮ СТАНЦИЮ

*А.Н. Антонов, канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник,  
Ю.О. Батурин, канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник,  
Д.В. Канищев, инженер-программист,  
АО «НПО Завод «Волна»,  
контакт. тел. (812) 448 6960, 252 0914*

сигнал приходит к ионосфере под меньшим углом, чем критический ( $\epsilon < \epsilon_{кр}$ ), то сигнал отражается от ионосферы. Однако слишком малые углы излучения (менее  $1^\circ$ ) неэффективны из-за большого ослабления волны в земной поверхности вблизи передающей антенны [2]. Критический угол отражения сигнала от ионосферы определяется критической частотой и параметрами ионосферы. Чем меньше число отражений волны, тем больше напряженность поля в точке приема, поэтому излучение энергии происходит под малыми углами к горизонту.

Не менее важным фактором, влияющим на работу ЗГ РЛС, являются характеристики ионосферы, которые изменяются в течение суток и сезона, в зависимости от солнечной активности, магнитного поля Земли и т.д.

целей. Так как ЗГ РЛС могут точно определять выход кораблей и пуски крылатых ракет морского базирования, то в ходе вооруженного конфликта сторон появляется необходимость бороться с противником.

На современном уровне развития вооружения и военной техники станции помех играют большую роль в воздействии на работу ЗГ РЛС, так как правильно выбранные способы, виды и параметры помехи способны значительно снизить эффективность ее работы. Для эффективной борьбы с ЗГ РЛС могут использоваться маскирующие или дезинформирующие помехи, вследствие чего становится невозможным обнаружение ею цели, прикрываемой станцией помех. Дезинформирующие помехи переключают внимание ЗГ РЛС от настоящих целей, вследствие чего они определяют ложные цели. Однако для этого необходимо множество имитаторов ложных целей, а современные ЗГ РЛС могут работать одновременно примерно со ста целями. Поэтому более эффективно будет использование маскирующих шумовых помех.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЗГ РЛС И ИЗЛУЧАТЕЛЯ ПОМЕХ, ВЛИЯЮЩИХ НА РАБОТУ ЗГ РЛС

Целью статьи является определение допустимых значений изменения параметров ЗГ РЛС и воздействующих на нее помех, влияющих на эффективность работы при обнаружении морских

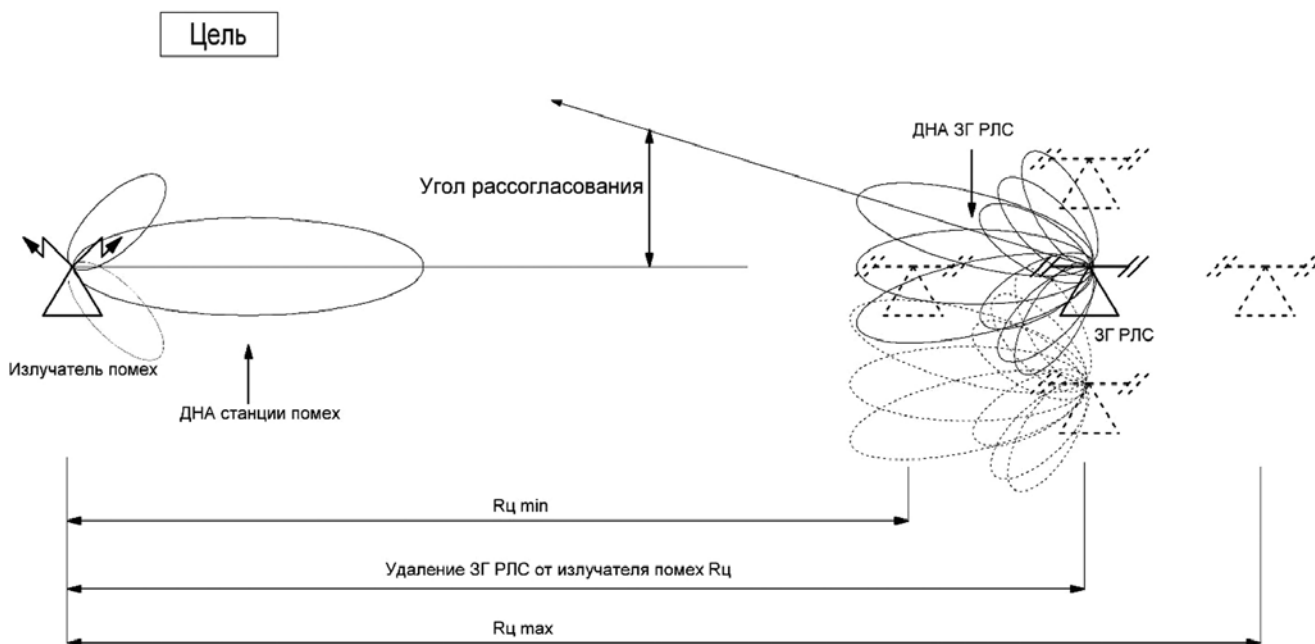


Рис. 1. Взаимное пространственное расположение ЗГ РЛС, станции помех ЗГ РЛС и прикрываемой цели

Важными факторами, влияющими на эффективность маскирующей шумовой помехи в КВ-диапазоне частот при ионосферном распространении радиоволн, являются:

- мощность излучаемого помехового и локационного сигнала;
- расстояние между излучателем помех и объектом радиоподавления;
- угол рассогласования по азимуту и углу места между источником помех и объектом подавления;
- ширина диаграммы направленности приемной антенны ЗГ РЛС;
- виды помехового и локационного сигналов.

С учетом изложенного, оценка влияния помехового воздействия на ЗГ РЛС будет проводиться в случае воздействия на нее маскирующей шумовой помехи в диапазоне изменения указанных пространственно-энергетических параметров, оказывающих существенное влияние на обнаружение морских целей. Другие параметры, используемые в расчетах, определим как константы.

Рассмотрим ситуационную модель конфликтного взаимодействия ЗГ РЛС со станцией помех. Допустим, имеется морская цель, которую должна обнаружить ЗГ РЛС, на удалении 1000 – 3000 км от нее. Излучатель помехового сигнала расположен на удалении 60 км от прикрываемой им цели. Угол рассогласования между излучателем помех и ЗГ РЛС равен  $12^\circ$  при ширине диаграммы направленности ЗГ РЛС в азимутальной плоскости, равной  $15^\circ$ . Под

углом рассогласования между излучателем помех и ЗГ РЛС в азимутальной плоскости будем понимать отклонение направления оси диаграммы направленности излучателя помех от оси диаграммы направленности ЗГ РЛС. На рис. 1 представлена описанная ситуация.

Расчеты вероятности обнаружения цели будут осуществляться для различных удалений ЗГ РЛС от излучателя помех, как показано на рис. 1 (пунктирные точки справа и слева от РЛС – это изменение удаления ЗГ РЛС от излучателя помех). Также расчеты будут проводиться и при различных углах рассогласования между излучателем помех и ЗГ РЛС (пунктирные точки сверху и снизу РЛС – это изменение угла рассогласования между излучателем помех и ЗГ РЛС).

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОПУСТИМЫХ ЗНАЧЕНИЙ ИЗМЕНЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЗГ РЛС И ВОЗДЕЙСТВУЮЩИХ НА НЕЕ ПОМЕХ, ВЛИЯЮЩИХ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ ЗГ РЛС

В соответствии с [3] одним из параметров, определяющих эффективность работы ЗГ РЛС, будет вероятность обнаружения цели ЗГ РЛС [3]:

$$P_D = P_F^{(1+q^2(R_{ц}))^{-1}} \quad (1)$$

Отношение сигнал–помеха  $q^2(R_{ц})$  на выходе приемника ЗГ РЛС определяется выражением в соответствии с [3]

$$q^2(R_{ц}) = \frac{E_c(R_{ц})}{N_0 + E_{\Phi}(R_{ц}) + N_n(R_n)} \quad (2)$$

Энергия отраженного от цели сигнала [3, 4]

$$E_c(R_{ц}) = \frac{P_c \cdot G_c^2 \cdot \tau_c \cdot N_{кн}}{(4\pi)^3 \cdot R_c^4} \times \left( \sigma_{об} + \sigma_{\Phi} \cdot (\delta\beta \cdot \delta r - S_{об}) \cdot k_{цц} \right) \times \left( \frac{\lambda^2 \cdot L_{цц}^2(R_{ц}) \cdot \gamma_{pr} \cdot \gamma_{пол}}{\dots} \right) \quad (3)$$

Энергия отраженного от фона сигнала [3]

$$E_{\Phi}(R_{ц}) = \frac{P_c \cdot G_c^2 \cdot \tau_c \cdot N_{кн}}{(4\pi)^3 \cdot R_c^4} \times \left( \sigma_{\Phi} \cdot \delta\beta \cdot \delta r \cdot \cos(\varepsilon_{\Phi}) \cdot k_{цц} \right) \times \left( \frac{\lambda^2 \cdot L_{цц}^2(R_{ц}) \cdot \gamma_{pr} \cdot \gamma_{пол}}{\dots} \right) \quad (4)$$

Спектральная плотность мощности помехи [5]

$$N_n(R_n) = \frac{P_n \cdot G_n \cdot G_c \cdot \lambda^2}{(4\pi \cdot R_n)^2 \cdot \Delta f_n} \times \left( \frac{g_{бол}(\beta, \varepsilon) \cdot L_{ши}(R_n) \cdot \gamma_{\pi}}{\dots} \right) \quad (5)$$

Результаты расчетов зависимости вероятности обнаружения цели от мощности излучаемой помехи при различных удалениях ЗГ РЛС от станции помех – от 1000 до 3000 км с шагом 500 км – приведены на рис. 2.

Из рис. 2 видно, что особенно сильное влияние помеховый сигнал в выбранном диапазоне мощности (0 – 20 кВт) оказывает на удалении излучателя помех от ЗГ РЛС в диапазоне

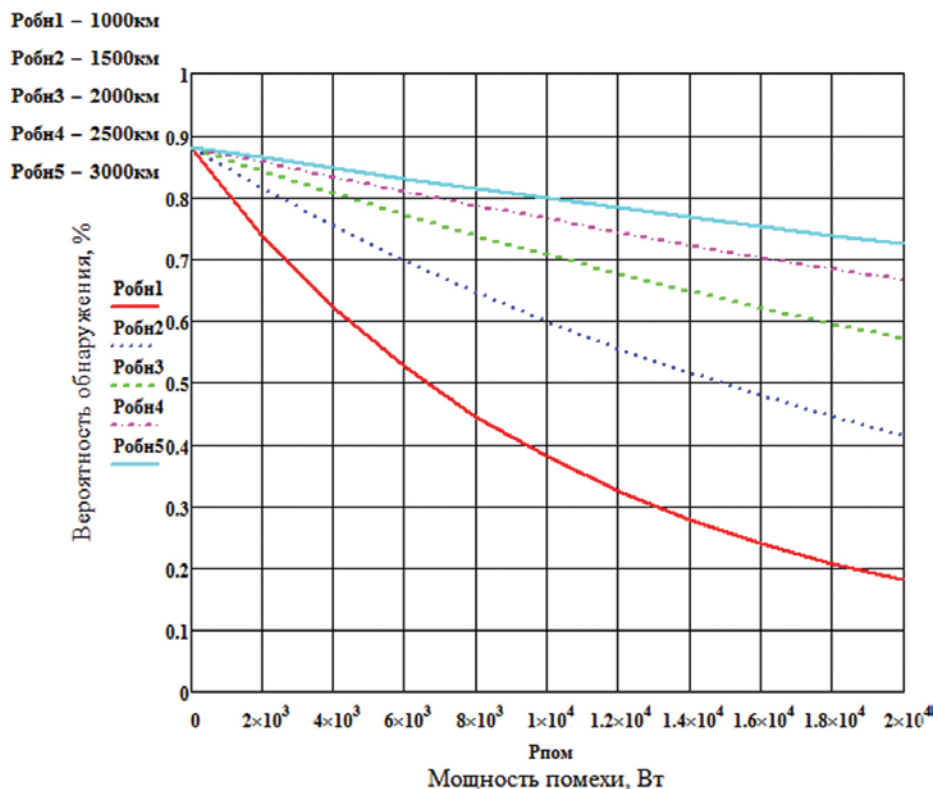


Рис. 2. График зависимости вероятностей обнаружения цели Робн1, Робн2, Робн3, Робн4 и Робн5 от мощности помехи Рпом при различном удалении ЗГ РЛС от излучателя помех



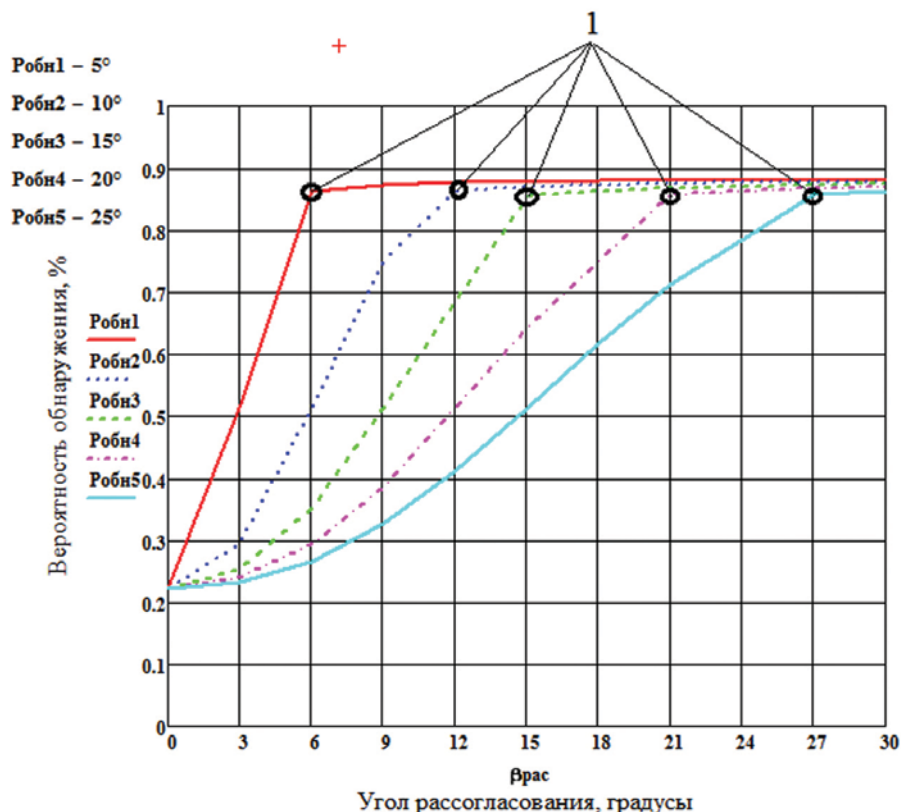


Рис. 3. Зависимость вероятности обнаружения цели от различных значений угла рассогласования между излучателем помех и ЗГ РЛС

от 1000 до 2000 км. На удалениях от 2000 до 3000 км влияние помехового сигнала в выбранном диапазоне мощностей приводит к снижению вероятности обнаружения в среднем до 0,65, что приемлемо для большинства случаев применения отечественных и зарубежных ЗГ РЛС.

С учетом полученных оценок (см. рис. 1) выполнены расчеты зависимости вероятности обнаружения цели от угла рассогласования  $\beta_{\text{рас}}$  между излучателем помех и ЗГ РЛС при различных значениях диаграммы направленности ЗГ РЛС (от 5° до 25° с шагом 5°) для удаления 1300 км, относящегося к области наиболее сильного влияния помех мощностью до 20 кВт. Результаты отражены на рис. 3.

Анализ зависимостей на рис. 3 показывает, что в точке 1 вероятность обнаружения цели ЗГ РЛС практически прекращает рост при увеличении значения угла рассогласования  $\beta_{\text{рас}}$ . Это происходит в момент достижения значения угла рассогласования величины, равной или превышающей значение ширины диа-

граммы направленности ЗГ РЛС. Следовательно, ЗГ РЛС обнаружит цель при условии, что величина угла рассогласования будет равна или превысит значение ширины диаграммы направленности ЗГ РЛС, что соответствует точкам 1 на рис. 3 для различных значений ширины диаграммы направленности. При известных расположениях цели ЗГ РЛС и излучателя помех для обнаружения цели необходимо располагать ЗГ РЛС или управлять ее диаграммой направленности так, чтобы угол рассогласования между излучателем помех и ЗГ РЛС удовлетворял неравенству  $\beta_{\text{рас}} \geq \theta_{\text{ЗГ РЛС}}$ .

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, определены допустимые значения изменения расстояния между источником помех и ЗГ РЛС, которое должно быть в пределах от 2000 до 3000 км, и угла рассогласования по азимуту между источником помех и ЗГ РЛС, который должен быть равным или превышать значение ширины диаграммы направленности приемной антенны ЗГ РЛС

$\beta_{\text{рас}} \geq \theta_{\text{ЗГ РЛС}}$ . Выбор местоположения и способа применения ЗГ РЛС, обеспечивающий реализацию значений пространственных и угловых параметров в указанных диапазонах, позволит достичь наибольшей эффективности обнаружения морских целей.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Акимов В.Ф., Калинин Ю.К. Введение в проектирование ионосферных загоризонтных радиолокаторов. – М.: Типография ОАО «НПК «НИИДАР». – 2012. – 546 с.
2. Бушина С.Г., Яйленко Л.П. Справочник радиолюбителя-коротковолновика. – Киев: Техника, 1984. – 264 с.
3. Теоретические основы радиолокации / Под ред. Я.Д.Ширмана. – М.: Сов. радио. 1970. – 560 с.
4. Бакулев П.А., Стетин В.М. Методы и устройства селекции движущихся целей. – М.: Радио и связь, 1986. – 560 с.
5. Вакин С.А., Шустов Л.Н. Основы радиопротиводействия и радиотехнической разведки. – М.: Техносфера, 2014. – 405 с. ■

**В** настоящее время активно применяются глобальные навигационные спутниковые системы (ГНСС), без которых невозможно эффективное функционирование многих отраслей народного хозяйства, таких как авиация, морской, речной и автомобильный транспорт, сельское хозяйство и др. Использование ГНСС в морских системах возможно как для позиционирования судов в океане, так и для организации работы морского порта. При этом выход из строя ГНСС приводит к существенным последствиям для морского транспорта, а в ряде случаев и к невозможности эксплуатации различных портовых технических механизмов и систем. В последнее время

участились случаи сбоев в работе ГНСС в различных регионах мира [1–2], например, в Балтийском море и Финском заливе, в акваториях портов Санкт-Петербурга и других морских регионах, что остро ставит проблему обеспечения помехоустойчивости ГНСС и создания резервных локальных систем навигации (ЛСН), которые могут стать единственным вариантом решения навигационных задач позиционирования морских объектов при отказе или подавлении ГНСС. В то же время ЛСН в портах также могут быть подвержены влиянию различного рода взаимных и преднамеренных помех. Поэтому разработка и анализ методов повышения помехоустойчивости ЛСН является актуальной и практически важной задачей. Даже если ЛНС работает в условиях воздействия только взаимных помех от других радиоэлектронных средств представляется целесообразным проанализировать ее функционирование в условиях воздействия оптимизированных помех, что позволит определить потенциальные границы ее помехоустойчивости в наихудших условиях. Кроме того, большинство известных алгоритмов позиционирования в ЛНС предназначены для функционирования в условиях стационарных (в широком смысле по пространственным и временным параметрам) помех. Поэтому при воздействии нестационарных (например, импульсных, «мерцающих» и др.) помех эффективность позиционирования резко снижается. В то же время зачастую отсутствуют точные априорные сведения о характере действующих на радионавигационную систему помех. Для анализа помехоустойчивости ЛСН в условиях воздействия оптимизированных помех воспользуемся обобщенной моделью взаимодействия антагонистических систем, предложенной и описанной в [3, 4] и представленной на рис. 1.

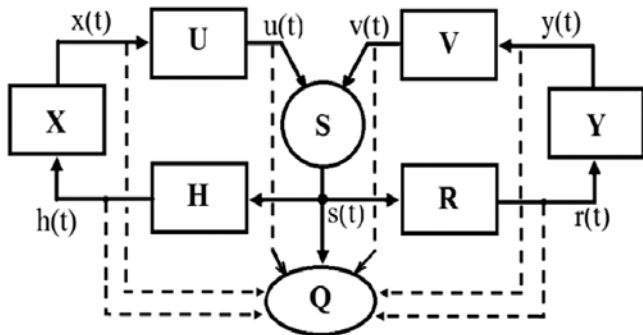


Рис. 1. Обобщенная модель взаимодействия антагонистических систем

Постановку игровых задач позиционирования в конфликтных условиях рассмотрим на данной модели взаимодействия системы радионавигации и источника помех (ИП) с учетом конечной инерционности каналов наблюдения, управления, разведки и подавления.

На рис. 1 обозначены:  $S$  – объект управления, которым в нашем случае является рассматриваемая ЛНС,  $X$  – подсистема

## АНАЛИЗ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ ЛОКАЛЬНЫХ СИСТЕМ МОРСКОЙ НАВИГАЦИИ В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ ОПТИМИЗИРОВАННЫХ ПОМЕХ

*Е.И. Глушанков, д-р техн. наук, проф. СПбГУТ,*

*Д.И. Кирик, канд. техн. наук, доцент, директор по научной работе,*

*З.К. Кондрашов, ген. директор, АО «НИИМА «Прогресс»,*

*Е.А. Рылов, канд. техн. наук, советник ген. директора АО «ПКБ «РИО»,*

*А.А. Морозов, аспирант СПбГУТ,*

*контакт. тел. (499) 281 7071, (812) 350 5667*

тема принятия решения на применение метода повышения помехоустойчивости ЛНС с определенными параметрами,  $U$  – канал управления,  $H$  – канал наблюдения,  $Y$  – подсистема принятия решения на подавление,  $V$  – канал разведки,  $R$  – канал подавления,  $Q$  – оператор эффективности функционирования ЛНС, причем каждый из указанных операторов представляет собой стохастический причинный оператор, а элементы  $x(t), u(t), h(t), s(t), r(t), y(t), v(t)$  являются в общем случае нестационарными случайными процессами на выходе соответствующих элементов обобщенной модели (результат действия соответствующего оператора), в частных же случаях могут быть стационарными процессами или случайными величинами (при отсутствии зависимости от времени). Так, например, модель на рис. 1 не противоречит случаю рассмотрения ЛНС, на которую воздействует только аддитивный белый гауссовский шум (БГШ). В этом случае  $H$  – оператор (уравнение) наблюдения в пространстве состояний,  $X$  – некий оптимальный фильтр (при линейном уравнении наблюдения (операторе  $H$ ) и линейном уравнении состояния (операторе  $S$ ) это будет фильтр Калмана), канал разведки отсутствует (оператор  $R$  тождественно равен нулю),  $Y$  – генератор БГШ,  $Q$  – критерий минимума среднеквадратической ошибки.

В общем случае на основе такой модели (см. рис. 1) можно сформулировать задачу в форме антагонистической игры [3, 4]:

$$\Gamma = \langle X, Y, Q \rangle, \quad (1)$$

где  $X$  – множество стратегий подсистемы принятия решения для обеспечения помехоустойчивости ЛНС,  $Y$  – множество стратегий подсистемы подавления,  $Q$  – цена игры.

Основываясь на результатах [3, 4], рассмотрим игровую постановку анализа помехоустойчивости ЛСН в условиях воздействия оптимизированных помех. Эффективность ЛНС, используя обозначения на рис. 1, можно записать в виде

$$Q_x = \inf_{y \in Y} Q(X, Y) \rightarrow \max_{x \in X}. \quad (2)$$

Решение задачи дает наилучший вариант построения ЛСН в виде

$$X_0 = \arg \max_{x \in X} Q_x, \quad (3)$$

при котором

$$Q_0 = X_0 = \max_{x \in X} Q_x = \max_{x \in X} \inf_{y \in Y} Q(X, Y). \quad (4)$$

При этом двойственная задача дает наилучший вариант построения системы подавления при критерии в виде

$$Q^x = \sup_{x \in X} Q(X, Y) \rightarrow \min_{Y \in Y}, \quad (5)$$

получаем значение

$$Q^0 = Q^{Y^0} = \min_{Y \in Y} Q^Y = \min_{Y \in Y} \max_{x \in X} Q(X, Y), \quad (6)$$

где  $Y^0 = \arg Q^Y$ .

При решении подобных игровых задач справедлива теорема о минимаксе, в соответствии с которой  $Q_0 = Q^0$  и, соответственно,



$$-(\cdot, \cdot) \leq (\cdot, \cdot) \leq (\cdot, \cdot), \quad (7)$$

где  $Q(X, Y^0)$  – нижняя, а  $Q(X_0, Y)$  – верхняя цена игры.

Представим стохастические операторы при решении игровой задачи анализа помехоустойчивости ЛСН в условиях воздействия оптимизированных помех в форме стохастических дифференциальных уравнений (СДУ) вида

$$\frac{dX(t)}{dt} = F[X(t)] + U^1(t) + U^2(t) + G[X(t)]V(t), \quad (8)$$

где  $F[X(t)]$ ,  $G[X(t)]$  – векторный и матричный коэффициенты СДУ, процесс определения которых в зависимости от статистических характеристик сигналов и помех представлен и подробно описан для случайных процессов различных классов в [5–9],  $V(t)$  – векторный БГШ с заданной спектральной плотностью мощности,  $U^1(t)$ ,  $U^2(t)$  – управление ЛНС и системой подавления соответственно.

Исходя из представления (8), значения  $U^1(t)$  и  $U^2(t)$  можно получить из решения стохастической дифференциальной игры (различные виды таких игр и методы их решения представлены в [10–12]) вида

$$\Gamma^1 = J^1[U^1(t), U^2(t)], t \in [0, T], \quad (9)$$

$$\Gamma^2 = J^2[U^1(t), U^2(t)], t \in [0, T], \quad (10)$$

где  $J^1$  и  $J^2$  – выигрыши первого и второго игрока соответственно. Стратегиями каждого игрока в дифференциальной игре (9)–(10) при представлении управлений в СДУ (8) являются правила определения управляющих векторов  $U^1(t)$  и  $U^2(t)$  в любой момент времени как функции от  $X(t)$  в виде

$$U^1(t) = U^1[X(t)], \quad U^2(t) = U^2[X(t)].$$

В дифференциальной игре двух игроков с нулевой суммой задача состоит в отыскании оптимальных стратегий

$$U^{1*}(t) = U^{1*}[X(t)], \quad U^{2*}(t) = U^{2*}[X(t)],$$

при которых достигается аналогично (7) седловая точка

$$J[U^{1*}(t), U^{2*}(t)] \leq J[U^{1*}(t), U^{2*}(t)] \leq J[U^{1*}(t), U^{2*}(t)],$$

где  $J[U^{1*}(t), U^{2*}(t)]$  – цена игры.

Тогда с учетом полученного решения можно переписать (8) в виде

$$\frac{dX(t)}{dt} = F[X(t)] + U^{1*}(t) + U^{2*}(t) + G[X(t)]V(t). \quad (11)$$

Критерием эффективности  $Q$  (см. рис. 1) в радионавигационной системе (РНС) можно считать точность оценки радионавигационных параметров, т. е. параметра радиосигнала, несущего информацию о координатах или скорости объекта, которая однозначно пересчитывается в точность навигационных параметров и, соответственно, в точность позиционирования [13–15]. К основным радионавигационным параметрам можно отнести задержку, фазу и доплеровское смещение. В зависимости от характеристик систем морской навигации указанные параметры представляются различными типами случайных процессов, так, задержка может быть аппроксимирована нормальным или равномерным распределением, фаза – равномерным распределением или распределением фон Мизеса–Тихонова, а доплеровское смещение – нормальным распределением. Тогда, как показано в [5–9], в зависимости от закона можно определить коэффициенты СДУ  $F[X(t)]$  и  $G[X(t)]$  в (11).

Рассмотрим в качестве примера использование в системах морской навигации методов пространственной обработки сигналов (ПОС) в адаптивных антенных решетках. При этом для определения коэффициентов СДУ (11) будем предполагать, что фаза имеет равномерное распределение и по известным соотношениям [13–15] погрешности фазы можно пересчитать в погрешности позиционирования. Исходя из неравен-

ства Рао–Крамера [14], погрешность фазы обратно пропорциональна отношению сигнал/шум (ОСШ) на входе приемника, а использование методов ПОС позволяет увеличить ОСШ, тем самым уменьшив ошибку в определении фазы радионавигационного сигнала и повысить точность позиционирования систем морской навигации.

Будем решать дифференциальную игру (9)–(10) при представлении параметров в форме СДУ (11) и при учете различной инерционности контуров управления и подавления (рис. 1). В данном случае исходную модель взаимодействия антагонистических систем (см. рис. 1) можно интерпретировать в следующем виде, представленном на рис. 2 и интерпретированном по аналогии с [16, 17].

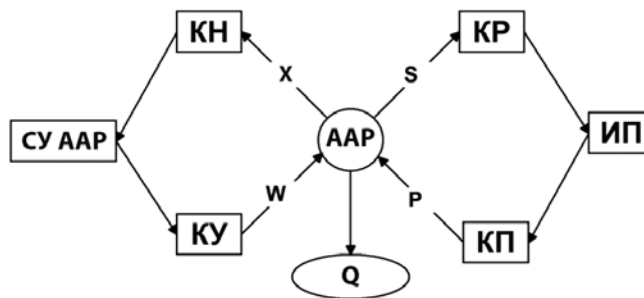


Рис. 2. Модель взаимодействия антенной системы и источника помех

На рисунке обозначены: СУ ААР – система управления адаптивной антенной решеткой, реализующая процедуры ПОС и формирующая воздействия для управления диаграммой направленности (ДН) соответствующей антенной (формирование вектора весовых коэффициентов (ВВК) ААР); КН, КУ, КР и КП – каналы наблюдения, управления, разведки и подавления, соответственно, ИП – источник помех,  $X$  – вектор сигналов на выходе антенных элементов адаптивной антенной решетки, представляющий собой смесь вектора полезных радионавигационных сигналов  $S$ , вектора помех и шумов,  $W$  – вектор весовых коэффициентов антенной решетки, формирующий диаграмму направленности,  $P$  – преднамеренная помеха, формируемая ИП. В качестве показателя эффективности  $Q$  используется требуемая точность позиционирования. При этом вычисленная точность позиционирования  $Q'$ , определенная по отношению сигнал/шум на выходе ААР, сравнивается с требуемым значением, задаваемым, исходя из принадлежности и характеристик конкретной РНС, следующим образом:

$$Q' \leq Q.$$

Решение игры (9)–(10) может быть выполнено лишь при учете инерционности СУ  $\tau_w$  и ИП  $\tau_p$ . При этом  $\tau_w$  включает в себя время наблюдения  $\tau_n$  (оценка параметров  $P_i(t)$ ), время принятия решения  $\tau_\phi$  (время адаптации, состоящая в формировании ВВК ААР) и время доведения управляющих воздействий  $\tau_d$ , т. е.

$$\tau_w = \tau_n + \tau_\phi + \tau_d.$$

В то же время  $\tau_p$  включает в себя время приема и оценки параметров полезного сигнала  $\tau_o$ , время формирования помех  $\tau_n$  и время подавления  $\tau_b$ , т. е.

$$\tau_p = \tau_o + \tau_n + \tau_b.$$

Рассмотрим следующие два случая динамического взаимодействия СУ и ИП, определяемого соотношениями между  $\tau_w$  и  $\tau_p$ :

1.  $\tau_w < \tau_p$ . В данном случае в результате решения бесконечной антагонистической игры  $\Gamma^i$ ,  $i = 1, 2$  (9)–(10) получаем, что СУ и ИП имеют  $\varepsilon_w$ ,  $\varepsilon_p$  – оптимальные нерандомизированные стратегии  $m_w$ ,  $m_p$ , выбираемые из условий

$$m_w : \omega_x = \sup_{\omega_x \in \Omega} Q(\omega_x, P_y), \quad m_p : P_y = \inf_{P_y \in X} Q(\omega_x, P_y),$$

где  $\omega_x, \omega_x \in \Omega$  – управления СУ;  $P_y, P_y \in X$  – управления ИП;  $m_w \in M_w$ ,  $m_p \in M_p$  – стратегии СУ, ИП, причем

$$Q(\omega_x, P_y) - \varepsilon_w \leq \langle Q(\omega_x, P_y) \rangle \leq Q(\omega_x, P_y) + \varepsilon_p.$$

При этом получаем

$$Q(m_w) + \varepsilon_p = Q(m_p) - \varepsilon_w = Q_0(W_0, P_n),$$

где  $Q(\cdot)$  – точность позиционирования, вычисляемая по значению ОСШ на выходе ААР при оптимальной весовой матрицы  $W$  и ограниченной средней мощности помех  $P_n$ ;  $\langle \cdot \rangle$  – знак статистического усреднения.

Таким образом, при  $\tau_w < \tau_p$  никакая стратегия ИП не обеспечит подавление ААР на величину, большую  $\langle Q_0(\cdot) \rangle$ . Оптимальной нерандомизированной стратегией СУ в данном случае является стратегия, состоящая в формировании ВВК, удовлетворяющего уравнению Винера–Хопфа, с использованием одного из известных алгоритмов ПОС [18]. Оптимальная же нерандомизированная стратегия ИП состоит в подавлении ААР стационарной непрерывной помехой с максимально возможной (в рамках заданных ограничений) пиковой мощностью. В любом другом случае выигрыш СУ будет большим  $Q_0(\cdot)$ .

2.  $\tau_w \geq \tau_p$ . При решении (9) – (10) имеем, что оптимальной является рандомизированная стратегия ИП:

$$m_p = \mu(dP_y), P_y^T = (P_1, P_2, \dots, P_m),$$

причем  $\sum_{i=1}^m P_i \leq P_n$ , состоящая в случайном перемешивании «чистых» стратегий ИП.

Можно показать, что при  $\tau_w \geq \tau_p$  в игре (9) – (10) множество  $Y$  стратегий ИП являются подмножеством вещественного линейного топологического пространства, а функции выигрыша по  $P_y \in Y$  выпуклы и непрерывны. Поэтому, согласно [10 – 12], игра (9) – (10) имеет значение, игрок 1 (СУ) имеет «чистую» оптимальную стратегию  $\omega_x \in \omega$ , а игрок 2 (ИП) при  $\varepsilon_p > 0$  имеет  $\varepsilon_p$  – оптимальную стратегию, являющуюся смесью конечного числа «чистых» стратегий.

Таким образом, смешанной  $\varepsilon_p$ -оптимальной стратегией ИП является переключение через промежутки времени  $\tau_p$  «чистых» стратегий, что соответствует включению-выключению нескольких ИП. «Чистая» стратегия СУ состоит в осуществлении ПОС с минимизацией усилий (контролем уровня боковых лепестков ДН ААР) в выбранных направлениях за счет введения соответствующих ограничений.

Результаты анализа эффективности ПОС в конфликтных условиях представлены на рис. 3. Из рисунка видно, что при  $\tau_w \geq \tau_p$  конструктивным является отказ от адаптации в направлениях прихода оптимизированных помех и формирование ограничений на уровень боковых лепестков в этих направлениях.

Таким образом, применение адаптивных алгоритмов ПОС является конструктивным при  $\tau_w < \tau_p$  (кривая I на рис. 3), если же  $\tau_w \geq \tau_p$ , то использование системой радиоподавления так называемых «мерцающих», переключаемых через промежутки времени  $\tau_p$  синхронизированных между собой импульсных помех, приводит к неэффективности адаптивных алгоритмов ПОС (кривая II на рис. 3). В этом случае наибольший эффект имеет отказ от адаптации в направлениях прихода оптимизированных помех и формирование ограничений на уровень боковых лепестков (кривая III на рис. 3).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Финская пограничная служба о помехах ГНСС // Вестник ГЛОНАСС. – 2024. – 12 октября.
2. Сбои в работе GPS признаны угрозой национальной кибербезопасности // Вестник ГЛОНАСС. – 2024. – 20 августа.
3. Чуднов А. М. Помехоустойчивость линий и сетей связи в условиях оптимизированных помех. – Л.: Изд. ВАС, 1986. – 84 с.
4. Чуднов А. М. Математические основы моделирования, анализа и синтеза систем. – СПб.: Изд. ВАС, 2021. – 192 с.

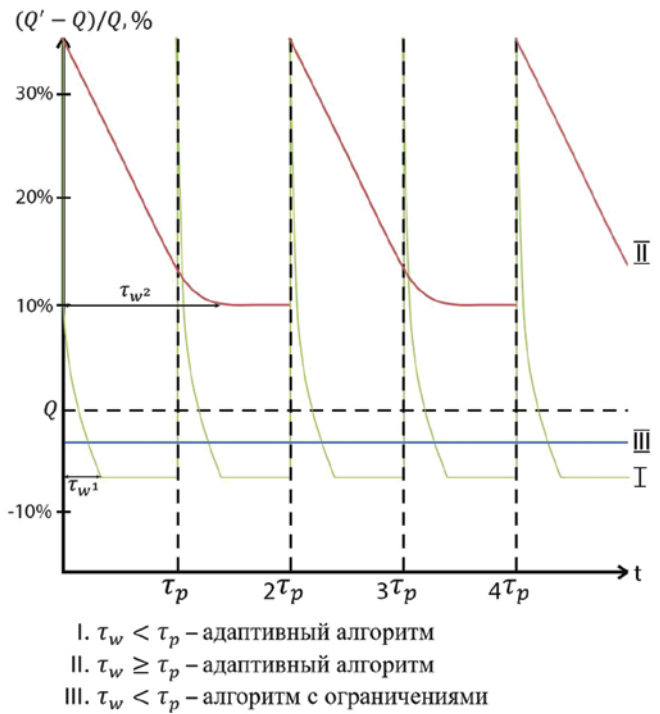


Рис. 3. Анализ точности позиционирования при использовании ПОС

5. Кловский Д. Д., Конторович В. Я., Широков С. М. Модели непрерывных каналов связи на основе стохастических дифференциальных уравнений. – М.: Радио и связь, 1984. – 248 с.
6. Глушанков Е. И., Конторович В. Я. Математическое моделирование сигналов различной пространственной когерентности в системах радиосвязи. – Адаптивные радиотехнические системы с антенными решетками. – 1991, с. 432–466.
7. Primak S., Kontorovich V., Lyandres V. Stochastic Methods and Their Applications to Communications: Stochastic Differential Equations Approach. – Wiley, 2004. – 439 p.
8. Глушанков Е. И., Конторович В. Я., Караваяев Д. А. Математическое моделирование сигналов в непрерывных каналах связи в форме стохастических дифференциальных уравнений // Системы управления, связи и безопасности. – 2023. – № 4. – С. 1–35.
9. Глушанков Е. И., Конторович В. Я., Езоров С. Г. Моделирование сигналов сетей связи с кодами Уолша в виде стохастических дифференциальных уравнений // Электросвязь. – 2024. – № 11. – С. 49–56.
10. Красовский Н. Н., Субботин А. И. Позиционные дифференциальные игры. – М.: Наука, 1974. – 456 с.
11. Ramachandran K. M., Tsokos C. P. Stochastic Differential Games. Theory and Applications. – Tampa, FL USA: Atlantis Press, 2012. – 248 p.
12. Петросян Л. А., Зенкевич Н. А., Шевкопляс Е. В. Теория игр: учебник. – СПб.: БХВ-Петербург, 2012. – 432 с.
13. Ярлыков М. С. Статистическая теория радионавигации. – М.: Радио и связь, 1985. – 344 с.
14. ГЛОНАСС. Модернизация и перспективы развития / Под ред. А. И. Перова. – М.: Радиотехника, 2020. – 1072 с.
15. Фокин Г. А. Комплекс моделей и методов позиционирования устройств в сетях пятого поколения. – Дисс. на соискание уч. степени доктора технических наук. – СПб.: СПбГУТ, 2021. – 499 с.
16. Глушанков Е. И., Зимарин В. И., Мисюра В. Р., Родимов В. А. Пространственно-временная обработка сигналов в конфликтных условиях. – В сб.: Пространственно-временная обработка сигналов в системах радиосвязи: Приложение к журналу «Радиотехника». – М., 1992, с. 34–36.
17. Глушанков Е. И., Рылов Е. А., Хренов А. А. Потенциальная эффективность систем морской радиосвязи // Электронные средства и системы управления. Мат.-лы докл. Международ. НПК. – Томск: ТУСУР. – 2021. – № 1–2. – С. 269–270.
18. Монзинго Р. А., Миллер Т. У. Адаптивные антенные решетки. Введение в теорию. – М.: Радио и связь, 1986. – 448 с. ■



Эффективная настройка систем автоматической компенсации низкочастотного электромагнитного поля (НЭМП) корабельного электрооборудования (АСК) в значительной степени связана с конструктивными параметрами компенсационных обмоток, которые прокладываются по внешним поверхностям дизель-генераторов (ДГ), главных распределительных щитов (ГРЩ) или по контуру корабельного отсека, в котором установлено электрооборудование. В зависимости от места установки компенсационные обмотки подразделяются на локальные и отсечные.

Как показывает практика настройки систем АСК на кораблях, при любой конфигурации компенсационных обмоток удается создать максимальный уровень компенсации НЭМП в точке на контрольном расстоянии при измерении индукции электромагнитного поля в статическом режиме. Однако при отклонении от контрольного расстояния, особенно в динамическом режиме измерения индукции электромагнитного поля, уровень компенсации НЭМП уменьшается, зачастую существенно.

Настоящее исследование выполнено с целью оценки погрешности результата компенсации НЭМП системой АСК в зависимости от конструктивных параметров компенсационных обмоток различных типов, а также с целью выработки рекомендаций по минимизации погрешности компенсации НЭМП.

### ПАРАМЕТРЫ ИСТОЧНИКОВ ИСХОДНОГО НЭМП И КОМПЕНСАЦИОННЫХ ОБМОТОК

Минимизация погрешности компенсации исходного НЭМП электрооборудования требует детальных знаний о характеристиках и интенсивности излучения поля этим электрооборудованием. К сожалению, исходное НЭМП таких объектов, как генераторы, входящие в состав ДГ, в технических условиях не нормируется, поэтому при настройке АСК приходится пользоваться ориентировочными данными, получаемыми в процессе настройки. Получение данных НЭМП практическим методом сопряжено не только с необходимостью учета высокого уровня помех в месте установки ДГ, но также с тем обстоятельством, что в ближней зоне ДГ структура НЭМП отличается от структуры НЭМП на контрольном расстоянии.

Рассмотрим источники погрешности измерения исходного НЭМП в ближней зоне применительно к типовым генераторам, входящим в состав корабельных ДГ, внешний вид которых показан на рис. 1, а схема – на рис. 2.

Габаритные размеры и мощность источника НЭМП не позволяют однозначно определить структуру и расчетным

## ОЦЕНКА ПОГРЕШНОСТИ ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ И ИЗМЕРЕНИЯ МАГНИТНЫХ МОМЕНТОВ НИЗКОЧАСТОТНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ КОРАБЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ В СОСТАВЕ АВТОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ КОМПЕНСАЦИИ

**Б.Ю. Семёнов**, начальник сектора – гл. конструктор направления СКЭМП, АО «НПФ «Меридиан»,  
контакт. тел. (812) 602 0364, доб. 526



Рис. 1. Внешний вид типового дизель-генератора в морском исполнении

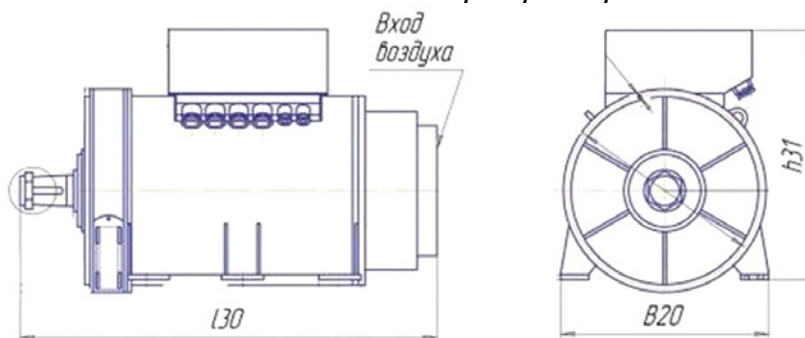


Рис. 2. Габаритные размеры генератора типа БГ-315  
130 – 1480 мм, B20 – 740 мм, h31 – 900 мм

путем получить численные значения индукции электромагнитного поля, излучаемого источником НЭМП. Причиной этого является сложная конструкция системы внутренних обмоток генератора. Типовой генератор, разрез которого показан на рис. 3, содержит статическую и динамическую (вращающуюся) обмотки, образующие излучатели НЭМП сложной формы. Симметричная

конструкция обмоток генератора до некоторой степени автоматически компенсирует излучаемое НЭМП, но частично излучение НЭМП в окружающее пространство все-таки происходит по причине технологической несимметрии обмоток, погрешности при их изготовлении, наличии люфтов механических узлов, небаланса ротора и нарастающих износ в процессе эксплуатации.

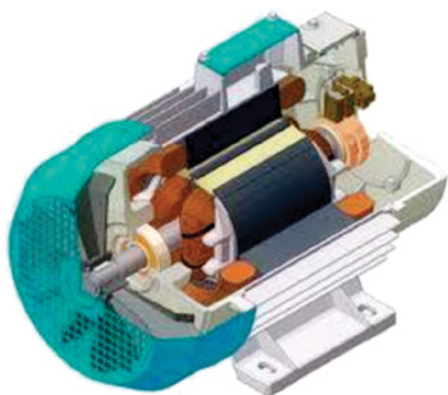


Рис. 3. Разрез корпуса типового генератора

Опыт показывает, что наибольший уровень индукции в спектре излучения НЭМП фиксируется на основной частоте 50 Гц. Кроме этого, задача компенсации НЭМП ставится не для ближней зоны объекта компенсации, а для контрольного расстояния, практически на порядок превышающего наибольший линейный размер источника НЭМП. Эти исходные условия позволяют упростить расчетную модель излучения НЭМП, приведя ее к базовой модели дипольного источника с эквивалентным магнитным моментом  $P$  (Ам<sup>2</sup>). По крайней мере, такая расчетная модель позволит выполнить оценку максимальной погрешности уровня компенсации НЭМП.

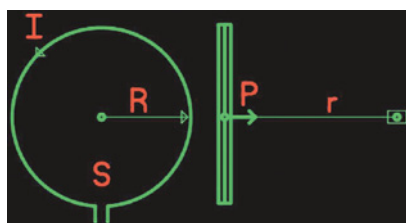


Рис. 4. Компенсационная обмотка АСК

Теперь перейдем к конструкции и электрическим параметрам компенсационных обмоток АСК. На рис. 4 показана типовая компенсационная обмотка, представляющая собой один или несколько витков  $w$  изолированного провода, уложенных на рамку круглой или прямоугольной (квадратной) конфигурации. При площади рамки  $S$  (м<sup>2</sup>) и величине тока  $I$  (А) в одном витке компенсационной обмотки ее магнитный момент  $P$  (Ам<sup>2</sup>) определяется из соотношения

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

Зная величину магнитного момента  $P$  и радиус  $R$  компенсационной обмотки, можно определить величину  $B$  (Тл) индукции НЭМП на расстоянии  $r$  от плоскости обмотки по формуле

$$B = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{2P}{(\sqrt{R^2 + r^2})^3}, \quad (2)$$

где  $\mu_0$  – магнитная постоянная, Гн/м.

Нетрудно заметить, что при  $r \gg R$  формула (2) приобретает вид

$$B \approx \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot \frac{P}{r^3}. \quad (3)$$

То есть на существенном расстоянии от источника НЭМП, превышающем, по крайней мере, на порядок, максимальный габаритный размер источника НЭМП, его конструктивная форма не вносит существенный вклад в уровень индукции  $B$ . А это значит, что при расчетах можно заменить источник НЭМП эквивалентным контуром, создающим исходный магнитный момент.

### ИССЛЕДОВАНИЕ ПОГРЕШНОСТИ ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ И КОМПЕНСАЦИИ МАГНИТНЫХ МОМЕНТОВ В СИСТЕМАХ АСК

Исходя из изложенного в предыдущем разделе, определение магнитного момента электрооборудования и дальнейший расчет параметров компенсационных обмоток предполагает использование следующей методики:

- а) измерение индукции магнитного поля  $B$  на контрольном расстоянии от источника НЭМП;
- б) расчет магнитного момента  $P$  источника НЭМП по выражению (3);
- в) расчет площади  $S$ , числа витков  $w$  и тока  $I$  компенсационной обмотки по выражению (1).

Такая методика является предельно простой, но содержит один существенный недостаток: величина измеренной индукции магнитного поля  $B$  на контрольном расстоянии от реального источника НЭМП при измерениях в обычных (заводских) условиях оказывается много меньше уровня фоновой помехи. Поэтому измерение следует проводить в специальных местах, в которых уро-

вень фоновой помехи меньше ожидаемого уровня НЭМП источника. Таких мест, учитывая значительные габариты электрооборудования и невозможность обеспечения его полной нагрузки в отрыве от корабля, крайне мало.

Оценим возможность определения магнитных моментов электрооборудования на расстоянии 1–2 наибольших габаритных размеров, т. е. в зоне, где величина индукции магнитного поля  $B$  источника НЭМП существенно превышает уровень фоновой помехи. Исследование проведем, приведя выражение (2) к следующему виду:

$$P = 2\pi \left( \sqrt{R^2 + r^2} \right)^3 \frac{B}{\mu_0}. \quad (4)$$

Тогда для условного измеренного значения индукции  $B = 1$  мкТл на расстоянии 1 м от условного магнитного центра источника НЭМП, совпадающего с геометрическим центром, зависимость величины магнитного момента  $P$  от радиуса эквивалентного контура  $R$ , создающего магнитный момент, будет такой, как показано на рис. 5.

Иными словами, определить магнитный момент источника НЭМП на расстоянии, равном наибольшему его габаритному размеру, мы можем приближенно в диапазоне от 5,0 до 7,0 Ам<sup>2</sup>, и это при условии совпадения геометрического и магнитного центров источника НЭМП. В случае, если геометрический и магнитный центр не совпадают, а также если точка магнитного центра может располагаться в пределах  $\pm 0,5$  м, но не может выходить за пределы габаритов источника НЭМП, приближенный диапазон определения магнитного момента составит от 5,0 до 10,0 Ам<sup>2</sup>. Максимальная погрешность определения магнитного момента – 100%.

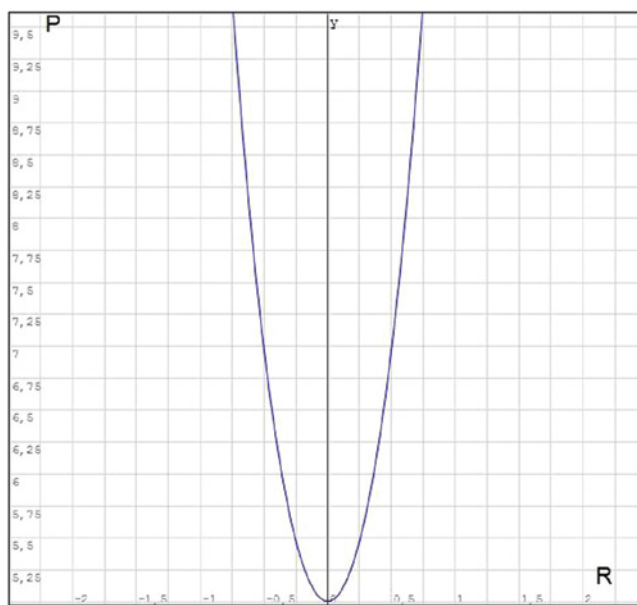


Рис. 5. Зависимость величины магнитного момента источника НЭМП от радиуса эквивалентного контура на расстоянии 1 м



Оценим погрешность при выполнении измерения индукции  $B$  на расстоянии 2 м от источника НЭМП. Следуя закону уменьшения величины индукции по третьей степени от расстояния до источника НЭМП, для условного измеренного значения индукции  $B = 0,13$  мкТл на расстоянии 2 м от условного магнитного центра источника НЭМП, совпадающего с геометрическим центром, зависимость величины магнитного момента  $P$  от радиуса эквивалентного контура  $R$ , создающего магнитный момент, будет такой, как показано на рис. 6.

В этом случае приближенный диапазон определения магнитного момента источника НЭМП составляет 5,0–6,1 Ам<sup>2</sup>, максимальная погрешность определения магнитного момента – 22%.

Проанализируем максимальную величину погрешности определения магнитного момента источника НЭМП на расстоянии 3 м. В этой точке измеренное значение индукции составит порядка 37 нТл. Данное значение находится в зоне фоновой помехи, поэтому определить магнитный момент источника НЭМП на таком расстоянии в стандартных условиях измерений не удастся. Тем не менее если измерения будут проводиться в условиях электромагнитной тишины, приближенный диапазон определения магнитного момента источника НЭМП составляет 5,0–5,5 Ам<sup>2</sup>, максимальная погрешность определения магнитного момента – 10% (рис. 7).

Главный вывод, который можно сделать по итогам данного исследования, состоит в том, что определение магнитного момента  $P$  источника НЭМП на близком расстоянии от источника НЭМП возможно, однако ввиду увеличения погрешности измерения индукции  $B$  при приближении к источнику НЭМП необходимо использовать в дальнейших расчетах системы АСК максимальное значение магнитного момента (с учетом погрешности его определения).

### ИССЛЕДОВАНИЕ ПОГРЕШНОСТИ ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ И КОМПЕНСАЦИИ МАГНИТНОГО МОМЕНТА НА КОНТРОЛЬНОМ РАССТОЯНИИ И В ЕГО ОКРЕСТНОСТИ

Второй шаг, который необходимо выполнить при проектировании систем АСК, состоит в расчете электрических параметров и разработке конструкции обмотки компенсации магнитного момента источника НЭМП. Расчет проводится на основе соотношения (1). Магнитная индукция  $B$  от компенсационной обмотки с учетом соотношений (1) и (2) будет

$$B = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{2 \cdot I \cdot \pi \cdot R^2 \cdot w}{(\sqrt{R^2 + r^2})^3}. \quad (5)$$

Таким образом, регулируя величину тока  $I$  в компенсационной обмотке, можно добиться сколь угодно малой разницы между величиной индукции  $B$ , создаваемой источником НЭМП и компенсационной обмоткой на контрольном расстоянии. Но что будет происходить в окрестности точки, отнесенной на контрольное расстояние?

Рассмотрим случай с наибольшей прогнозируемой погрешностью, при котором габариты компенсационной обмотки совпадают с габаритами источника НЭМП, а магнитный момент ис-

точника НЭМП моделируется диполем с малыми размерами.

На рис. 8 показана зависимость относительной погрешности компенсации НЭМП источника от расстояния до его геометрического центра при настройке минимального уровня компенсации на расстоянии 10 м. Компенсация НЭМП осуществляется обмоткой компенсации локального типа радиусом 0,5 м, т. е. расположенной непосредственно на корпус источника НЭМП.

В диапазоне расстояний от источника НЭМП в пределах 8–12 м отно-

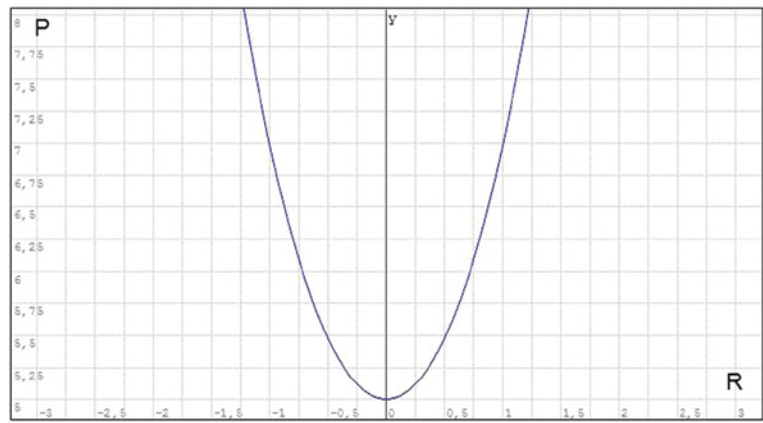


Рис. 6. Зависимость величины магнитного момента источника НЭМП от радиуса эквивалентного контура на расстоянии 2 м

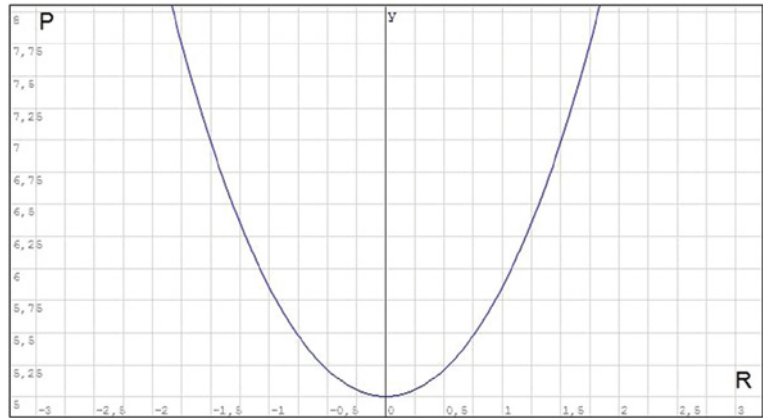


Рис. 7. Зависимость величины магнитного момента источника НЭМП от радиуса эквивалентного контура на расстоянии 3 м

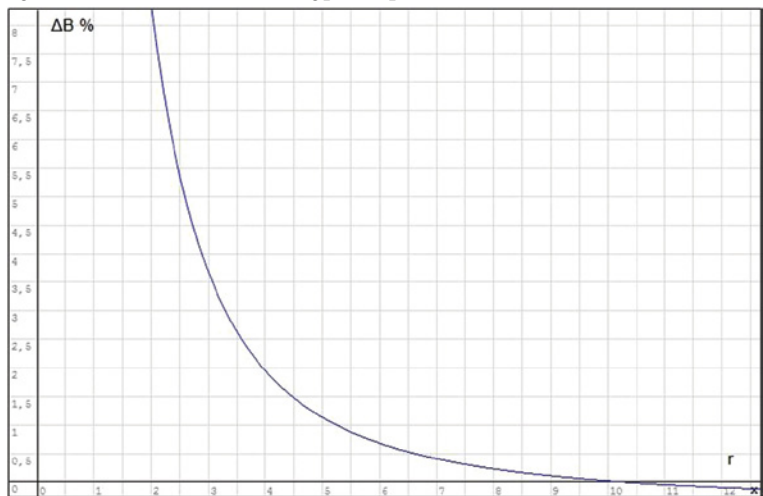


Рис. 8. Максимальная погрешность компенсации НЭМП в зависимости от расстояния (при использовании локальных компенсационных обмоток)

сительная погрешность компенсации НЭМП невелика и составляет  $\pm 0,25\%$ .

Теперь рассмотрим случай использования компенсационной обмотки отсечного типа, прокладываемой по периметру корабельного отсека. Примем радиус отсечной обмотки равным 5 м и построим зависимость относительной погрешности компенсации НЭМП источника от расстояния до его геометрического центра при условии настройки минимального уровня компенсации на расстоянии 10 м (рис. 9).

Из рис. 9 видно, что характеристика относительной погрешности компенсации стала более крутой – уже в диапазоне расстояний 9,5–10,5 м погрешность компенсации НЭМП значительно увеличилась по сравнению с обмотками локального типа – до  $\pm 3\%$ .

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования показывают, что при воспроизведении и компенсации магнитных моментов НЭМП электрооборудования существенное влияние на погрешность компенсации оказывают не только конструктивные параметры электрооборудования, но и геометрические размеры компенсационных обмоток.



Рис. 9. Максимальная погрешность компенсации НЭМП в зависимости от расстояния (при использовании отсечных компенсационных обмоток)

При проектировании систем АСК необходимо учитывать условия, при которых будут определяться магнитные моменты электрооборудования и обеспечиваться необходимый технологический запас регулировки магнитного момента компенсационных обмоток в случае, если определение магнитных моментов планируется осуществлять

на расстоянии, кратного не более 1–3 значениям максимального размера электрооборудования.

Для снижения погрешности компенсации в зоне контрольного расстояния геометрические размеры компенсационных обмоток должны быть максимально приближены к геометрическим размерам электрооборудования. ■

Новые подходы к решению некоторых задач предполагают обращение к алгоритмам искусственного интеллекта. Традиционный подход к применению методов искусственного интеллекта разделяет процесс использования алгоритмов на два этапа – обучение и эксплуатация (инференс). Обычно первый или даже оба этапа выполняются на серверных мощностях. У такого подхода имеется ряд недостатков:

- отсутствие адаптивности (невозможно изменять характеристики модели);
- отсутствие автономности (требуется постоянное соединение с серверными мощностями, что чревато неработоспособностью всей системы при разрыве соединения);
- риски безопасности (данные могут быть перехвачены злоумышленником в процессе передачи);
- долгая реакция на события (возможны задержки реакции и потеря данных при нестабильном соединении).

С развитием аппаратных средств стал применяться новый подход, называемый «граничные вычисления» – парадигма распределенных

вычислений, выполняемых на конечных устройствах либо в их сети. Он означает, что этап обучения проводится на серверных мощностях, а инференс – на локально встраиваемом оборудовании, без необходимости обращаться к серверу. Использование этого подхода нивелирует почти все недостатки традиционного, кроме отсутствия адаптивности. Поскольку обучение происходит не на конечном устройстве, изменять поведение модели «на лету» не получится.

Этот недостаток может быть устранен при применении более эффективных алгоритмов и моделей искусственного интеллекта, а также новых подходов при работе с данными обучения, что и будет рассмотрено далее.

## РАЗРАБОТКА ПРИЛОЖЕНИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ ВСТРАИВАЕМЫХ СИСТЕМ

*Н. А. Бабич, руководитель отдела нейротехнологий ООО «СВД ВС»,  
А. М. Чуманов, директор НПК, гл. конструктор  
АО «Концерн «Гранит-Электрон»,  
контакт. тел. (812) 271 4583*

### РАЗРАБОТКА СИСТЕМ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА С ПОМОЩЬЮ ПЛАТФОРМЫ «СИНАПТИКА»

Платформа «Синаптика» – это универсальная платформа для построения систем сбора и обработки данных с помощью технологий искусственного интеллекта, функционирующая на базе защищенной операционной системы реального времени (ЗОСРВ) «Нейтрино» [1]. Созданная платформа позволяет нивелировать все недостатки традиционного подхода. Она применима не только для инференса, но и для обучения моделей.

Среди преимуществ платформы можно выделить:

- обучение в реальном времени –



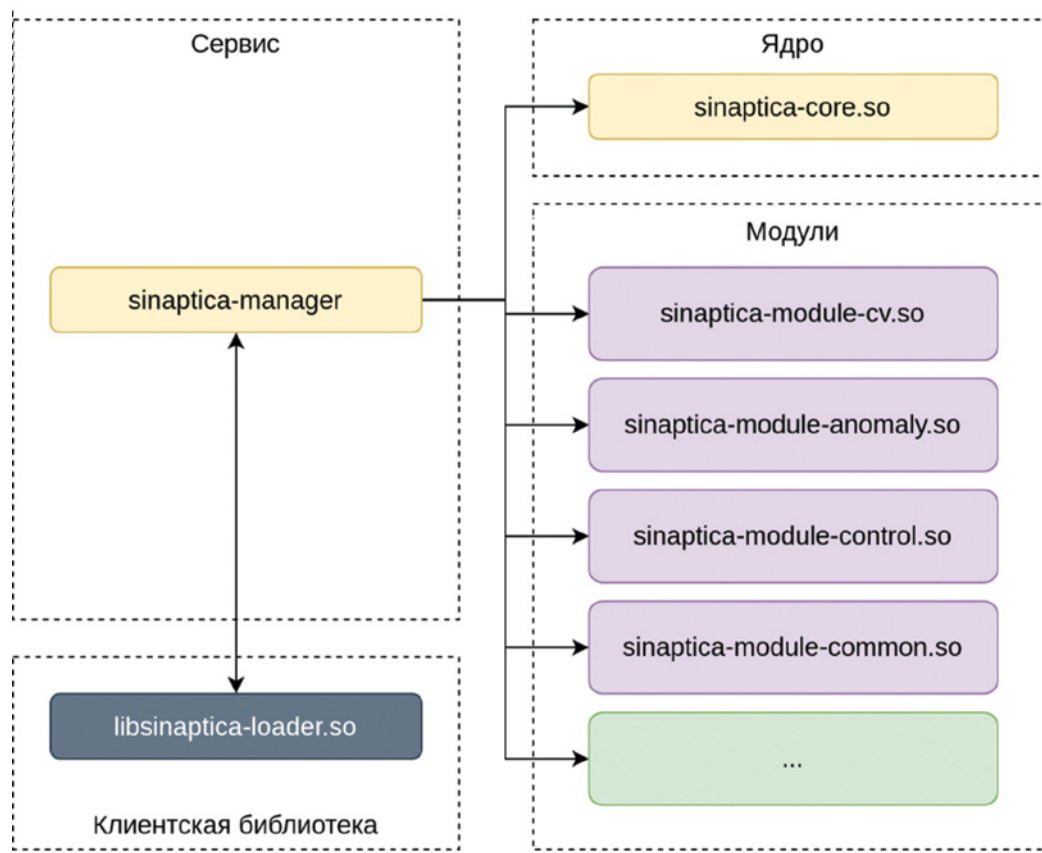


Рис. 1. Компоненты платформы «Синаптика»

корректировка работы платформы «на лету»;

- гибкая архитектура – модульность и возможность расширения под нужды заказчика;
- открытый API – удобная интеграцию с поставщиками (источниками) данных и клиентскими приложениями;
- компактность – функционирование во встраиваемых системах и системах с ограниченными ресурсами;
- автономность – не требует подключения к внешним ресурсам для функционирования;
- ускорение вычислений – поддержка аппаратного ускорения.

Платформа «Синаптика» позволяет решать различные задачи:

- распознавание образов;
- обработка данных (например, выявление аномалий в данных);
- классификация и кластеризация данных;
- построение адаптивных систем управления и экспертных систем.

«Синаптика» объединяет большое количество инструментов машинного обучения, в том числе решений с открытым исходным кодом, которые были портированы на ОСРВ «Нейтрино». Среди них – библиотеки OpenCV [2], ONNX Runtime [3], MLPack [4], Interference NDK [5] и др. Платформа состоит из менеджера ресурсов, ядра платформы, а также подключаемых

модулей, каждый из которых предназначен для решения своего набора задач. Эти модули упрощают решение типовых задач машинного обучения. Менеджер ресурсов предоставляет унифицированный доступ ко всем программным ресурсам платформы. С помощью клиентской библиотеки разработчик может подключать все необходимые компоненты платформы к своему приложению. Благодаря модульной архитектуре он может управлять компонентами платформы и применять только планируемые. Структура платформы показана на рис. 1.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, интеллектуальная платформа «Синаптика» на базе ЗОСРВ «Нейтрино» позволяет решать большой спектр практических задач при разработке приложений искусственного интеллекта. Также она пригодна для применения во встраиваемых системах даже в том случае, если вычислительные ресурсы аппаратной платформы ограничены. Модульность платформы позволяет адаптировать ее под нужды заказчика. Платформа «Синаптика» уже нашла практическое применение – на ее основе разработана система мониторинга аномальной активности процессов [6].

Реализация компонентов платформы «Синаптика» в составе ЗОСРВ «Нейтрино» включена в реестр научно-

технического задела в области искусственного интеллекта и рекомендована к использованию при выполнении проектов в интересах обеспечения обороны страны и безопасности государства.

ЗОСРВ «Нейтрино» характеризуется надежностью, безопасностью и обладает такими достоинствами, как:

- микроядерная отказоустойчивая архитектура реального времени;
- поддержка отечественных и многих мировых процессорных платформ и архитектур;
- развитые инструментальные средства.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Официальная страница интеллектуальной платформы Синаптика. – URL: <https://kpda.ru/products/sinaptika/> (дата обращения: 15.02.2025).
2. Официальный сайт библиотеки OpenCV. – URL: <https://opencv.org/> (дата обращения: 15.02.2025).
3. Официальный сайт фреймворка ONNX Runtime. – URL: <https://onnxruntime.ai/> (дата обращения: 15.02.2025).
4. Официальный сайт библиотеки MLPack. – URL: <https://www.mlpack.org/> (дата обращения: 15.02.2025).
5. Официальная страница библиотеки Interference NDK. – URL: <https://nickware.group/products/indk/> (дата обращения: 15.02.2025).
6. Бабич Н. А., Чуманов А. М. Встраиваемая платформа искусственного интеллекта для выявления аномалий в работе систем. // Морской вестник. – 2024. – № 3 (91). – С. 99–101. ■

При создании распределенных корабельных систем нередко возникают проблемы их привязки к конкретным проектам кораблей, так как для каждого нового исполнения системы требуется адаптация протоколов связи, постов управления и др. АО «МНС» создает и серийно изготавливает подобные системы, такие как системы машинных телеграфов (МТ, в том числе аварийных – АМТ), рулевых телеграфов (РТ) и др., которые уже длительное время широко применяют на кораблях и судах различных классов.

Эта проблема актуальна и для систем МТ и РТ, которые служат для передачи команд хода и команд положения пера руля соответственно. В каждой системе – свой набор команд и постов, свои требования к выбору активных задающих и исполнительных постов. Таким образом, системы МТ и РТ обладают большой вариативностью, и для их привязки к очередному заказу требуется модификация программного обеспечения этих систем, что характеризуется значительной трудоемкостью.

## ЦИФРОВОЙ ДВОЙНИК - ИННОВАЦИОННОЕ РЕШЕНИЕ ДЛЯ ПРИВЯЗКИ СИСТЕМЫ АВАРИЙНОГО МАШИННОГО И РУЛЕВОГО ТЕЛЕГРАФОВ К ПРОЕКТУ КОРАБЛЯ (СУДНА)

*Д.Н. Мосичкин, бакалавр, инженер-программист,  
С.Н. Юдин, специалист, нач. отдела систем автоматики, АО «МНС»,  
контакт. тел. (812) 320 3840*

В связи с вышеизложенным перед специалистами АО «МНС» была поставлена задача разработать программный комплекс, который станет цифровым двойником системы. При использовании подхода метапрограммирования для создания исходного кода программного обеспечения (ПО) необходимо добиться того, чтобы код самостоятельно модифицировался на этапе компиляции, автоматически адаптируясь под

каждую систему. Такой подход позволит единожды написать исходный код системного ПО.

Для реализации этого необходимо параметризовать систему, в которой учитываются меняющиеся от системы к системе величины. Например, входящие в систему аварийных машинных телеграфов приборы МТ передают разные команды, у каждой из которых есть:

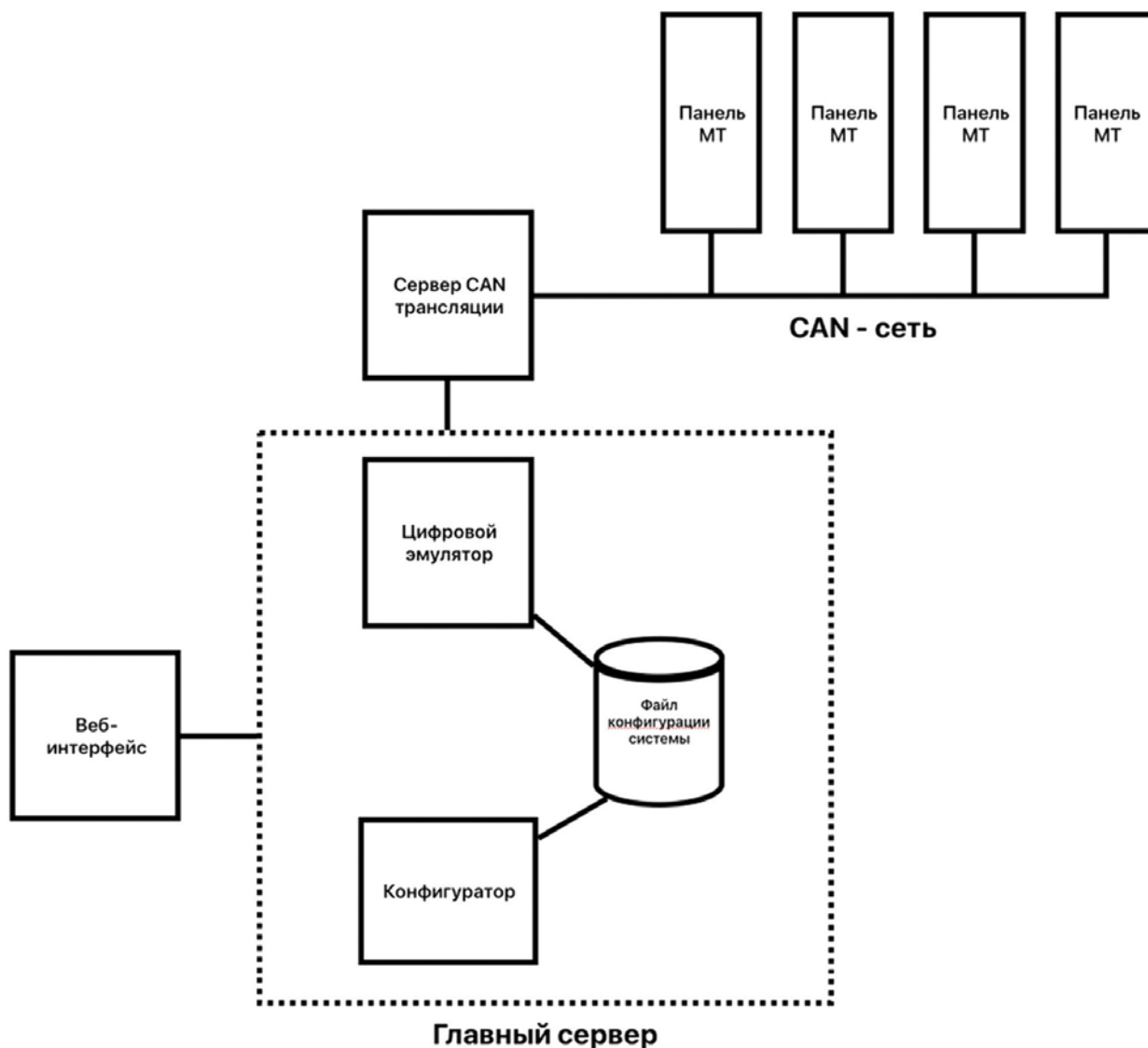


Рис. 1. Структурная схема цифрового двойника



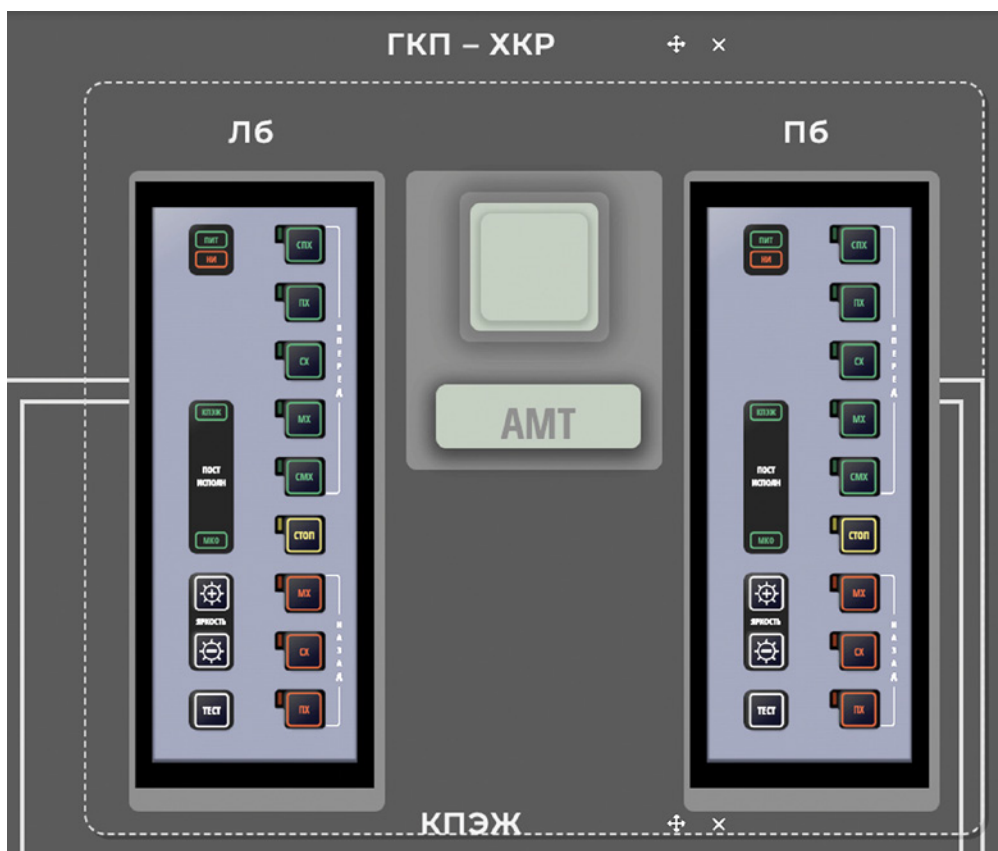


Рис. 2. Внешний вид цифрового двойника

- название;
- выход микроконтроллера, к которому подключена лампа;
- кнопка, отвечающая за выбор команды (кнопки имеют разный цвет).

В программе предстоит оперировать не конкретными командами («СТОП», «ПХ», «СПХ»), а списком абстрактных команд.

Задача заключается в написании исходных кодов таким образом, чтобы это не повлияло на эффективность кода как по потреблению памяти, так и по быстрейшему действию. Так как используемые в телеграфах микроконтроллеры архитектуры AVR имеют весьма ограниченный объем встроенной оперативной памяти (4 кибибайта), а также невысокую производительность (частота до 16 МГц), в итоговой прошивке должен находиться вариант для конкретной системы.

При таком подходе к разработке ПО возникает задача настройки новых систем, требующая задания параметров, указанных в исходных данных вручную. Для этого нужны определенные навыки работы с синтаксисом языка C++.

В связи с этим специалистами АО «МНС» было решено создать цифровой двойник систем МТ и РТ, который позволит конфигурировать систему, задавать параметры, а также вставлять выработанные данные в исходный код и передавать прошивку для микроконтроллера любому специалисту, не владеющему навыками работы с синтаксисом языка C++.

В цифровом двойнике с удобным интерфейсом задаются:

- требуемые задающие и исполнительные посты;
- расположение панелей телеграфов в помещениях заказа и их макет;
- необходимый набор команд;
- переключатели и кнопки для выбора постов управления;
- логические выражения для выбора активных постов.

Цифровой двойник эмулирует поведение системы с точностью до конкретных посылок по сетям и передачи логических сигналов на клеммы приборов, что позволяет испытать целостность системы и исключить ошибки проек-

тирования (рис. 1). Он может работать в совокупности с устройствами, воплощенными в «железе», через подключение в физическую CAN-сеть. Такой подход помогает отладить взаимодействие отдельных панелей телеграфов без физической сборки всей системы, что чрезвычайно удобно как при разработке программного кода, так и в период сервиса и ремонта (рис. 2).

Разработанная концепция цифрового двойника систем АМТ и РТ – полезный инструмент, используемый при разработке и поддержке существующих систем. Во-первых, он автоматизирует и уменьшает срок привязки систем к последующим заказам. Во-вторых, помогает наглядно спроектировать систему, выявить узкие конструктивные места. В-третьих, этот инструмент имеет большую ценность при отладке (так можно увидеть состояние всех панелей, взаимодействие между ними и эмулировать недостающую часть системы). В-четвертых, позволяет создать симулятор корабельных систем для обучения экипажа работе с данными системами. ■

**В**недрение технологий e-Navigation и a-Navigation требует создания высокопроизводительных беспроводных систем связи, гетерогенных сетей (HWN) и высокоэффективных передовых коммуникационных технологий на их основе для управления радиоресурсами, обеспечивающих требуемое качество обслуживания.

Выбор эффективной технологии радиодоступа (Radio Access Technology, RAT) во многом определяет распределение радиоресурсов, балансировку нагрузки, механизм контроля перегрузки и управления, что приводит к эффективному использованию RAT и в итоге к повышению качества обслуживания (Quality of Service, QoS) [1].

Технологии беспроводного доступа обеспечивают покрытие морских районов несколькими беспроводными сетями. Технологии беспроводной связи, которые применяются на морском флоте, можно разделить на две группы:

- беспроводного широкополосного доступа (WBA);
- беспроводного узкополосного доступа (WNA).

*Внедрение беспроводных сетей WBA* в морской индустрии связано с тенденциями в области беспроводного доступа. HWN WBA может поддерживать огромное количество подключений, обеспечивать высокую скорость передачи данных благодаря многооборотному подключению и поддерживать требования к качеству обслуживания для каждого пользователя и приложения. Такие сети HWN состоят из сетей WLAN 802.11 Wi-Fi и сетей сотовой связи 4G (LTE/LTE-A, IEEE 802.16 WiMAX), 5G и выше 5G (B5G), 6G в перспективе [2].

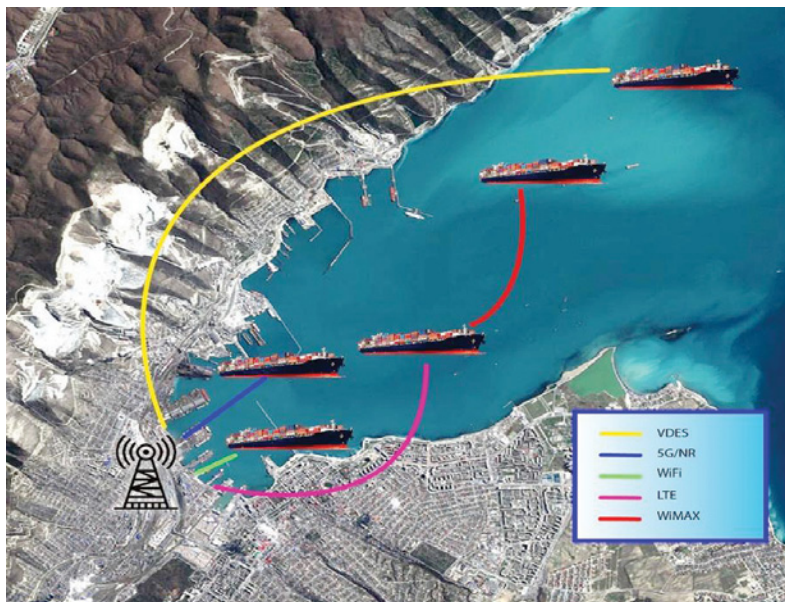
Эти различные сети беспроводного доступа имеют свои особенности, включая покрытие, качество обслуживания, пропускную способность и стоимость. Сети WLAN, а также новое радио 5G (NR) обеспечивают большую ширину полосы пропускания в ограниченном регионе покрытия, в то время как сотовая связь LTE/LTE-A и WiMAX – широкополосное подключение в большей зоне покрытия [3].

*Морскими системами WNA* ближнего радиуса действия являются цифровые УКВ (D-VHF) и (частично) AIS, но последние в настоящее время предлагают только 2×9,6 кбит/с и, таким образом, не представляет интереса для служб, требующих высокой пропускной способности, VDES VDE, обеспечивающей дальность связи 20 – 50 мор. миль с пропускной способностью до 300 кбит/с.

Различные сети HWN имеют разные скорости передачи данных, зоны покрытия и пропускную способность, что превращает простые проблемы с подключением в более сложную проблему управления радиоресурсами (Radio Resource Management,

## A-NAVIGATION: ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННО- СВЯЗНАЯ ПОДДЕРЖКА МОРСКОГО ДОМЕНА АВТОНОМНОГО СУДОВОЖДЕНИЯ

**С.И. Биденко**, д-р техн. наук, проф., гл. эксперт АО «НПО «Импульс»,  
**Е.Р. Пакишина**, ст. преподаватель ФГБОУ ВО «ГМУ им. адм. Ф.Ф. Ушакова»,  
**К.В. Гольдибаев**, ген. директор АО «ПКБ «РИО»,  
**И.А. Полковников**, канд. техн. наук, зам. ген. директора – начальник НТИ  
ИКС НК АО «ПКБ «РИО»,  
контакт. тел. +7(905) 289 4413, polkovnikovi@pkb-rio.com



**Рис. 1. Модель архитектуры HWN для системы управления движением судов порта Новороссийск**

RRM). Кроме того, пользователи сети HWN с перекрывающимися регионами имеют возможность подключения по нескольким каналам, поскольку пользовательские устройства оснащены несколькими радиоинтерфейсами. Предлагаемая модель архитектуры HWN для системы управления движением судов порта Новороссийск представлена на рис. 1.

HWN представляет собой интеграцию различных сетей RAT в зоне перекрытия, поддерживает приложения, требующие высокой пропускной способности, и удовлетворяет требованиям к высокой скорости и надежности передачи данных. В морской коммуникационной среде с разнородными коммуникационными технологиями поддержка технологий множественного радиодоступа multi-RATs имеет важное значение из-за жестких требований к QoS.

HWN состоит из сотовых систем пятого поколения (5G), четвертого поколения (4G), беспроводных локальных сетей (WLAN) на базе стандарта IEEE 802.11 и системы WNA VDES. Эти беспроводные сети отличаются скоростью передачи данных, охватом, пропускной способностью,

стоимостью и качеством обслуживания. Кроме того, пользовательские устройства являются мультимодальными и позволяют пользователям подключаться к нескольким сетям одновременно, так как могут эффективно использовать доступные ресурсы в гетерогенных беспроводных сетях и повышать качество обслуживания (QoS).

Сотовые сети 5G NR в значительной степени базируются на технологии агрегации носителей (CA), которая может значительно повысить скорость передачи данных [4]. Многообещающим способом предоставления большего объема спектра системам LTE-A является координация использования толерантности спектра, назначенного устаревшим RAT, и перераспределение его между системами LTE-A. [5].

Wi-Fi применим только на борту и вблизи берега (например, в гаванях) из-за его ограниченной дальности действия. WiMAX считается приемлемым вариантом для широкополосной морской связи на средние и большие расстояния, особенно если используются частоты ниже Гц, и теоретически способен обеспечивать скорость передачи данных больше 20 Мбит/с на расстояниях до 50–100 км.



Стандарты IEEE 802.11 и IEEE 802.16 [6] позволяют создавать беспроводные ячеистые сети (Wireless mesh network, WMN), представляющие собой коммуникационные сети, состоящие из радиоузлов, структурированных в виде ячеистой топологии, что является ключевой технологией для беспроводных сетей следующего поколения [7].

VDES сильно ограничена и по своему объему и функциям не совместима с существующими и широко используемыми транспортными протоколами на основе IP, таких как Transmission Control Protocol (TCP), User Datagram Protocol (UDP), Simple Network Management Protocol (SNMP), протокол безопасной передачи файлов (SFTP) или даже простым протоколом передачи электронной почты (SMTP), о есть в случае VDES прямая IP-связь невозможна и необходим шлюз (специальный выделенный сетевой узел), терминирующий VDES в наземные IP сети. Тем не менее использование VDES является необходимой составляющей современных морских HWAN в соответствии с требованиями ИМО, большой дальностью связи при приемлемой скорости передачи информации, например, телеметрии.

Из перечисленного видно, что различные сети HWAN имеют разные скорости передачи данных, зону покрытия и пропускную способность, что превращает простые проблемы с подключением в более сложную проблему управления радиоресурсами RRM. Кроме того, сети HWAN можно подключать по нескольким каналам, поскольку оснащены несколькими радиоинтерфейсами [8].

Доступные сети должны ранжироваться в порядке убывания на основе расчета общей полезности. Функция общей полезности должна быть основана на многокритериальной функции полезности (Multiplicative Exponential Weighting, MEW), где одним из критериев может служить SINR (Signal Interference + Noise Ratio, SNR)  $\geq$  SINR Threshold, или RSRP (Reference Signal Received Power), или RSRQ (Reference Signal Received Quality) для сетей четвертого и пятого поколений [9].

В аналоговой связи в качестве параметра качества чаще всего используется соотношение средней мощности сигнала и средней мощности шума SNR.

При цифровой связи символы передаются за определенное время  $T_s$ . Поэтому в цифровой связи чаще используется  $E_b/N_0$ , или нормализованный вариант соотношения сигнала и шума

$$SNR = \frac{S}{N} = \frac{E_b \cdot R_{bit}}{N_0 \cdot B_w}, \quad (1)$$

где  $E_b$  – энергия на бит, Вт·с;  $N_0$  – тепловой шум в полосе пропускания 1 Гц, Вт/Гц;  $R$  – скорость передачи данных в системе, бит/с;  $B_w$  – ширина полосы пропускания, Гц.

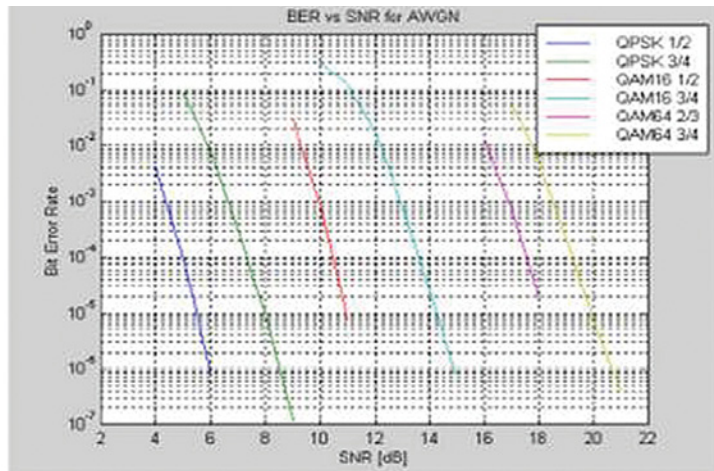


Рис. 2. Зависимости отношения SNR от битовых ошибок

Поскольку энергия – это мощность, умноженная на время, мощность принимаемого сигнала  $S$ , Вт, в цифровом канале связи зависит от энергии в битовом интервале  $E_b$ , Вт·с, в течение битового интервала времени  $T_{bit}$ , с, как

$$E_b = S \cdot T_{bit} = \frac{S}{R_{bit}}, \quad (2)$$

где  $R_{bit} = 1/T_{bit}$  – скорость передачи данных (количество битов, передаваемых каждую секунду).

Величина  $E_b/N_0$  равна отношению сигнал/шум, деленному на «общую» спектральную эффективность канала связи (бит/с)/Гц, где биты в данном контексте являются битами передаваемых данных, включая информацию об исправлении ошибок и другие служебные данные протокола:

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{S}{N} + B_w - R_{bit}. \quad (3)$$

Для цифровых систем связи критерием эффективности канала, определяющим качество сигнала, является отношение количество битовых ошибок (Bit Error Rate, BER) к общему числу переданных битов. BER напрямую связано с соотношением  $E_b/N_0$  и улучшается по мере увеличения этого соотношения, например,  $BER < 10^{-6}$  в каналах передачи данных  $C/N = 12$  дБ (QPSK) на входе демодулятора, т.е. соотношение сигнал/шум и BER зависят от  $C/N$  и метода модуляции. BER не выше некоторого допустимого уровня. На рис. 2 представлены зависимости отношения SNR от битовых ошибок для каждого типа модуляции [6].

Уравнение передачи Фрисса, включающее все дополнительные потери, определяет распределение мощности канала связи для системы связи, где каждый член может быть выражен в децибелах (дБ) в виде  $10\log_{10}(x)$  как

$$P_r = EIRP + G_{Rx} - Losses, \quad (4)$$

где  $P_r$  – мощность принимаемого сигнала, которая обычно называется мощностью, несущей сигнала  $S$ , измеряемая на входе маломощного усилителя приемника;  $G_{Rx}$  – усиление приемной антен-

ны, дБи;  $Losses$  – потери в системе связи;  $EIRP = P_t + G_{tx}$ , дБВт – эффективная изотропная излучаемая мощность;  $G_{tx}$  – усиление передающей антенны, дБи.

В предположении, что для базовой станции BS требуется минимальная мощность приема или чувствительность  $P_{rmin}$  (это соответствует минимально требуемому соотношению  $SNR_{rmin}$ ) от каждой абонентской станции SS для успешного приема сигнала, можно определить максимальную дальность связи для различных моделей каналов связи:

$$SNR_{min} = Pr_{min} - N_0 = P_t + G_{tx} + G_{Rx} - Losses - N_0; \quad (5)$$

$Losses$  для различных моделей каналов связи можно определить из выражений затухания, например, для модели Окамура–Хата – COST-231 Хата затухание

$$L = 46,3 + 33,9\lg(f) - 13,82\lg(h_t) + (44,9 - 6,55\lg(h_r))\lg(d) - a(h_r) + C, \quad (6)$$

где  $a(h_r)$  – функция терминального усиления, которая зависит от высоты антенны, рабочей частоты терминала и окружающей среды,  $C$  – коэффициент, который зависит от типа местности, на открытых территориях:

$$C = 4,78 \times (\lg(f))^2 + 18,33 \times \lg(f) - 40,94, \quad (7)$$

откуда можно определить максимальную дальность связи:

$$d = 10^{\left[ \frac{P_t + G_{tx} + G_{Rx} - 45,3 - 33,9(\lg(f) + 44,9 - 6,55\lg(h_r)) - C - L - N_0 - SNR_{min}}{13,82\lg(h_t) + a(h_r)} \right]} \rightarrow \leftarrow \quad (8)$$

Подобные преобразования можно произвести для всех моделей затухания в каналах связи.

Значение SNR для кодированной модуляции со скоростью передачи данных может быть получено с помощью выражения  $R_x = N_0 + SNR + 10\log(BWef) + Nf Implementation Loss, dBW,$  (9)



где  $SNR$  – требуемый уровень отношения сигнал/шум для данного вида модуляции, например, для 64QAM3/4  $SNR = 21$  дБ;  $N_0 = 10 \log(kT_0) = -144$  дБ (W/MHz) – Receiver Noise Floor спектральная плотность мощности теплового шума приемника,  $kT_0$  – закон равномерного распределения;  $N_f$  – значение собственного (внутреннего) шума приемника (noise figure), равное 8 дБ (IEEE 802.16e-2005); *Implementation Loss* – потери реализации, учитывающие неидеальность приемника, ошибки квантования, фазовый шум и др.;  $BW_{ef}$  – эффективная ширина спектра группового OFDM сигнала.

На основании проведенного анализа выполним моделирование LTE-A широкополосной связи в случае расположения BS на радиотехнических постах СУДС порта Новороссийск для различных техник модуляций и BER  $10^{-6}$ , ширине полосы радиоканала 20 МГц и усредненных характеристиках BS LTE радиостанций в программе «частотно-территориальное планирование подвижной радиосвязи RadioPlanner».

На рис. 3, а–в представлены зоны обслуживания BS LTE с различными модуляциями в диапазонах частот 900 и 2600 МГц. Обслуживание MASS в прибрежном плавании, оснащенных внешней ненаправленной антенной без технологии MIMO на самой скоростной модуляции 64 QAM, поддерживающей максимальную символьную скорость и соответствующую скорость передачи данных, на дальности до 25 км, 16 QAM – на дальности до 40–45 км.

Таким образом, дальность обслуживания безэкипажных судов обеспечивается полностью в зоне ответственности СУДС «Новороссийск» согласно требованиям ИМО.

Для успешного и полноценного развития широкополосной связи в зоне ответственности СУДС в связи с широким внедрением MASS необходимо учитывать все эти характеристики влияния морской среды при разработке модели распространения для точной оценки покрытия радиосвязью.

Наиболее эффективными технологиями можно считать 4G с использованием технологий частотной толерантности и 5G для навигации в ближней морской зоне и при швартовке судов в автономном режиме. Перечисленные технологии обеспечивают передачу всей необходимой телеметрической и видеoinформации с качеством не хуже 2К, этого достаточно для эффективного управления MASS [10].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. 5G multiRAT LTE-WiFi ultra-dense small cells: performance dynamics, architecture, and trends/ Galinina O., Pyattaev A., Andreev S., Dohler M. and Koucheryasy Y. // IEEE Journal on Selected Areas in Communications. – 2015. – №33(6). – P.1224–1240.

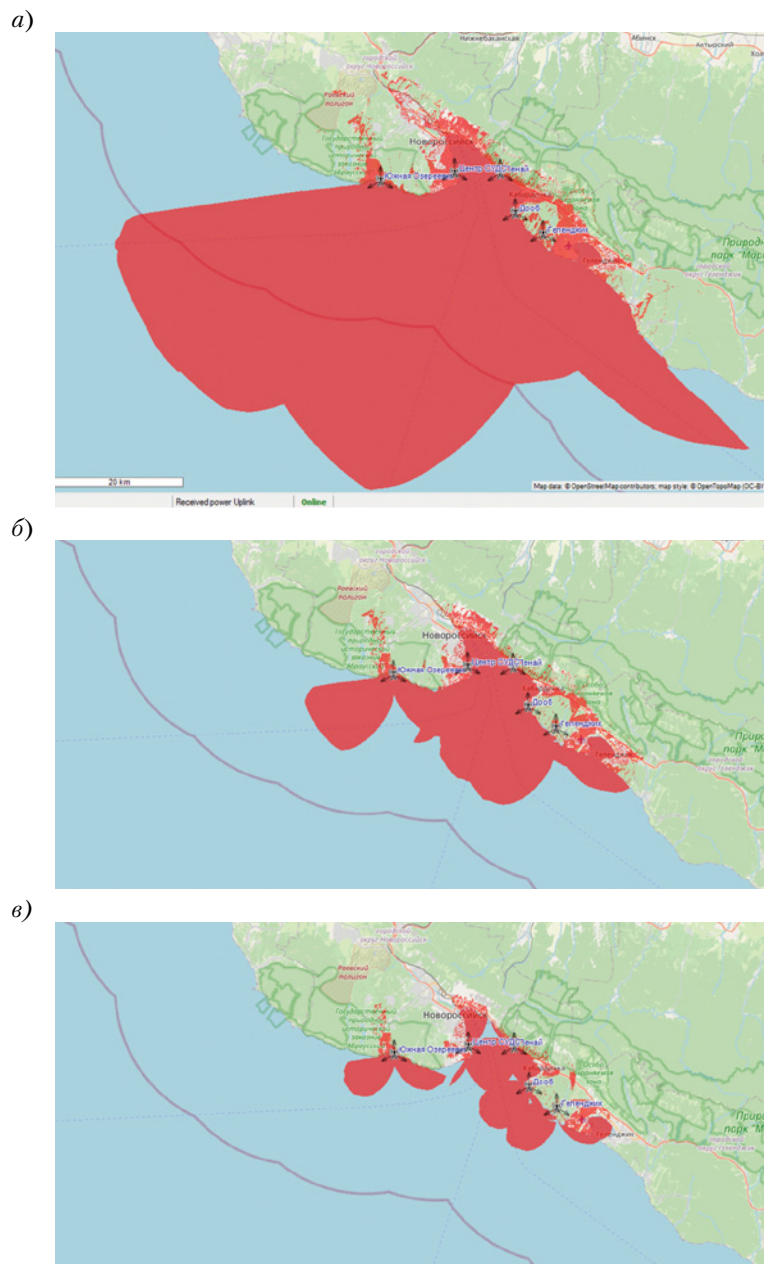


Рис. 3. Зона покрытия предлагаемыми BS LTE: а – на частоте 900 МГц, техника модуляции QAM 16 3/4; б – на частоте 2600, техника модуляции QAM 16 3/4; в – на частоте 2600, техника модуляции QAM 64 2/3

2. Multi-RAT enhanced Private Wireless Networks with Intent-Based Network Management Automation/Emami A., Frank H., He W., Bravalheri A. C., Nicolaescu A.-C., Li O., Falaki H., Yan S., Nejabati R., Simeonidou D. Institute of Electrical and Electronics Engineers. IEEE Globecom Workshops, 2023; GC Wkshps, 2023, p.1789–1794). – <https://doi.org/10.1109/GCWkshps58843.2023.10464742>
3. Aijaz A. Private 5G: The future of industrial wireless// IEEE Industrial Electronics Magazine. – 2020. – №14(4). – P.136–145.
4. Iwamura M. NGMN view on 5G architecture // IEEE 81st Vehicular Technology Conference (VTC Spring), 2015, p. 1–5.
5. Farooq Khan. LTE for 4G Mobile Broadband. Air Interface Technologies and Performance. – Cambridge University Press, 2009. – 492 p.
6. IEEE Std 802.16e-2005 and IEEE Std 802.16-2004/Cor 1-2005. Part 16: Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems. Amendment 2: Physical and Medium Access Control Layers for Combined Fixed and Mobile Operation in Licensed Bands. – IEEE, 28 February 2006.
7. Jennings A. Modern Maritime Communications. – Geneva, Switzerland, 2016, Dec. [online]. – Available: [https://www.itu.int/dms\\_pub/itu-r/md/15/wrs16/sp/R15-WRS16-SP-0026!!PDF-E.pdf](https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/md/15/wrs16/sp/R15-WRS16-SP-0026!!PDF-E.pdf).
8. Lees G. D. Handbook for Marine Radio Communication. – London, U.K.–Taylor Francis, 2017.
9. Buzenkov Igor I.; Pakshina Ekaterina R., Redkin Yuriy V., Tufanova Alina A. Modelling and optimization of radar coverage for controlling ship traffic in straits AIP. – Conf. Proc. 2024, №3183, 070001.
10. Pakshina Ekaterina, Popov A.N., Kolesnikov A.A. Channel model analysis for maritime wireless broadband communication systems for coastal a-navigation, CPAMCS-2024: Current Problems in Applied Mathematics and Computer Science. – P. 128 – 135. ■

**А**ктивное применение беспилотных летательных аппаратов (БЛА) с управлением по радиоканалу в ограниченном пространстве приводит к ситуациям, при которых возникают взаимные помехи непреднамеренного характера [1–3], так как сигналы управления большинства БЛА имеют близкую структуру [4, 5]. И для управления используют достаточно простые типы управляющих сигналов на основе частотной модуляции. Значительное расширение сферы использования БЛА требует обеспечения безопасности полетов [6, 7]. Поэтому исследование вопросов деструктивного влияния сигналов близкой структуры соседних БЛА, используемых для передачи команд управления [8], внесения ими взаимной информации в тракт приема, является актуальным и будет рассмотрен в настоящей статье.

### ОБЩИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

В относительно недорогих коммерческих БЛА для передачи/приема команд управления используют сигналы с частотной модуляцией [9]. Удобство такого подхода обусловлено простотой изготовления трактов приема и их низкой стоимостью. Однако простые решения, заложенные в тракты обработки приемных устройств БЛА, могут привести к возможному сбою работы при воздействии сигналов с близкой частотно-временной структурой. Данный вопрос достаточно подробно был рассмотрен в [4, 10]. Но в указанных работах основной акцент сделан на воздействие сторонних сигналов на тракты приема БЛА как помех, приводящих к их энергетическому подавлению.

Вместе с тем сигналы с близкой структурой могут рассматриваться как имитационные помехи [11], деструктивный характер которых проявляется в навязывании «ложной информации», приводящей к искажению правильных команд. Поэтому представляет интерес исследование количества взаимной информации, вносимой в канал управления, в зависимости от соотношения значений и показателей параметров полезного и мешающего сигналов.

Пусть на вход канала управления воздействует аддитивная смесь  $z(t)$ , состоящая из полезного сигнала  $s(t)$  и стороннего сигнала с близкой частотно-временной структурой  $n(t)$  [12]:

$$z(t) = s(t) + n(t). \quad (1)$$

Далее будем полагать, что сигналы  $s(t)$  и  $n(t)$  представляют собой независимые гауссовы процессы с дисперсиями  $\sigma_s^2$  и  $\sigma_n^2$ .

Тогда в соответствии с условием (1) имеем

$$\sigma_z^2 = \sigma_s^2 + \sigma_n^2. \quad (2)$$

И с учетом нормальности распределений  $s(t)$  и  $n(t)$  можно записать

# ОЦЕНКА ВЗАИМНОГО ДЕСТРУКТИВНОГО ВЛИЯНИЯ СИГНАЛОВ БЛИЗКОЙ СТРУКТУРЫ В КАНАЛАХ УПРАВЛЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ СИСТЕМ

*С.С. Дворников, канд. техн. наук, доцент кафедры,  
С.В. Дворников, д-р техн. наук, проф.,  
ГУАП и ВАС им. С.М. Будённого,  
контакт. тел. (812) 247 9400*

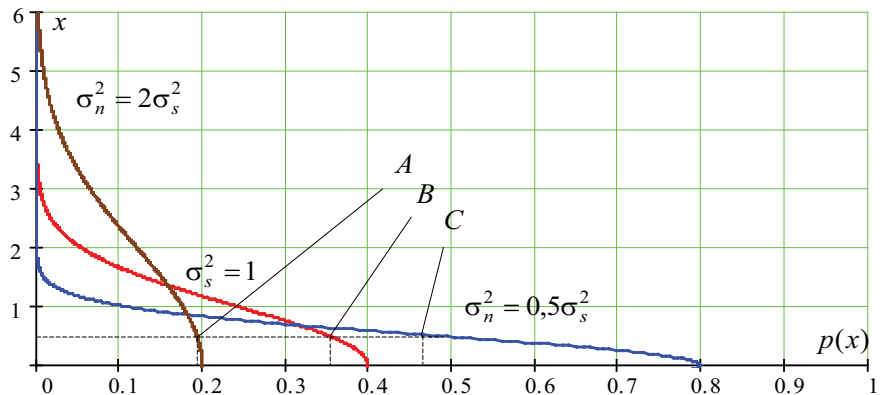


Рис. 1. Функция зависимости полной средней взаимной информации от параметров сигналов  $\sigma^2$

$$p_1(s) = \frac{1}{\sigma_s \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{s^2}{2\sigma_s^2}\right], \quad (3)$$

$$p_1(n) = \frac{1}{\sigma_n \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{n^2}{2\sigma_n^2}\right]. \quad (4)$$

Выражения (3) и (4) соответствуют условию центрированных значений  $s(t)$  и  $n(t)$ , что не всегда соответствует практике [13].

На рис. 1 приведены одномерные плотности распределения вероятности сигналов  $s(t)$  и  $n(t)$  на входе приемного тракта при условии  $\sigma_n^2 = 2\sigma_s^2$  и  $\sigma_n^2 = 0,5\sigma_s^2$ .

Распределения на рис. 1 построены при условии отсутствия отрицательных значений компонент входной реализации.

Представленный вид графиков удобен тем, что позволяет оценить вероятность проявления значений выборки при различной дисперсии. В качестве примера на рис 1 буквами *A*, *B* и *C* отмечены вероятности проявления входных реализаций с амплитудами  $x = 0,5$  при соответствующих дисперсиях. В результате имеем:

$$p_{\sigma_n^2=0,5}(x=0,5) = 0,193;$$

$$p_{\sigma_n^2=1}(x=0,5) = 0,352;$$

$$p_{\sigma_n^2=2}(x=0,5) = 0,484.$$

Поскольку на входе будет присутствовать аддитивная смесь, описываемая выражением (1), целесообразно рассмотреть условную плотность веро-

ятности проявления сигнала  $z(t)$  при известном значении полезного сигнала  $s(t)$ :

$$\begin{aligned} p_1(z|s) &= p_1(z-s) = \\ &= \frac{1}{\sigma_n \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(z-s)^2}{2\sigma_n^2}\right] = \\ &= \frac{1}{\sigma_n \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{n^2}{2\sigma_n^2}\right] = p_1(n). \end{aligned} \quad (5)$$

Тогда взаимную информацию между любыми входными значениями  $z(t)$  и  $s(t)$ , полагая, что  $z(t) = s(t) + n(t)$ , можно записать как

$$\begin{aligned} I(s; z) &= \log \frac{p_1(z|s)}{p_1(z)} = \frac{1}{\ln 2} \ln \left( \frac{p_1(z|s)}{p_1(z)} \right) = \\ &= \frac{1}{\ln 2} \ln \left( \frac{\sigma_z}{\sigma_n} \right) \exp\left[-\frac{n^2}{2\sigma_n^2} + \frac{z^2}{2(\sigma_s^2 + \sigma_n^2)}\right]. \end{aligned} \quad (6)$$

С учетом равенства (2) приведем (6) к следующему виду:

$$\begin{aligned} I(s; z) &= \frac{1}{\ln 2} \ln \left( \frac{\sqrt{\sigma_s^2 + \sigma_n^2}}{\sigma_n} \right) + \\ &+ \frac{1}{\ln 2} \left( -\frac{n^2}{2\sigma_n^2} + \frac{z^2}{2(\sigma_s^2 + \sigma_n^2)} \right). \end{aligned} \quad (7)$$

Далее, используя результаты преобразований, представленных в [14], получаем формулу для расчета полной средней взаимной информации для двух сигналов с близкой частотно-временной структурой:

$$\begin{aligned} I(S; Z) &= \log_2 \left( \frac{\sqrt{\sigma_s^2 + \sigma_n^2}}{\sigma_n} \right) = \\ &= \frac{1}{2} \log_2 \left( 1 + \frac{\sigma_s^2}{\sigma_n^2} \right). \end{aligned} \quad (8)$$

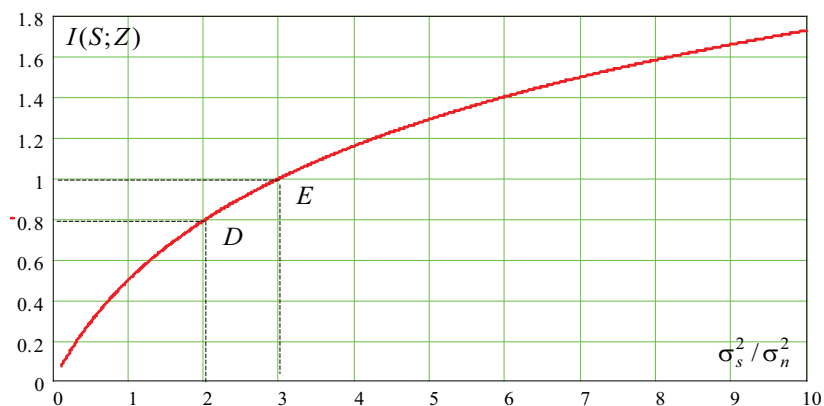


Рис. 2. Функции плотности распределения вероятности сигналов  $s(t)$  и  $n(t)$  при различных значениях  $\sigma^2$

Отметим, что результирующее выражение (8) представляет полную среднюю взаимную информацию для двух сигналов, выраженную в двоичных единицах.

### РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

В соответствии с результирующим выражением (8) при равенстве дисперсий сигналов  $s(t)$  и  $n(t)$ , т.е. при  $\sigma_s^2 = \sigma_n^2$ , взаимная информация будет равна  $I(S; Z) = 0,5$ . Такой вывод очевиден, поскольку энергетическое равенство сигналов с близкой структурой ведет к неопределенности принятия решения в канале управления. В интересах детализации зависимости полной средней взаимной информации от параметров сигналов будем полагать  $\sigma_n^2 = 1$ , а величину  $\sigma_s^2$  зададим в пределах  $[0,1; 10]$  (рис. 2).

Согласно результатам, представленным на рис. 2, двукратное превышение дисперсии (мощности) полезного сигнала по отношению к помехе, еще не гарантирует уверенный прием передаваемых команд управления, поскольку величина полной средней взаимной информации будет равно 0,8 (точка D на графике рис. 2). При трехкратном превышении дисперсии полезного сигнала над помехой значение  $I(S; Z)$  становится равным 1. Заметим, что дальнейшее повышение мощности полезного сигнала уже не приводит к столь существенному возрастанию взаимной информации, что позволят соотношение  $\sigma_s^2 = 3\sigma_n^2$  рассматривать как рациональное для решения задачи управления БЛА в условиях взаимных помех с близкой частотно-временной структурой.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты проведенного исследования показали, что в условиях взаимных помех с близкой частотно-временной структурой сложно обеспечить эффективное управление БЛА без специальных мер по защите каналов.

Научная новизна теоретического исследования состоит в получении графи-

ческих зависимостей, характеризующих полную среднюю взаимную информацию для двух сигналов с близкой структурой при различных соотношениях их дисперсий и нормальности их распределений.

Практическая значимость результатов заключается в установлении энергетических соотношений между полезным и мешающим сигналами, при которых обеспечивается требуемая величина средней взаимной информации.

Дальнейшие исследования авторы связывают с возможностью компенсации взаимных помех в соответствии с результатами, полученными в [15–17].

### ЛИТЕРАТУРА

1. Солодун К.Д. Мерцающие помехи при индивидуально-взаимной защите авиационной техники // Радиотехника. – 2023. – Т. 87. – № 10. – С. 28–35. – DOI 10.18127/j00338486-202310-03. – EDN SFTXIX..
2. Снижение уровня взаимных непреднамеренных помех при совместной работе корабельных гидроакустических станций / М.Я. Андреев, С.Н. Охрименко, В.Н. Паршуков [и др.] // Датчики и системы. – 2020. – № 6(248). – С. 62–68. – DOI 10.25728/datsys.2020.6.10.
3. Дворников С.В., Марков Е.В., Маноши Э.А. Повышение помехозащищенности передатчика дециметровых радиоканалов в условиях непреднамеренных помех // Т-Сотм: Телекоммуникации и транспорт. – 2021. – Т. 15. – № 6. – С. 4–9. – DOI 10.36724/2072-8735-2021-15-6-4-9. – EDN KHPWMU.
4. Дворников С.В., Иванов Р.В. Предложения по оценке защищенности радиоканалов от структурных помех // Тр. учебных заведений связи. – 2016. – Т. 2. – № 2. – С. 44–48. – EDN XSCXLR.
5. Дворников С.В., Дворников С.С., Жезлов К.Д. Проактивный контроль пригодности радиоканалов в режиме ПППЧ // Т-Сотм: Телек-20. – 2022. – № 11 – DOI 10.36724/2072-8735-2022-16-11-15-20. – EDN YLWCFH.
6. Бестугин А.Р., Киришина И.А., Саута О.И. Повышение точности и надежности навигационной информации для системы автоматического управления БЛА // Наукоемкие технологии. – 2021. – Т. 2. – № 8. – С. 8–15. – DOI 10.18127/j19998465-

202108-02. – EDN OZGPCI.

7. Дворников С.В., Симонов А.Н., Богдановский С.В. Способ позиционирования беспилотного летательного аппарата на основе поляризационно-адаптивной обработки радиосигналов от реперных станций // Телекоммуникации. – 2017. – № 8. – С. 36–42. – EDN ZDNGYN.
8. Дворников С.В., Симонов А.Н., Богдановский С.В. Способ поляризационно-адаптивной обработки радиоизлучений в определении местоположения радиоэлектронных средств с беспилотных летательных аппаратов // Вопросы радиоэлектроники. – Сер.: Техника телевидения. – 2017. – № 3. – С. 62–69. – EDN ZTCAAX.
9. Титков О.С. Индийские национальные программы БЛА // Авиационные системы. – 2021. – № 4. – С. 51–56. – EDN HDXQIC.
10. Дворников, С.В., Крячко А.Ф., Пшеничников А.В. Моделирование радиотехнических систем в конфликтных ситуациях когнитивного характера // Волновая электроника и инфокоммуникационные системы: Сб. ст. XXII Междунар. науч. конф. – В 2-х ч. – Санкт-Петербург, 3–7 июня 2019 г. – Ч. 2. – СПб.: Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, 2019. – С. 84–89. – EDN GLQVYA.
11. Дворников С.В., Овчинников Г.Р., Балыков А.А. Программный симулятор ионосферного радиоканала дециметрового диапазона, // Информация и космос. – 2019. – № 3. – С. 6–12. – EDN CGVGJ.
12. Дворников С.В., Дворников С.С., Пшеничников А.В. Аппарат анализа частотного ресурса для режима псевдослучайной перестройки рабочей частоты // Информационно-управляющие системы. – 2019. – № 4(101). – С. 62–68. – DOI 10.31799/1684-8853-2019-4-62-68. – EDN VUYUFO.
13. Дворников, С.В. Билинейные распределения с пониженным уровнем интерференционного фона в частотно-временном пространстве (продолжение обзора) // Тр. учебных заведений связи. – 2018. – Т. 4. – № 2. – С. 69–81. – EDN XRVQDR.
14. Тихонов В.И. Статистическая радиотехника. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1962. – 624 с.
15. Дворников С.В., Жезлов К.Д. Проактивный контроль пригодности радиоканалов в режиме ПППЧ, // Т-Сотм: Телекоммуникации и транспорт. – 2022. – Т. 16. – № 11. – С. 15–20. – DOI 10.36724/2072-8735-2022-16-11-15-20. – EDN YLWCFH.
16. Дворников С.В., Дворников С.С., Марков Е.В. Модифицированные импульсные последовательности на основе кодов Баркера // Тр. учебных заведений связи. – 2022. – Т. 8. – № 1. – С. 8–14. – DOI 10.31854/1813-324X-2022-8-1-8-14. – EDN JXQZTD.
17. Агиевич С.Н., Борисов В.В., Дворников С.В., Луценко С.А. Предложения по оценке эффективности преднамеренных помех элементам синхронизации сигналов спутниковых систем // Вопросы оборонной техники. – Сер. 16: Технические средства противодействия терроризму. – 2019. – № 5-6(131–132). – С. 114–120. – EDN FWMVYN. ■



Безопасность мореплавания – одна из ключевых задач обеспечения стабильности и развития мировой экономики с учетом глобальной роли морских перевозок в транспортировке грузов и людей. Современные технологические достижения открывают новые возможности для повышения безопасности мореплавания, а цифровизация, автоматизация процессов и развитие искусственного интеллекта – перспективы для минимизации рисков, связанных с человеческим фактором, сложными метеоусловиями и техническими отказами. Однако внедрение инновационных решений сопряжено с рядом трудностей, включая необходимость финансовых затрат и подготовки квалифицированных специалистов, а также угрозы кибербезопасности

Цель данной работы – анализ текущего состояния и перспектив внедрения современных технологий в обеспечение безопасности мореплавания. В рамках исследования рассматриваются три ключевых аспекта: технологии предотвращения навигационных аварий, системы мониторинга и управления состоянием судов, а также перспективы применения инновационных решений. Особое внимание уделено мировому опыту применительно к российским реалиям и разработке рекомендаций для успешного внедрения передовых технологий в отечественном судоходстве.

В статье рассматриваются как положительные, так и отрицательные аспекты использования инновационных технологий, поскольку это позволяет сформировать целостное представление о текущем состоянии и дальнейших перспективах.

### ТЕХНОЛОГИИ, НАПРАВЛЕННЫЕ НА ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ НАВИГАЦИОННЫХ АВАРИЙ

Современное мореплавание в России сталкивается с рядом вызовов, связанных с обеспечением безопасности, включая сложность маршрутов, динамические погодные условия и интенсивное движение судов в районах, таких как Балтийское и Чёрное моря, а также Северный морской путь (далее – СМП). Для минимизации рисков и предотвращения навигационных аварий в российском морском секторе активно внедряются передовые цифровые технологии.

Электронные навигационные системы, такие как электронные картографические и информационные системы, активно используются в российском судоходстве. Они обеспечивают:

- интеграцию данных: объединение картографической информации от российских гидрографических служб, данных глобальной нави-

## СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ МОРЕПЛАВАНИЯ

*М. А. Луциков, студент магистратуры, СПбГМТУ, madlybaker324@gmail.com*

гационной спутниковой системы (далее – ГЛОНАСС) и сенсорных систем для создания актуальной и точной картины окружающей обстановки;

- автоматизацию процессов: возможность автоматической прокладки маршрута и расчета оптимального пути с учетом ограничений, особенно важных для сложных ледовых условий на СМП;
- снижение человеческого фактора: уменьшение вероятности ошибок благодаря автоматическим предупреждениям о возможных угрозах, таких как мели или зоны интенсивного судоходства, характерные для узких проливов и удобному интерфейсу.

Автоматизированные идентификационные системы (далее – АИС) широко используются в России для координации движения судов. Они предоставляют информацию о местоположении, скорости и направлении движения других судов, что значительно снижает вероятность столкновений, особенно в портах и на загруженных маршрутах.

Немаловажную роль в предотвращении аварий играет прогнозирование погодных условий, особенно на маршрутах по СМП. Современные спутниковые системы, такие как «Арктика-М» и российские спутники, предоставляют точные данные о погоде, в том числе о скорости и направлении ветра, высоте волн и ледовых условиях в арктических регионах.

Эти данные интегрируются с данными навигационных систем судов, что позволяет оперативно корректировать маршрут с учетом изменений метеоусловий. Это особенно важно для ледокольных караванов и судов, перевозящих грузы по СМП.

Автономные и полуавтономные системы управления активно развиваются и в России. Они включают в себя системы предотвращения столкновений, автопилоты нового поколения и полностью автономные суда.

Автопилоты нового поколения обеспечивают точное удержание курса, учитывая ветер, течение и ледовые условия. Такие технологии особенно важны для работы в сложных арктических регионах.

В основе систем предотвращения столкновений используются данные АИС, радары и камеры. Они автома-

тически оценивают риск столкновения и предлагают корректирующие действия. Подобные системы уже применяются на российских судах, работающих в условиях высокой загруженности портов.

Проекты автономных судов, например разработанные Центральным научно-исследовательским институтом морского флота (АО «ЦНИИМФ»), показывают потенциал таких технологий для обеспечения безопасности судоходства. В частности, автономные суда планируется использовать на маршрутах СМП.

Такие технологии позволяют повысить точность судовождения, минимизировать влияние человеческого фактора и оперативно реагировать на изменения окружающей среды, однако для раскрытия потенциала требуется дальнейшее совершенствование этих технологий и разработка стандартов.

### ТЕХНОЛОГИИ МОНИТОРИНГА И УПРАВЛЕНИЯ СОСТОЯНИЕМ СУДОВ

Эффективное управление состоянием судов является ключевым элементом обеспечения их безопасности, особенно при эксплуатации на сложных маршрутах, в том числе по СМП. В России активно внедряются современные технологии, позволяющие отслеживать техническое состояние судов и оперативно предотвращать возможные неисправности.

Системы дистанционного мониторинга стали неотъемлемой частью современного судоходства. В российской практике они активно применяются для отслеживания состояния оборудования. Это системы, интегрированные с датчиками, предоставляющие информацию о температуре, давлении, уровне вибраций и других параметрах в режиме реального времени.

Также системы дистанционного мониторинга используются для прогнозирования технических отказов и централизованного управления. С помощью анализа данных системы позволяют заранее выявить возможные проблемы, такие как износ двигателей или необходимость замены определенных узлов, а при работе централизованного управления информация поступает в диспетчерские центры, где операторы могут принимать решения о корректирующих действиях.

Современные технологии предотвращения аварийных ситуаций направлены на анализ потенциальных рисков и снижение их вероятности. В России такие системы:

- используют искусственный интеллект для анализа больших массивов данных, таких как история эксплуатационных параметров судов, погодные условия и информация о маршрутах;
- судовые автоматизированные системы оповещения, такие как детекторы дыма, газоанализаторы и системы пожарной сигнализации, интегрированы с общими системами управления для быстрого реагирования.

Стоит отметить, что использование датчиков и автоматизированных систем контроля позволяет вести постоянный мониторинг критически важных параметров судов. В России наиболее востребованы тепловизоры для мониторинга температуры двигателей и предотвращения перегрева и газоанализаторы для контроля состава воздуха в машинных отделениях и жилых зонах, что особенно важно для судов, перевозящих опасные грузы.

Технологии мониторинга и управления состоянием судов позволяют предотвратить аварийные ситуации, снизить затраты на ремонт и минимизировать простой судов.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ВНЕДРЕНИЯ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Внедрение инновационных технологий открывает большие перспективы для повышения безопасности и эффективности мореплавания. Однако этот процесс сопряжен с рядом трудностей, которые необходимо учитывать.

### Позитивные аспекты данного процесса:

1. Повышение безопасности: автоматизация навигационных процессов, дистанционный мониторинг и использование искусственного интеллекта позволяют минимизировать человеческий фактор и оперативно реагировать на потенциальные угрозы.

2. Экономическая эффективность: оптимизация маршрутов и управление состоянием судов снижает расход топлива и издержки на ремонт.

3. Развитие Арктики: технологии, такие как автономные суда и системы ледовой разведки, способствуют безопасному освоению СМП.

4. Сохранение экологии: современные системы мониторинга предотвращают разливы нефти и других загрязнений, минимизируя ущерб для окружающей среды.

### Негативные аспекты:

1. Киберугрозы: цифровизация делает суда уязвимыми для кибератак, что

может привести к сбоям в навигации или управлении.

2. Высокие затраты: разработка и внедрение современных систем требует значительных финансовых вложений, что может быть недоступно для ряда доходных компаний.

3. Проблемы интеграции: сложность адаптации новых технологий к существующим системам, особенно на судах старого поколения.

4. Необходимость подготовки кадров: для успешного использования инновационных технологий требуются экипажи судов и персонал береговых служб, обладающие высокой квалификацией.

Для максимального использования потенциала инновационных технологий в России необходимо усилить кибербезопасность морских систем, разработать национальные стандарты и протоколы защиты, развивать государственно-частное партнерство для финансирования внедрения новых технологий, организовывать программы обучения и переподготовки специалистов, чтобы подготовить их к работе с инновационными системами, а также поддерживать отечественных производителей оборудования, чтобы снизить зависимость от иностранных поступлений и стоимость внедрения.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Современные технологии становятся основой обеспечения безопасности мореплавания, прежде всего снижения аварийности, улучшения эксплуатационных характеристик судов и минимизации воздействия на окружающую среду. Внедрение электронных навигационных систем, автоматизированного мониторинга и управления состоянием судов, а также перспективных инновационных технологий позволяет эффективно решать актуальные задачи в сфере мореплавания, включая освоение сложных маршрутов, таких как Северный морской путь.

Особое внимание уделяется внедрению систем, интегрированных с российскими спутниковыми навигационными системами, такими как ГЛОНАСС, что обеспечивает высокую точность и надежность работы в сложных условиях Арктики. Эти технологии способствуют снижению аварийности, увеличению грузооборота и повышению экологической безопасности судоходства.

Перспективы использования цифровых технологий в российском мореплавании значительны, что подтверждает настоящее исследование. В будущем ожидается рост доли автономных судов, развитие систем искусственного интеллекта и интернета вещей, что позволит повысить безопасность и экономическую эффективность отрасли. В свою оче-

редь цифровизация судоходства открывает новые возможности для освоения Арктики, что является стратегически важным направлением развития России.

Таким образом, успешное внедрение и развитие современных технологий в сфере мореплавания – ключевой фактор повышения конкурентоспособности страны, обеспечения ее безопасности и экологической устойчивости в современных условиях.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Прикладной потребительский центр ГЛОНАСС/Информационно-аналитический центр координатно-временного и навигационного обеспечения – [Электронный ресурс]. URL: <https://glonass-iac.ru/> (дата обращения: 10.12.2024)
2. Центральный научно-исследовательский и проектно-Конструкторский институт Морского флота – [Электронный ресурс]. URL: <https://www.cniimf.ru/> (дата обращения: 10.12.2024).
3. Автоматическая идентификационная система – Википедия: свободная энциклопедия [Электронный ресурс] URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D1%80%D0%BA%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0-%D0%9C](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%B2%D1%82%D0%B7%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F_%D0%B8%D0%B4%D0%B5%D0%BD%D1%82%D0%B8%D1%84%D0%B8%D0%BA%D0%B0%D1%86%D0%B8%D0%BE%D0%BD%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D1%81%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BC%D0%B0) (дата обращения: 10.12.2024).
4. Арктика-М – [Электронный ресурс] URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D1%80%D0%BA%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0-%D0%9C> (дата обращения: 10.12.2024).
5. Современные технологии и технические средства для повышения уровня безопасности морских и речных перевозок. – [Электронный ресурс] URL: <https://www.karneyev.com/stati/sovremennye-tehnologii-i-tehnicheskie-sredstva-dlya-povysheniya-urovnya-bezopasnosti-morskikh-i-re/> (дата обращения: 10.12.2024).
6. *Бойко Н.И.* Современные технологии в системе управления движением судов в рамках концепции e-навигации: мировой опыт и региональные // Инновации в науке – [Электронный ресурс] URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennye-tehnologii-v-sisteme-upravleniya-dvizheniem-sudov-v-ramkah-kontseptsii-e-navigatsii-mirovyy-opyt-i-regionalnye/viewer> (дата обращения: 10.12.2024).
7. Актуальные вопросы обеспечения безопасности мореплавания – [Электронный ресурс] URL: <https://omega.niir.ru/2022/03/01/aktualnye-voprosy-obespecheniya-bezopasnosti-moreplavaniya/> (дата обращения: 10.12.2024).
8. Современные навигационные решения для безопасности мореплавания – [Электронный ресурс] URL: [https://www.korabel.ru/news/comments/sovremennye\\_navigacionnye\\_resheniya\\_dlya\\_bezopasnosti\\_moreplavaniya.html](https://www.korabel.ru/news/comments/sovremennye_navigacionnye_resheniya_dlya_bezopasnosti_moreplavaniya.html) (дата обращения: 10.12.2024).
9. Современные навигационные системы и комплексы для судовождения // Морские вести России – [Электронный ресурс] URL: <https://morvesti.ru/analitika/1692/80732/> (дата обращения: 10.12.2024).
10. Применение цифровых морских информационных систем для обеспечения безопасности мореплавания на Русском Севере – Connect-wit – [Электронный ресурс] URL: <https://www.connect-wit.ru/primenenie-tsifrovyyh-morskikh-informatsionnyh-sistem-dlya-obespecheniya-bezopasnosti-moreplavaniya-na-russkom-severe.html> (дата обращения: 10.12.2024). ■



## 110 ЛЕТ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ КОНТР-АДМИРАЛА З.М. АРВАНОВА

*П.А. Васильев, сотрудник  
АО «Северное проектно-конструкторское бюро»,  
контакт. тел. (812) 702 3005*

Так уж получилось, что юбилейный год нашей Победы над нацизмом совпал с 110-й годовщиной со дня рождения контр-адмирала Зармаира Мамиконовича Арванова.

З. М. Арванов более двадцати лет проработал в Северном ПКБ, имея за плечами богатый опыт боевой и повседневной службы.

Родился он 15 апреля 1915 г. в Тифлисе. В 1932–1933 гг. работал в инструментальном цехе Тифлисского паровозоремонтного завода им. Сталина. В 1933 г. по путевке Закавказского крайкома комсомола направлен в Ленинградское высшее военно-морское училище им. М. В. Фрунзе. Окончив его в 1938 г. по первому разряду по специальности минер-подводник, новоиспеченный лейтенант Арванов направлен командиром торпедной группы на подводную лодку С-1 в Кронштадт.

В декабре 1938 г. лейтенант Арванов переходит на должность командира БЧ-2,3 лодки К-2. В начале 1940 г. эта подводная лодка, на которой он служил по июнь 1942 г., была переведена по Беломоро-Балтийскому каналу на Северный флот. 19 июля 1942 г. уже капитан-лейтенант З. М. Арванов назначают старшим помощником командира прославленной лодки К-21 (командир – Н. А. Лунин).

В декабре 1943 г. он вступил в командование этой подводной лодкой. На его счету – участие в 13 боевых походах, в том числе в семи боевых походах на К-21. Он был участником потопления 14 судов противника, участвовал в семи минных постановках у берегов Северной Норвегии.

Зармаир Мамиконович вошел в историю нашего флота как родоначальник одной из флотских традиций – отмечать победы холостым выстрелом с борта подводной лодки при возвращении в базу в знак успешной атаки врага.

Арванов рассказывал: «Это был первый выход подводной лодки К-2 в боевой поход. Поэтому на борту присутствовал командир 1-го дивизиона бригады подводных лодок М. Гаджиев. Он поддерживал работу командира ПЛ В. Уткина.

Еще в базе я видел, как наши союзники – англичане, возвращаясь с победами, вывешивали перевернутые немецкие флаги. За нас очень обидно. Поэтому, как представился случай, я обратился к старшему на борту М. Гаджиеву. Сначала он отказал. Но при открытии боновых заграждений при входе в нашу базу я все-таки получил от него «Добро». Быстро зарядив орудие прогревочным патроном, расчет произвел выстрел, который распугал чаек и создал переполох на пирсе. Среди встречающих был командующий Северным флотом А. Головкин (уже была



**З. М. Арванов**

получена радиограмма о потоплении вражеского транспорта артогнем). На его вопрос о причине выстрела М. Гаджиев только сказал: «Обращайтесь к лейтенанту». Выслушав мои объяснения, командующий ответил: «Примите от моего имени жареного поросенка». Так родилась традиция».

За этот боевой поход лейтенант Арванов был награжден первым орденом – «Красное Знамя».

В июне 1945 г. З. М. Арванов был переведен на Краснознаменный Балтийский флот в специальную команду по приемке трофейных подводных лодок. И с 16 декабря 1945 г. по июнь 1951 г. он занимал должность командира трофейной подводной лодки XXI серии Б-29.



**Ветераны-подводники**

Затем назначен заместителем начальника штаба дивизии подводных лодок, в феврале 1953 г. помощником начальника штаба КБФ, а в июне того же года начальником Учебного отряда КБФ.

7 мая 1960 г. З. М. Арванову было присвоено звание контр-адмирал. В ноябре 1961 г. назначен первым заместителем начальника Ленинградского высшего военно-морского инженерного училища им. Ф. Э. Дзержинского, где он воспитал целое поколение военных моряков. В марте 1963 г. по личной просьбе зачислен в резерв Главнокомандующего ВМФ, а 25 мая уволен в запас по болезни. В 1963–1985 гг. З. М. Арванов работал в Северном проектно-конструкторском бюро Министерства судостроительной промышленности, а с 1985 по 1988 г. трудился на общественных началах. Вел активную работу в Общероссийском совете ветеранов-подводников.

З. М. Арванов – главный идеолог и организатор музея Краснознаменной ПЛ К-21 в Североморске.

В годы войны награжден орденами: «Нахимов» 2-й степени, Боевого «Красного Знамени», «Красной Звезды», медалями «За боевые заслуги», «За оборону Советского Заполярья», «За Победу над Германией в Великой Отечественной войне 1941–1945 гг.».

После войны награжден орденами Боевого «Красного Знамени», «Отечественной войны» 1-й степени, «Красной Звезды»; медалями «За доблестный труд», «В ознаменование 100-летия со дня рождения В. И. Ленина» и юбилейными.

1 февраля 1997 г. З. М. Арванов скончался. Похоронен на Богословском кладбище в Санкт-Петербурге. ■



**В** 1943 г. после прорыва блокады Ленинграда и организации железнодорожного сообщения с Большой землей Ладожская военная флотилия смогла высвободить часть сил и средств для освобождения островов и побережья Ладожского озера, которое предшествовало последующему освобождению Ленинградской области и Карелии от финских и немецко-фашистских захватчиков. Однако, прежде чем приступить к проведению десантных операций, необходимо было провести тщательную разведку мест высадки десантов. Разведка с надводных кораблей, авиаразведка, действия разведгрупп не могли в полной мере выявить все элементы противодесантной обороны противника. Поэтому возникла необходимость длительного и незаметного для неприятеля выявления всей системы обороны. Это было можно сделать только с подводных лодок.

14 мая 1943 г. по предложению командования Краснознаменного Балтийского флота (КБФ) наркомом ВМФ адмиралом Н. Г. Кузнецовым было принято решение «О переводе подводных лодок КБФ «М-77» и «М-79» на Ладожское озеро». В данном документе указывалось, что в целях разведки обстановки в северной части Ладожского озера разрешить Военному совету (ВС) КБФ перевезти эти подводные лодки по железной дороге из Ленинграда на Ладожское озеро. Организация перевозки возлагалась на ВС КБФ [1].

В июне–июле 1943 г. подводные лодки «М-77» (командир – капитан-лейтенант И. М. Татарин) и «М-79» (командир – старший лейтенант А. А. Ключин) 5-го дивизиона Бригады подводных лодок КБФ по железной дороге были доставлены на Ладожское озеро и спущены по специально построенному слипу на воду (рис. 1, рис. 2). Всего с 5 августа по 1 декабря 1943 г. ими было совершено 12 боевых выходов, при этом все поставленные задачи выполнены [2]. Подводная лодка «М-77» совершила семь боевых походов: с 5 по 8 и с 17 по 24 августа, с 17 по 23 сентября; с 4 по 7 октября, с 10 по 14 октября; с 3 по 8 ноября, с 17 по 24 ноября [3]; лодка «М-79» – пять: 29 сентября, с 9 по 11 октября, с 21 по 24 октября; с 17 по 24 ноября, с 26 ноября по 1 декабря [4].

Из общего количества выходов три были связаны с высадкой и съемкой разведгрупп. В результате проведенных разведывательных походов подводных лодок были значительно расширены сведения о составе сил противника, их базировании, системе дозоров, режиме плавания, системе береговой обороны и системе наблюдения и связи (СНиС) на побережье и островах Ладожского озера [5] (рис. 3).

## ПОДВОДНЫЕ ЛОДКИ КБФ НА ЛАДОГЕ В 1943-1944 ГГ.

**В. Н. Половинкин**, д-р техн. наук, проф., заслуженный деятель науки РФ, науч. руководитель ФГУП «КГНЦ»,

**С. В. Федюлов**, д-р истор. наук, доцент, проф. ВКА им. А. Ф. Можайского, действительный член Академии военных наук,

**А. Н. Конеев**, канд. воен. наук, доцент ВУНЦ ВМФ «ВМА им. Н. Г. Кузнецова», контакт. тел. (812) 347 9604

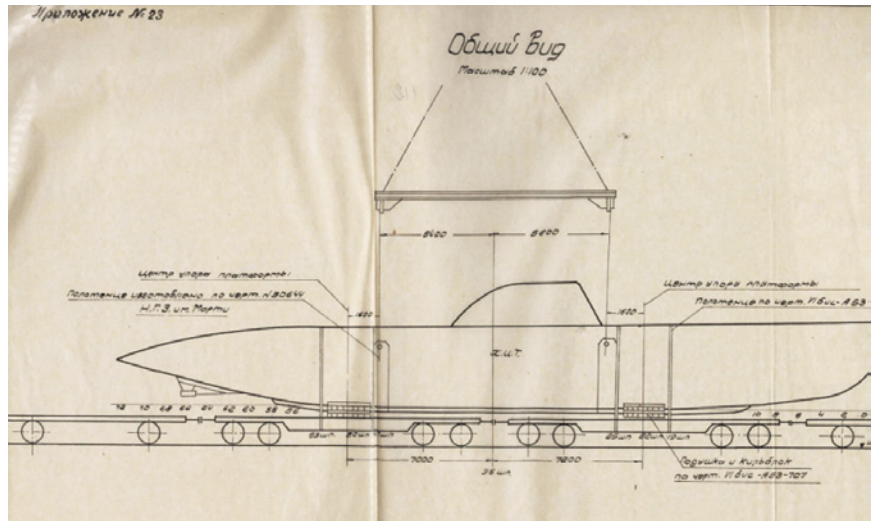


Рис. 1. Размещение подводной лодки на железнодорожной платформе [12]

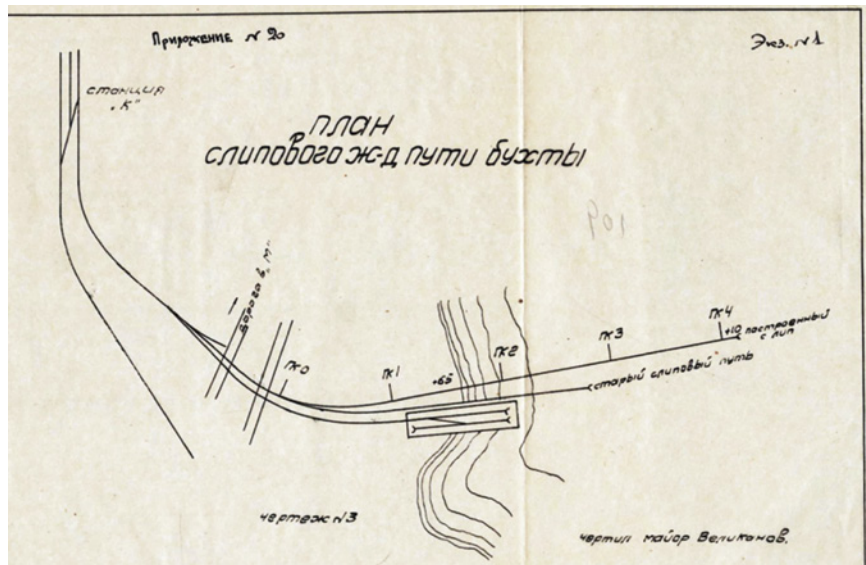


Рис. 2. План слипового железнодорожного пути для спуска подводных лодок в Ладожское озеро [13]



Рис. 3. Подводная лодка «М-79» на Ладожском озере [14]



С началом навигации 1944 г. подводная лодка «М-79» уже не могла принимать участия в боевых действиях в связи с изношенностью механизмов. Это объяснялось тем, что подводные лодки «М-77» и «М-79» были первенцами отечественного судостроения и к началу войны их возможности плавания и погружения на глубины до 30 м были уже ограничены из-за технического, да и морального износа. К тому же подводная лодка «М-79» всю зиму 1942/1943 г. простояла на Балтийском заводе в качестве электростанции: подавала электроэнергию в цеха по 12–14 часов в сутки [6] (рис. 4).

23 апреля 1944 г. командующий Ладужской военной флотилией контр-адмирал В. С. Чероков издал оперативную директиву № 1/ОП, в соответствии с которой командиру подводной лодки «М-77» предписывалось проводить периодическую разведку на подходах к базам и коммуникациям противника по особым заданиям [7]. В 1944 г. подводной лодкой «М-77» было совершено пять боевых походов: с 5 по 6, с 7 по 8, с 17 по 20 и с 23 по 26 июля, а также со 2 по 9 августа [8].

19 июня 1944 г., после полного снятия блокады Ленинграда, по Неве на Ладужское озеро были дополнительно переведены еще три подводные лодки 5-го дивизиона Бригады подводных лодок КБФ: «М-90» (командир – капитан-лейтенант Ю. С. Руссин), «М-96» (командир – капитан-лейтенант Н. И. Карташов), «М-102» (командир – капитан-лейтенант Н. С. Лесковой). В это время шла активная подготовка Ладужской военной флотилии к Тулоксинской десантной операции, к которой и были привлечены прибывшие лодки. Так, командир подводной лодки «М-90» капитан-лейтенант Ю. С. Руссин получил следующую боевую задачу: перед высадкой десанта разведать восточное побережье на участке от устья р. Олонка до устья р. Видлица, имея промежуточным пунктом устье р. Тулокса. 20 июня 1944 г. лодка вышла на разведку из Новой Ладоги. Командиру удалось точно вскрыть все элементы противодесантной обороны. Это была действительно сильно укрепленная прибрежная полоса, с хорошо продуманной системой огневых точек и наблюдательных постов, возвышающихся над деревьями [9].

21 июня 1944 г. подводная лодка «М-90», выполнив боевую задачу, вернулась в Новую Ладогу [10]. По прибытии на базу и после доклада командующему КБФ капитан-лейтенант Ю. С. Руссин всю информацию о про-

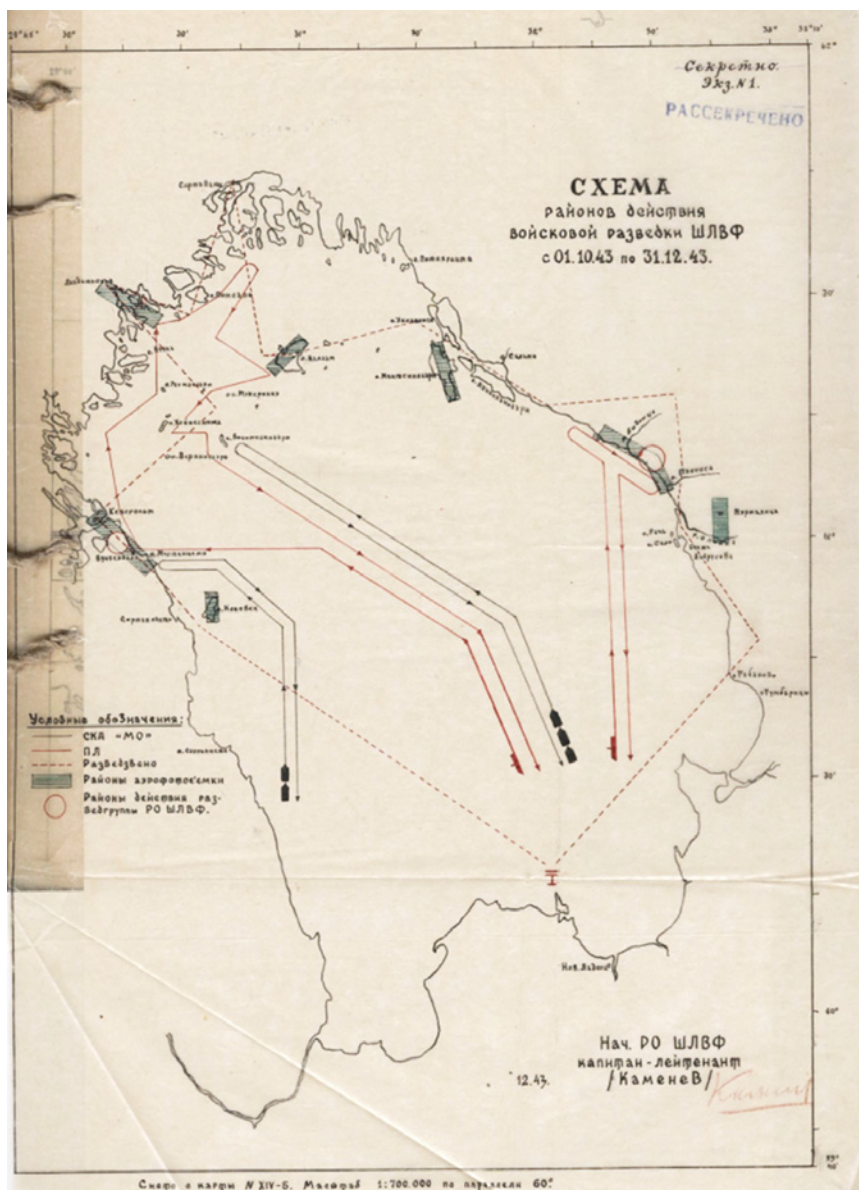


Рис. 4. Схема районов действия войсковой разведки штаба Ладужской военной флотилии с 1.10 по 31.12.1943 г. [15]



Рис. 5. «Щ-310» на Ладужском озере, лето 1944 г. [17]

тивнике сообщил командиру 70-й Отдельной морской стрелковой бригады подполковнику А. В. Блаку – командиру десанта, который очень скрупулезно изучил ее. 23 июня 1944 г. подводные лодки «М-96» и «М-102» вышли из Новой Ладogi на заранее определенные позиции для прикрытия высадки десанта [11]. Тулоксинская десантная операция началась 24 июня 1944 г. и была проведена успешно с самыми минимальными потерями.

После участия в боевых действиях подводные лодки «М-77», «М-90», «М-96» и «М-102» приступили к плановой боевой подготовке. С этой же целью 20 июля 1944 г. на Ладожское озеро по пути, пройденному подводными лодками 5-го дивизиона, прибыли лодки «Щ-307» (командир – капитан-лейтенант М. С. Калинин), Гвардейская «Щ-309» (командир – капитан-лейтенант Н. А. Филон), «Щ-310» (командир – капитан-лейтенант С. Н. Богорад) 3-го дивизиона Бригады подводных лодок КБФ (рис. 5, рис. 6). В ходе боевой подготовки экипажами обоих дивизионов отработывались практическая индивидуальная подготовка должностных лиц, действия экипажей в различных ситуациях, выполнялись курсовые задачи, практические торпедные стрельбы, отработывались совместные плавания и варианты использования торпедного вооружения, которые в последующем с успехом применялись.

Эффективная боевая и учебно-боевая деятельность восьми подводных лодок 5-го и 3-го дивизионов Бригады подводных лодок КБФ на Ладожском озере в 1943–1944 гг. впоследствии получила высокую оценку, а подводные лодки «Щ-307» и «Щ-310» были награждены орденами Красного Знамени, их командирам капитанам 3 ранга М. С. Калинин и С. Н. Богораду присвоено звание Героев Советского Союза.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Филиал Центрального архива Министерства обороны Российской Федерации (далее филиал ЦА МО РФ (архив ВМФ)). Ф. 14. Оп. 115. Д. 1. Л. 74.
2. Филиал ЦА МО РФ (архив ВМФ). Ф. 505. Оп. 10. Д. 6. Л. 130.
3. Там же. Л. 221.
4. Там же. Л. 222–226.5.
5. Там же. Л. 227.

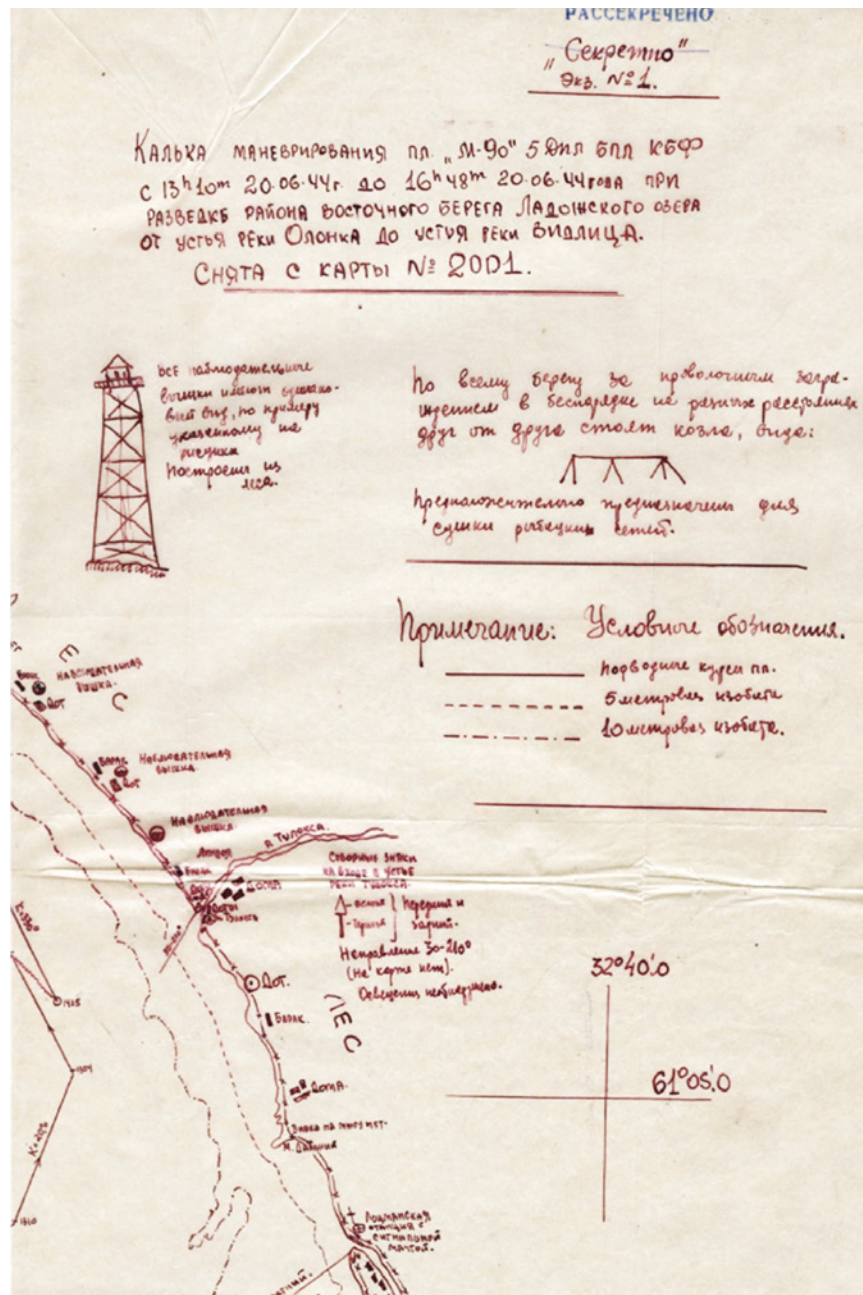


Рис. 6. Данные района разведки подводной лодки «М-90» [16]

6. Руссин Ю. С. Всю войну на «малютках» – [Электронный ресурс] [http://militera.lib.ru/memo/russian/russin\\_us/02.html](http://militera.lib.ru/memo/russian/russin_us/02.html) (дата обращения 29.05.2024)
7. Филиал ЦАМО (архив ВМФ) Ф. 505. Оп. 017890. Д. 15. Л. 1 об.
8. Платонов А. В. Энциклопедия советских подводных лодок. 1941–1945. – СПб.: Полигон, 2004. – С. 295.
9. Руссин Ю. С. Всю войну на «малютках» – [Электронный ресурс] [http://militera.lib.ru/memo/russian/russin\\_us/02.html](http://militera.lib.ru/memo/russian/russin_us/02.html) (дата обращения 29.05.2024).
10. Филиал ЦА МО РФ (архив ВМФ). Ф. 505. Оп. 6. Д. 4. Л. 6 об.
11. Там же. Д. 2. Л. 8 об.
12. Там же. Ф. 161. Оп. 33. Д. 17. Л. 112. Ч. 1.
13. Там же. Л. 109.
14. Подводные лодки на Ладоге. – Ч. 3: Приозерские ведомости – [Электронный ресурс] <https://dzen.ru/a/Yu0nh1xxMkKnxjjQ> (дата обращения 22.08.2024).
15. Филиал ЦА МО РФ (архив ВМФ). Ф. 505. Оп. 10. Д. 123. Л. 6.
16. Там же. Ф. 312. Оп. 3. Д. 1. Л. 82–1.
17. Великая Отечественная – под водой. – [Электронный ресурс] <http://www.sovboat.ru/ship/h310.php3> (дата обращения 23.08.2024) ■



Вооружение для будущих китайских эсминцев приходилось проектировать и испытывать одновременно с разработкой конструкторской документации самого корабля, что требовало единого управления и четкой координации.

Решение по составу артиллерийского вооружения ракетного эсминца долгое время откладывалось. Дело в том, что полученные от СССР три корабельные универсальные стабилизированные 130-мм артиллерийские установки СМ-2-1<sup>1</sup> в КНР были в 1961 г. превращены в береговые, в основном для стрельбы по надводной цели. При этом, естественно, «сократили» ненужную систему стабилизации по углу наклона оси цапф и изменили схему управления стрельбой.

Вследствие применения гироскопической системы стабилизации СМ-2-1 получилась весьма тяжелой – полная масса установки составляла 57,3 т. По автоматизации процесса заряжания она являлась полуавтоматической – имела заряжающее устройство с пневматическим досылателем, что делало возможной одноходовую досылку 130-мм выстрела, состоявшего из металлической гильзы с пороховым зарядом и снаряда. За счет этого скорострельность одного ствола удалось довести до 15 выстр./мин. В целом и пределы вертикального наведения (–7° до 81°), и скорости наведения (вертикального – 17 град./с, горизонтального – 18 град./с), и скорострельность установки для эффективной стрельбы по воздушным целям 1960-х гг. даже с использованием радиолокационного взрывателя были явно недостаточными.

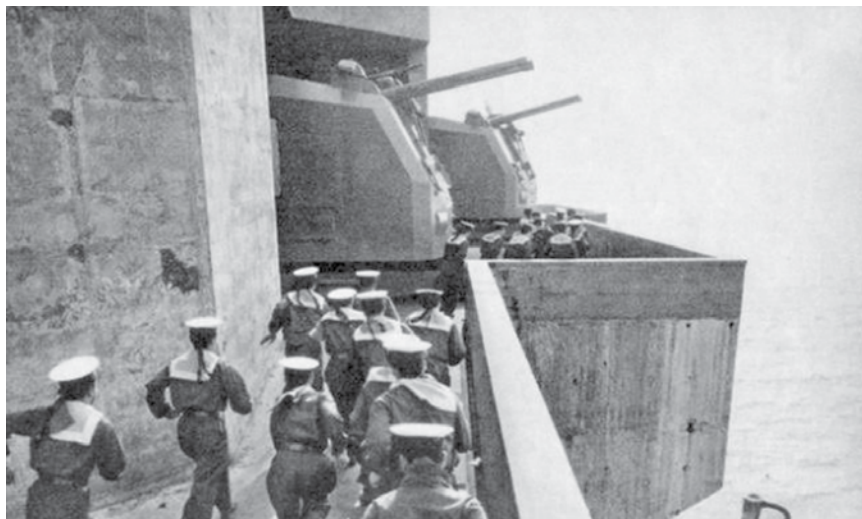
Проектную и производственную документацию СМ-2-1, по утверждению китайских источников, Советский Союз не передавал, поэтому требовалось выполнить большой объем работ не только для воспроизведения и постановки на производство 130/57 орудий ЗИФ-68-1, но и спроектировать и изготовить опытный образец вращающейся части, решив проблему ее стабилизации, не говоря уже об автоматизации заряжания, приводах наведения с увеличенной скоростью и системах дистанционного управления.

<sup>1</sup> При создании использовался немецкий опыт 105-мм артсистемы SKC/33 и корабельного варианта зенитного орудия Flakzwilling 40. СМ-2-1 разрабатывало Морское артиллерийское ЦКБ под руководством главного конструктора Е.Г. Рудяка, орудие ЗИФ-68-1 – ЦКБ-34 Министрства оборонной промышленности СССР. Опытный образец СМ-2-1 изготовил завод № 232 в 1948 г.

## **ПРОЕКТИРОВАНИЕ, СТРОИТЕЛЬСТВО, ИСПЫТАНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИЯ НАДВОДНЫХ КОРАБЛЕЙ ПЕРВОГО ПОКОЛЕНИЯ ВМС НОАК**

### **ЧАСТЬ 3\***

**О.В. Третьяков**, д-р техн. наук, капитан 1 ранга, начальник,  
**Д.Ю. Литинский**, науч. сотрудник,  
НИИ кораблестроения и вооружения ВМФ  
ВУНЦ ВМФ «ВМА им. Н.Г. Кузнецова»,  
контакт. тел. (812) 405 0706



**Береговая 130-мм артиллерийская установка «66»**

На переданных КНР корабельных установках отсутствовал предусмотренный на СМ-2-1 радиолокационный дальномер «Штаг-Б», поэтому до появления на корабле пр. 051 радиолокационной системы управления стрельбой наведение на видимую морскую цель при отсутствии центральной наводки могло осуществляться только с использованием оптического прицельного устройства АМО-3-1. Это возвращало артиллерию первого китайского эсминца в минувшую эпоху. Только в 1966 г., когда в КНР приняли на вооружение береговую 130-мм установку, приняли решение о ее «реинжиниринге», причем возвращалась к стабилизации не планировалось, поскольку она требовалась всему ракетному кораблю.

Теоретически отказ от стабилизации установки позволял выиграть в ее массе.

Проектирование 130/58 артстановки для корабля пр. 051 начали в 1968 г. Орудия воспроизводили по прототипу, сохранив раздельно-гильзовый боезапас с автоматизацией процесса заряжания. Масса полуброневой снаряды составляла 33,4 кг,

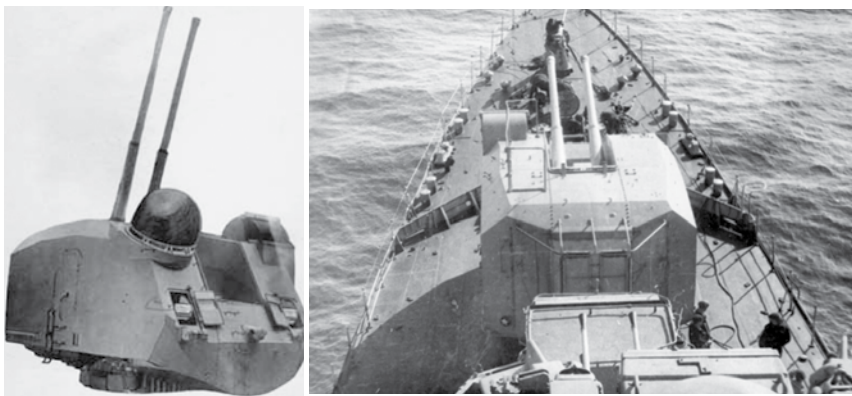
его начальная скорость – 950 м/с, максимальная дальность стрельбы – 27 000 м.

Открытой с тыльной стороны (как у СМ-2-1) башне придали более обтекаемую конфигурацию. Электрогидравлические приводы позволили несколько увеличить скорости наведения орудий.

Проектирование корабельной системы управления артиллерийским огнем «IA» (ZPJ-1) с радиолокационной станцией (РЛС) «343» (Н/ЛJP-343) оказалось более сложной задачей, чем создание аналогичной системы для береговой установки. Для сторожевых кораблей пр. 6601 договором 1955 г. предусматривалось лицензионное производство РЛС «Якорь-М1» на шанхайском заводе № 437. Станция «343», в отличие от прототипа «Якорь-М1», создавалась на полупроводниковой элементной базе. Ее антенный пост монтировался на СВП-42/50.

Артиллерийская РЛС «Якорь», которая обеспечивала стрельбу не толь-

\*Продолжение. Часть 1, 2 – см. «Морской вестник», 2023, №3(87), 2023, №4(88)



**Опытный образец и серийная универсальная стабилизированная 130-мм артиллерийская установка СМ-2-1 эскадренного миноносца пр. 56**

ко по надводным, но и по воздушным целям, имела узкую диаграмму направленности, что вследствие недостаточной точности целеуказания от корабельной РЛС обнаружения стало причиной длительного времени приема целеуказания по воздушным целям. Из-за ошибок измерения пеленга двухкоординатной РЛС обнаружения места артиллерийской станции приходилось самостоятельно выполнять поиск. В результате прием целеуказания мог занимать более 30 секунд, при этом не гарантировалась 100-процентная надежность. Поэтому для создания работоспособных схем целеуказания для китайских эсминцев требовалось привести в соответствие точностные характеристики создаваемых средств обнаружения в соответствии с диаграммами направленности антенн артиллерийских РЛС.

Весьма актуальной стала проблема обеспечения помехозащищенности радиолокационных станций. Для защиты от прицельных шумовых помех применялись схемы перестройки на несколько фиксированных рабочих частот, а для защиты от пассивных преднамеренных помех – различные схемы селекции движущихся целей.

Летом 1970 г. изготовили два опытных образца 130-мм корабельной артиллерийской установки. Получили башню чуть легче советского прототипа – 56,6 т.

В апреле 1971 г. начались полигонные испытания. Максимальную скорострельность удалось довести до 26 выстр./мин. При полуавтоматическом зарядании она не превышала

15 выстр./мин. После отстрела 448 снарядов конструкции и приводы качающейся части подтвердили прочность и работоспособность. Конструкция вращающейся части оказалась менее удачной – передняя часть перетяжелена (несбалансированный вес – 2,7 т), а вследствие появления трещин в броневых плитах лобовых стенок башни потребовались дополнительные усилия металлургов для совершенствования технологических процессов броневого производства.

В ходе испытаний на головном корабле проверялась только общая работоспособность башни и устройств подачи и зарядания, а также прочность корабельных конструкций к воздействию дульных газов. Испытания стрельбой на серийных кораблях не проводили, а в 1972 г. приостановили эксплуатацию артиллерийских установок (АУ).

В процессе создания радиолокационной системы управления стрельбой с РЛС Н/ЛР-343 решили все же вернуться к устройству стабилизации по оси цапф орудий. В июне 1972 г. изготовили две установки, которые отправили на судостроительный завод. До конца года изготовили еще шесть.

С марта 1974 г. до начала 1976 г. продолжались полигонные испытания доработанной девятой АУ, в ходе которых было отстреляно 1028 снарядов.

Несмотря на подтверждающуюся недостаточную надежность, 29 февраля 1976 г. двухорудийную 130-мм универсальную корабельную АУ приняли на вооружение ВМС НОАК под

обозначением «76» (впоследствии оно изменено на Н/РЈ37).

При весьма неплохих характеристиках орудий для стрельбы по надводному противнику возможности эффективной борьбы с современными скоростными воздушными целями у самой мощной корабельной АУ китайского флота практически отсутствовали. Радиолокационная система управления стрельбой «IA», при разработке концепции которой была сделана ставка на передовые достижения компьютерной техники и схемные решения «распределенной архитектуры», не отличалась надежностью и достигла работоспособного состояния только в середине восьмидесятых годов.

Поскольку входившие в состав вооружения эскадренных миноносцев пр. 56 счетверенные 45-мм артиллерийские установки СМ-20-ЗИФ с системой приборов управления стрельбой «Фут-Б» в КНР не поставлялись, а тактико-технические характеристики двухорудийных 37-мм автоматов В-11 посчитали слабыми против американских 76,2/50 установок Mk33, имевшихся на кораблях ВМС Гоминьдана, для зенитного вооружения кораблей пр. 051 был избран калибр 57 мм.

Такую установку еще только предстояло создавать, а поскольку к моменту готовности головного корабля требовалась хотя бы АУ малого калибра, его дополнительно решили вооружить спаренными 25-мм АУ с ручным наведением. Это была осваиваемая китайской промышленностью 2М-3М, полученная ранее производственная документация которой осталась в распоряжении КНР. К моменту ее передачи в Советском Союзе серийный выпуск 2М-3М только начинался, конструкция имела некоторые недостатки, которые исправлялись по результатам войсковых испытаний.

В 1962 г. артиллерийский завод № 456 по переведенной на китайский язык документации изготовил шесть опытных образцов. В ходе заводских испытаний произошли две серьезные аварии. После доработки автоматики успешно провели полигонные испытания, и в начале 1964 г. АУ под обозначением «61» приняли на вооружение ВМС НОАК.

Основные тактико-технические характеристики установки: начальная скорость снаряда – 890 м/с, эффективная дальность стрельбы – 2780 м, скорострельность АУ – 800–900 выстр./мин., масса – 1750 кг.

В 1990-е гг. спаренная 25-мм установка «61», создававшаяся как зенитная, оказалась востребованной в качестве достаточно эффективного



**Опытный образец (слева) и серийная 130-мм корабельная артиллерийская установка**





**Фрагмент фок-мачты и СВП-42/50 с РЛС управления стрельбой Н/ЛР-343 корабля пр. 051**

средства борьбы с малыми надводными целями. На кораблях пр. 051 две такие установки весьма удачно разместили побортно на палубе надстройки 1-го яруса. Имея ручное наведение, с боевым расчетом и поданным боезапасом они готовы к немедленному открытию огня.

Двухорудийную 57-мм корабельную установку, предназначавшуюся для катеров и танкодесантных кораблей, с использованием армейского зенитного орудия (советского происхождения), обладавшего скоростью стрельбы 70 выстр./мин. начали проектировать в 1963 г. специалисты

Артиллерийского НИИ НОАК и военно-морского инженерного факультета Харбинской военной академии. Для этих орудий имелись два вида боеприпасов – дистанционная граната и бронебойный снаряд (масса выстрела – 6,42 кг, масса снаряда – 2,8 кг, начальная скорость снаряда – 1000 м/с). Дистанционное управление нестабилизированной установкой общей массой 8,0 т, которую обслуживал расчет из восьми человек, не предусматривалось.

На опытном образце (1966 г.) были получены следующие тактико-технические характеристики: максималь-

ная скорострельность установки – 210–240 выстр./мин., максимальная дальность стрельбы – 12 000 м, досягаемость по высоте – 8000–8800 м.

На 1970 г. завод 5-го министерства машиностроения изготовил пятнадцать 57-мм установок для опытной эксплуатации. Ими укомплектовали строившиеся корабли пр. 51 первой серии.

В процессе эксплуатации на кораблях выявили сильную вибрацию и низкую точность стрельбы, частыми были неисправности и поломки механизмов наведения, электроприводы которых перевели на постоянный ток напряжением 110 В. Выпущенные позже доработанные артустановки, принятые на вооружение в мае 1978 г. под обозначением «66», стали основным вооружением сторожевых катеров и танкодесантных кораблей.

На эсминцы второй серии до принятия на вооружения автоматических установок ставили локализованную (в современной терминологии) советскую 37-мм двухорудийную палубную установку В-11М образца 1948 г.

С некоторыми упрощениями конструкции (в частности, отказались от стабилизации по оси цапф) ее в 1961 г. поставили на производство на заводе № 497 и в 1963 г. приняли на вооружение ВМС НОАК под обозначением «61». Использовались два типа выстрелов – с дистанционной гранатой (масса снаряда – 1416 г) и бронебойный образца 1955 г. (масса снаряда – 1444 г). Последний на дистанции 1000 м пробивал 37-мм гомогенную броню.

Хранившийся в отдельных погребах боезапас составлял 1800 выстрелов на каждую установку. Для его подачи были предусмотрены электрические подъемники.

В дальнейшем 37-мм АУ совершенствовали с целью уменьшения численности артиллерийского расчета. В 1961 г. появилась ее полуавтоматический вариант с резервной ручной подачей боезапаса, который серийно не выпускался. В 1965 г., убедившись в достаточной надежности, сделали полуавтоматическую установку без ручного дублирования, но серийному производству помешала «культурная революция».

С 1971 по 1975 г. шла работа над созданием двухорудийной установки «76» с ленточным питанием (1600 выстрелов) с подачей из подпалубного бункера и электроприводами наведения. Для нее был разработан новый боеприпас (масса снаряда – 1,71 кг). Скорость наведения по горизонтали довели до 50 град./с, вертикального – до 40 град./с. Масса принятой на воо-



**57-мм артиллерийская установка «66» на корабле пр. 051**



**Носовая 37-мм артиллерийская установка «61» на корабле проекта 051**

ружение в 1977 г. установки возросла до 5 т. На корабли пр. 051 она не попала – с 1980 г. устанавливалась на фрегатах 053Н1 (тип «Yianghu»).

Следующим этапом развития 37-мм калибра стала интеграция с РЛС управления стрельбой «347» – локализованной Alenia-Marconi System RTN-20X. Однако это произошло только в середине следующего десятилетия, поэтому зенитное вооружение кораблей пр. 051 второй серии, фактически по-прежнему состоявшее

из четырех 37-мм установок «образца 1948 г.» и такого же количества 25-мм АУ «61» с местным ручным наведением, выглядело уже совсем архаично.

Однако до тех пор, пока корабли действовали в ближней морской зоне, где прикрытие с воздуха им создавала береговая авиация, с этим можно было мириться, уповая на результаты начавшихся в середине 1960-х гг. работ по созданию корабельного зенитного ракетного комплекса (ЗРК) самообороны.



**Антенный пост радиолокационной станции Н/ЛЖО-354 на топе фок-мачты корабля пр. 051**

Обнаружение воздушных целей первоначально возлагалось на радиолокационную станцию «Фут-Н», которыми оснащались строившиеся по советской технической документации фрегаты пр. 6601. Однако дальность около 50 км была явно недостаточной, и в октябре 1965 г. флот поставил двум научно-исследовательским организациям задачу подготовить технические предложения по созданию РЛС наблюдения за воздушной обстановкой для надводных кораблей. Исполнителем определили НИИ-714<sup>2</sup>, которое в ноябре 1967 г. получило тактико-техническое задание на разработку станции «354» (Н/ЛЖО-354) со стабилизированным антенным постом.

В августе 1970 г. разработку передали вновь созданному НИИ-724, которое через два года закончило полигонные испытания опытного образца. После доработки и утверждения результатов испытаний заказчиком в начале 1973 г. изготовление серии поручили предприятию 4-го министерства машиностроения. Первые РЛС Н/ЛЖО-354 начали устанавливать на корабли весной 1974 г.

Сложность задачи и длительность ее решения подтолкнули на обещавший более скорый результат путь – создание корабельной РЛС метрового диапазона на основе проверенных эксплуатацией в войсках сухопутных станций.

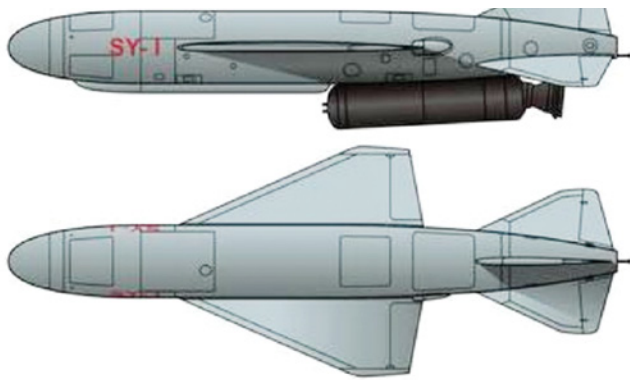
Малая эффективность артиллерии кораблей пр. 051 нивелировалась их мощным ударным ракетным оружием.

В апреле 1963 г. в Пекине провели координационное совещание специалистов, а в сентябре Комитет по оборонной науке и технике выпустил организационный документ, которым назначались исполнители. Уже в октябре государственный авиазавод № 320 в Наньчане (бывший авиазавод Mitsubishi) изготовил опытную серию с использованием нескольких комплектов бортовой аппаратуры управления ракет П-15, полученных от СССР.

В августе 1964 г. провели стендовые испытания двигательной установки, с ноября по декабрь – летные испытания ракет с массогабаритными макетами аппаратуры управления на северо-западе пустыни Гоби. Вместо этилового спирта в качестве топлива перешли на керосин, что позволило увеличить дальность полета с 35 до 42 км. В 1965 г. пять пусков выполнили с катера пр. 205 советс-

<sup>2</sup> НИИ морской радиолокации создан в 1960 г. в Нанкине как НИИ-14 министерства машиностроения, в 1962 г. перешло в ведение ВМС НОАК. Ныне входит в состав НИИ электронных технологий (NREIT).





### Противокорабельная крылатая ракета SY-1

кой постройки. С мая по июль следующего года проходили испытания ракеты с бортовой системой управления, укомплектованной из советских поставок (РЛС механическим сканированием в пределах телесного угла и барометрический высотомер), после чего в августе 1967 г. началось малосерийное производство ПКР, которой присвоили обозначение SY-1 (литерами SY первоначально обозначались ракеты корабельного базирования, HY – береговые, YJ – авиационные).

Определение состава ударного ракетного вооружения корабля пр. 051 происходило в Пекине весной 1967 г. В то время в различной степени готовности и в разработке находились противокорабельные крылатые ракеты SY-1, HY-1 и HY-2<sup>3</sup>.

Требовалась дальность стрельбы не менее 50 км, и катерную SY-1 с дальностью 40 км отвергли сразу (представители 6-го министерства машиностроения говорили о возможности увеличения, но заявленные сроки доработки заказчика не устраивали).

Эффективная дальность береговой HY-1 составляла 80 км, ракета корабельного базирования HY-2 проектировалась на максимальную дальность 100 км. Первая уже проходила испытания, которые пока не увенчались успехом, вторая «еще не летала».

Поскольку главным критерием выбора задавался срок готовности к государственным испытаниям, решили ставить на корабль доработанную береговую ракету HY-1, которой министерство авиационной промышленности в июне 1967 г. присвоило обозначение HY-1J.

<sup>3</sup> Система обозначений для комплексов вооружения введена государственным военным стандартом КНР (GJB) в 2012 г. Обозначения КНР отличались у различных разработчиков, иногда они изменялись при принятии на вооружение. Поэтому до сих пор в публикациях о китайских ракетах корабельного и авиационного базирования возможно использование разных обозначений для одного и того же образца.

В процессе доработки береговой ракеты решались следующие проблемы: для исключения влияния качки корабля на начальные параметры полета ракеты в автопилоте вводились каналы коррекции крена и тангажа; в пусковом устройстве добавлялись фиксаторы и автоматически отдающиеся при старте крепления. Требовалось обеспечить хранение и пуск ракет при волнении моря 6 баллов, при циклических перегрузках до 7g в диапазоне температуры наружного воздуха от –300 до +50 град.С. Ракета должна сохранять способность к старту после десятиминутного перерыва в электропитании, а общее время хранения заправленной топливом ПКР требовалось увеличить до четырех месяцев.

На следующем координационном совещании в марте 1968 г. обсуждались два основных вопроса.

1. Требование ВМС обеспечить возможность использования оружия на волнении моря 6 баллов. Для аппаратуры самонаведения LM-1 ракеты HY-1 действовало ограничение 4 балла (как у советской П-15). Это означало, что необходимо создавать новую бортовую систему самонаведения.

2. Адаптация ракеты к условиям корабля и решение проблемы бокового скольжения при пуске под углом к диаметральной плоскости. Для оценки совместного влияния скорости корабля и ветра следовало провести испытания в аэродинамической трубе и опытные траверзные пуски ракет в инертном снаряжении с одного из эсминцев проекта 6607.

В августе 1968 г. утвердили программу испытаний на эсминце «Fushun». Для этого с корабля демонтировали 533-мм торпедный аппарат 39-Ю № 2, место которого заняла опытная траверзная пусковая установка «ангарного» типа, и грот-мачту. Выбор этого корабля объяснялся тем, что «Fushun» уже был запланирован к постановке в ремонт на Даляньском судостроительном заводе.

Два практических траверзных пуска ракет HY-1 произвели 10 и 20 декабря 1968 г. в акватории ВМБ Люшунь и на полигоне ВМС. Задачами первого пуска была оценка воздействия стартового двигателя ракеты на корабельные конструкции и выбор оптимального угла старта, а также определение предельных дистанций безопасного нахождения людей с использованием подопытных животных. Задача второго пуска – проверка возможности ракетной стрельбы на максимальных ходах корабля («Fushun» сумел развить 32 уз).

Конструкция пусковой установки на три ПКР для корабля п. 051 разрабатывалась в НИИ-713 (НИИ машиностроения и электротехники, Чжэнчжоу) в соответствии с техническими требованиями ВМС, в которых оговаривались способы и продолжительность погрузки, условия хранения ракет в корабельных условиях и необходимость защиты от внешней среды и воздействий оружия противника. Хотя окончательно принята схема расположения третьей ракеты в пусковой установке с превышением была единственно приемлемой, анализировались и проверялись на макетах и иные решения.

В итоге конструкция отличалась простотой и малым временем загрузки ракет с использованием береговых средств, но практически без механизации – даже передняя крышка пусковой до того, как ее сделали герметичной, открывалась вручную. Впоследствии по требованиям ВМС ее усовершенствовали. До официального принятия на вооружение в 1980 г. конструкторы НИИ-713 продолжали доработки с целью улучшения условий хранения ракет и стойкости к внешним воздействиям.

Чтобы полностью использовать возможности ПКР, необходимо было создать систему управления стрельбой, которая обладает большими, чем у ракетных катеров, возможностями поиска и сопровождения целей, и позволяет выполнять стрельбу по нескольким целям за короткий промежуток времени. Такую систему для корабля пр.051 под обозначением «5А-1» начали разрабатывать в 1968 г.

Задача обнаружения надводных целей и выдачи целеуказания ракетному оружию выполнялась как аналог советской катерной РЛС 4Ц-40 «Рангоут». Ее под обозначением «352» с 1967 г. серийно выпускал расположенный в Шанхае радиозавод 4-го министерства машиностроения КНР. В режиме сопровождения цели станция «352» выдавала следующие данные: дальность до цели, пеленг

на цель, курсовой угол и составляющие скорости цели вдоль и перпендикулярно линии визирования. Эти параметры РЛС непрерывно выдавала в систему приборов управления ракетной стрельбой, которая вырабатывала упреждение и величину отклонения от боевого курса ракетной атаки, на котором корабль удерживался авторулевым.

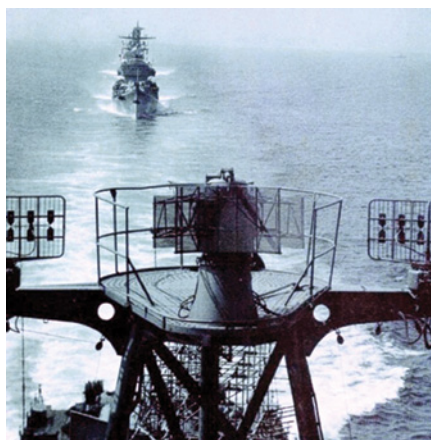
Опытный образец системы «5А-1» подготовили к наземным испытаниям в 1972 г., но его сразу установили на головном корабле пр. 051.

На серийных кораблях устанавливалась усовершенствованная система приборов управления ракетной стрельбой, которую последовательно дорабатывали для работы с новыми, более совершенными модификациями ракет.

Следует отдать должное последовательности политики китайских коллег в области кораблестроения и вооружения, продолжавших твердо придерживаться принятой концепции борьбы с морским противником с максимальным использованием заложенных в конструкцию главного оружия возможностей. В Советском Союзе, где развитие ПКР как «национального оружия ВМФ» было направлено по пути последовательного увеличения их массогабаритных характеристик, к середине 1970-х гг., когда уже имелись примеры успешного боевого применения ПКР типа П-15 в локальных военных конфликтах, сложившееся пренебрежительное отношение к «катерным» ракетам пришлось изменить.

Имевшиеся в распоряжении ВМС НОАК средства борьбы надводных кораблей с подводными лодками для 1970-х гг. были неэффективными против скоростных субмарин с увеличенной глубиной погружения. Создание самонаводящихся скоростных противолодочных торпед оставалось делом будущего, и если исключить из рассмотрения кормовые бомбосбрасыватели и советские шточные бомбометы БМБ-1, оставались реактивные противолодочные системы с возможностью стрельбы впереди по курсу корабля, совершенствованием которых с использованием полученной от Советского Союза противолодочной системы «Ураган» с РБУ-1200 в КНР занялся специализированный НИИ. Главной задачей было увеличение вдвое эффективной дальности стрельбы реактивными глубинными бомбами и автоматизация подачи и заряжания.

Для кораблей пр. 051 к 1969 г. в НИИ-710 разработана 12-ствольная стабилизированная реактивная бомбометная установка с электроприводами



*Антенный пост РЛС целеуказания ракетному оружию Н/ЛР-352 и станции опознавания государственной принадлежности «651» на грот-марсе*



*Погрузка ракеты SY-1J в пусковую установку «7222»*



вертикального и горизонтального наведения и полуавтоматической системой хранения и заряжания.

Наводящаяся в двух плоскостях установка имела пределы вертикального наведения от 12° до 64°, ее вращающаяся часть весила 3,20 т.

Реактивная глубинная бомба калибром 204 мм образца 1975 г. имела массу 72 кг, длину 1450 мм и глубину подрыва боевой части от 10 до 250 м. Взрыватель – ударно-дистанционный. Дальность стрельбы – от 1200 до 2500 м.

Боезапас – 72 РГБ – хранился в двух расположенных под пусковыми установками погребах. РБУ имела три режима работы: автоматический, полуавтоматический и ручной. Подача и заряжание стволов производилось поочередно (поворотом РБУ с поднятым в вертикальное положение блоком стволов) через одно «окно».

Данные для атаки управляющий стрельбой РБУ получает от гидролокационной станции, задавая приводам наведения углы вертикального наведения (наведение по пеленгу осуществлялось автоматически, синхронно с поворотом излучателя стрельбовой станции «675») в упрежденную точку положения цели. Установка и взвод взрывателя выполнялась дистанционно. В ручном режиме данные для стрельбы передавались голосом по телефонной связи. Стрельба возможна полным или частичным залпом, а также одиночно.

Полученные от СССР образцы гидроакустического вооружения надводных кораблей («Пегас-2», «Тамир-10», «Тамир-11»), производившиеся малыми сериями на китайских предприятиях, обладали низкими ТТХ, поэтому китайским ученым, начавшим в 1962 г. самостоятельные исследования, пришлось для преодоления критического отставания в корабельной акустике приложить немалые усилия. Реальный результат был достигнут только в 1975 г. (среднечастотная станция SJD-3 для фрегатов пр. 053Н типа «Jianghu»).

Высокочастотная гидролокационная станция Н/SJD-2 («675»), предназначенная для выполнения функций стрельбовой при использовании реактивных бомбометных установок, на головном корабле появилась в опытном образце в 1975 г., ее доработка продолжалась до 1978 г.

В 1975 г. прошла испытания электродистанционная система наведения ДМС-2, после чего под обозначением «1975» РБУ принята на вооружение кораблей проекта 051.



**Реактивная бомбометная установка QF-2500 противолодочного комплекса Н/WHH-002**



**Прибор № 1 гидроакустических станций Н/SJD-1 (слева) и Н/SJD-3 (справа)**



**Большая корабельная якорная мина образца 1958 г. и сброс контактной мины**

В 1984 г. систему дистанционного управления доработали для возможности сопряжения с автоматизированной корабельной системой управления противолодочным вооружением.

Первой крупной разработкой НИИ-715 (Ханчжоу), НИИ-726 (Шанхай) и завода № 461 стала низкочастотная гидроакустическая станция Н/SJD-1 (первоначально имела обозначение «601»), предназначенная для кораблей проекта 051. При благоприятных условиях обнаруживала цели на дистанциях около 10 км, определяя пеленг с большой ошибкой. В ходе одиннадцати испытаний Н/SJD-1 в неблагоприятных гидроакустических условиях станция фиксировала шумы дизель-электрической подводной лодки при ходе корабля 18 уз, при этом максимальная дальность об-

наружения составляла около 6 км.

Эсминец пр. 051 мог принимать в перегруз на верхнюю палубу 38 мин заграждения.

Большая корабельная якорная мина контактного действия образца 1958 г. имела общую массу (с якорь-тележкой) 1075 кг и снаряжалась 240 кг взрывчатого вещества. Длина минрепа составляла 263 м. Глубина постановки мины против надводных кораблей – от 2,4 до 9,1 м, против подводных лодок – 48, 73 и 91,5 м.

Якорная акустическая мина М-4 разработана НИИ-701 в 1973 г., принята на вооружение в 1974 г. Общая масса – 600 кг. Радиус реагирования акустического взрывателя – 20 м. Глубина постановки мины – от 20 до 100 м. Срок действия выставленной мины – два года. ■

**16** февраля 2025 г. исполнилось 115 лет со дня образования Санкт-Петербургского Морского собрания, которое за последние 30 лет заслуженно приобрело прочный авторитет в морском сообществе. Об этом, в частности, свидетельствует тот факт, что к этой дате в его адрес поступили многочисленные поздравления и благодарственные письма от органов государственной исполнительной и законодательной власти, муниципальных образований Санкт-Петербурга, Ленинградской области и ряда субъектов РФ, г. Переславль-Залесский, Министерства обороны РФ, Центра оперативного реагирования на угрозы информационной безопасности Министерства обороны РФ, Главного командования ВМФ, Ленинградского военного округа, командующего Балтийским флотом, комитета Государственной Думы РФ по науке и высшей школе, Законодательного собрания Санкт-Петербурга. Свои поздравления прислали крупнейшие предприятия города – ООО «Газпром трансгаз Санкт-Петербург», АО «НПП «Радар ммс», ряд общественных организаций – «Клуб адмиралов» (г. Москва), Союз транспортников России, Морские собрания России, входящие в МАОО «Ассоциация Морских собраний» (Петропавловск-Камчатский, Владивосток, Вологда, Гатчина, Ростов-на-Дону, Новороссийск, Севастополь), Ассоциация «Клуб русская морская традиция», АНО ОПЦ «Севастопольская кают-компания» и многие др.

## ГОДОВОЙ ПРАЗДНИК САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОГО МОРСКОГО СОБРАНИЯ, ПОСВЯЩЕННЫЙ 115-ЛЕТИЮ СО ДНЯ ЕГО ОСНОВАНИЯ И 30-ЛЕТИЮ ВОССОЗДАНИЯ

**С. Н. Ирютин**, канд. воен. наук, доцент, капитан 1 ранга, председатель,  
**В. Н. Торба**, капитан 1 ранга, историограф,  
Санкт-Петербургское Морское собрание,  
контакт. тел. (812) 312 7092, [ist.morskoe-sobranie@yandex.ru](mailto:ist.morskoe-sobranie@yandex.ru)

То, что СПбМС – одна из самых значимых общественных организаций не только в Санкт-Петербурге, но и в Российской Федерации, является заслугой многих его старшин и членов.

Мы благодарим за огромную работу в различных областях, связанных с морской и другой деятельностью, Николая Михайловича Вихрова, Георгия Вадимовича Вилинбахова, Александра Васильевича Яловенко, Олега Игоревича Грызлова и других, в том числе старшин Собрания: работающего в области трубопроводного транспорта Георгия Анатольевича Фокина, в области средств связи и РЭБ – Александра Леонидовича Кашина, средств навигации – Константина Александровича Смирнова, тяжелого машиностроения – Игоря Семеновича Су-

ховинского, средств и систем безопасности – Александра Ивановича Штепу, действительного члена Собрания Сергея Сергеевича Пустынникова, в секции капитанов Балтики – Петра Петровича Парина, в Союзе транспортников – Евгения Дмитриевича Казанцева, в области военной и военно-морской деятельности – Почетных председателей Собрания адмирала флота В. И. Куроедова, адмирала В. И. Королева, Почетных членов Собрания адмиралов В. П. Валуева, В. М. Воробьева, Н. А. Евменова, В. Н. Лиина, А. А. Моисеева, А. М. Носатова, И. В. Осипова, К. С. Сиденко, генерал-полковников А. В. Картаполова и А. А. Сидорова.

Плодотворно работают в Собрании Герой России Г. В. Анцев, Герой России вице-адмирал О. Е. Белавенцев, контр-адмирал С. П. Еки-





мов, контр-адмирал Н. В. Марьясов, В. В. Бушуев, А. Б. Волков, А. Г. Гайфутдинов, И. А. Глухов, А. Н. Грунелышев, А. В. Кораблев, С. В. Котенев, А. В. Кременчугский, Ю. Н. Курганский, А. В. Лоза, М. В. Малюшин, Р. Ш. Нехай, М. Б. Рыбин, М. В. Сильников, Е. А. Смягликова, В. В. Трушанов, С. Г. Фокин и др.

Особо надо отметить постоянную поддержку Почетных председателей СПбМС Главнокомандующих ВМФ РФ адмирала флота Владимира Ивановича Куроедова (1997–2000), адмирала Владимира Ивановича Королева (2016–2019).

СПбМС активно взаимодействует с органами военного управления, командующими флотами и военными округами.

20 января 2025 г., в преддверии 115-летия Собрания, Главнокомандующий ВМФ РФ адмирал Александр Алексеевич Моисеев наградил наш коллектив грамотой «За большой вклад в возрождение славных морских традиций и военно-патриотическое воспитание подрастающего поколения».

К этой дате подготовлена к изданию книга «Санкт-Петербургское Морское собрание. История и современность. 1910–2025». В средствах массовой информации размещены статьи «Честь. Флот. Отечество» председателя Собрания, кандидата военных наук, доцента, капитана 1 ранга С. Н. Ирютина («Морской сборник», 2025, № 1); статья «Честь. Флот. Отечество» (газета Северного флота «На страже Заполярья», 2025, № 10 (19206)). По телевизионному каналу «Санкт-Петербург» 10 февраля показан сюжет о ежегодном литературном конкурсе СПбМС «Честь – Флот – Отечество» и об одном из его дипломантов действительном члене Собрания А. В. Лозе.

По результатам ежегодного Литературного конкурса СПбМС под девизом «Честь-Флот-Отечество» в 2024 г. присвоено звание лауреата С. П. Екимову, автору сборника морских рассказов «Кронштадтские мотивы», вручены дипломы Н. С. Якубовскому, автору книги «Белгородчина морская»; А. С. Соколану, Ю. М. Оськину, О. Г. Сухопяткиной за книгу «К 105-летию со дня рождения вице-адмирала Соколана Степана Степановича»; С. М. Мелкумовой, автору стихотворения «Море».

14 января в Центральной военноморской библиотеке открыта книжная выставка, на которой представлены работы, изданные Собранием. Первой была выпущена работа «Морские собрания России. 1802–2005. История



**Открытие книжной выставки 14.01.2025. Президиум**

и современность» историографа Собрания, доктора военно-морских наук, профессора Военно-морской академии, капитана 1 ранга С. П. Сирого.

В 2010 г. автор развил и детализировал эту тему в книге «Санкт-Петербургское Морское собрание. 1910–2010. История и современность».

На открытии выставки выступили авторы книг:

- Г. А. Гребенщикова, доктор исторических наук, профессор Санкт-Петербургского государственного морского технического университета, историограф СПбМС (на выставке представлены книги «Морское сражение под Наварином. Причины и следствия», «Россия и Турция. Двенадцать невученных уроков», «Чесменская победа. Триумф России в Средиземном море», 2 издания);
- П. А. Кротов, доктор исторических наук, профессор Санкт-Петербургского государственного университета (представлены книги «Гангут. Сражение и корабли», «Российский флот на Балтике при Петре Великом», «Виктории флота Петра Великого»);
- В. Г. Смирнов, капитан 1 ранга, доктор исторических наук, директор Российского государственного

архива ВМФ (представлена книга «Софья Колчак – невеста, жена и вдова адмирала»);

- О. А. Яковлев, кандидат исторических наук, доцент, автор детской серии «Морская слава России». На сегодняшний день уже издано 19 книг этой серии. Среди них – 13 книг о славных победах Российского флота времен парусного флота, 4 книги о выдающихся русских флотоводцах: «Петровские виктории», «Адмирал Макаров», «Адмирал Ушаков», «Адмирал Нахимов». Изданы первые книги серии «Выдающиеся корабли» – «Бриг «Меркурий» и серии «Морские крепости России» – «Кронштадт». Серия книг «Морская слава России» была представлена на соискания премии Министерства обороны РФ в области культуры и искусства в 2022 г. в номинации «Литературное творчество и издательская деятельность». Автор книг серии «Морская слава России» О. А. Яковлев, художник Е. Е. Баскакова и другие члены команды были отмечены благодарностью Департамента культуры МО РФ «за высокий профессионализм» серии книг от «Гангут. 1714» до «Синоп. 1853».





**Заседание Совета Межрегиональной ассоциации Общественных организаций «Ассоциация Морских собраний», 06.02.2025**



**Полуденный выстрел в честь 115-й годовщины СПбМС 07.02.2025. Старшины СПбМС и гости церемонии**

Трудно переоценить значение переизданного Собранием трехтомного сборника документов выдающегося флотоводца, мореплавателя и ученого, вице-адмирала С. О. Макарова, которые издавались еще 70 лет назад – в 1953 г.

Большое внимание общественности вызвала изданная Собранием книга карманного формата (книжка-малышка) «Традиции русского флота» (автор-составитель – пресс-секретарь Собрания И. А. Лещенко).

Книга Д. А. Сидорова «Шведские озерно-речные флотилии в российском приграничье (1701–1704)» способствовала привлечению внимания к незаслуженно забытому сражению при Амовже, 320-летие которого отмечалось в 2024 г. в рамках XX Псковской парусной регаты.

В планах книгоиздательской деятельности Собрания на 2025–2029 гг.:

«Санкт-Петербургское Морское собрание. 1910–2025. История и современность»; книги серии «Морская слава России»: «Адмирал Лазарев», «Эскадренный миноносец «Стерегущий», «Крейсер «Аврора», «Ледокол «Красин», «Первое русское кругосветное плавание (1803–1806)»; сборники документов: «С. О. Макаров. Дневники и письма», «Сборник докладов научной конференции «Моряк и художник на службе Отечества», посвященная 200-летию со дня рождения А. П. Боголюбова, «Сборник докладов конференции, посвященной 250-летию адмирала П. И. Рикорда», сборник «Елагинские чтения», посвященный 200-летию юбилею генерал-адмирала великого князя Константина Николаевича, сборник материалов конференции («круглого стола») «В сиянии Андреевского флага» к 320-летию победы войск Петра I при Амовже и 320-летию основания крепости Кронштадт в рамках XX Псковской парусной регаты на Псковском озере; справочно-информационные издания, альбомы «Первая мировая война в фотографиях из фондов РГАВМФ, выпуск 3 (фонды штабов).

6 февраля в конференц-зале СПбМС состоялось заседание Совета ассоциации Морских собраний, на котором присутствовали председатели Владивостокского, Вологодского, Гатчинского, Камчатского и Санкт-Петербургского Морских собраний, уполномоченный представитель Новороссийского Морского собрания. В режиме видеоконференции работало Ростовское-на-Дону Морское собрание.

Члены Ассоциации выступили с отчетами о своей работе за 2024 г. и планами основных мероприятий на 2025 г. В повестке дня стояли воп-



росы о размещении информации о проведенных ассоциацией мероприятиях на официальном сайте СПбМС и его модернизации. Были представлены новые книги из библиотеки «Морская слава России».

7 февраля в полдень с Нарышкина бастиона Петропавловской крепости прозвучал полуденный выстрел в честь 115-й годовщины Собрания, обозначая открытие мероприятий 57-й ассамблеи Морского собрания. На торжественной церемонии присутствовали старшины Собрания и приглашенные гости. Торжественность церемонии подчеркивала Знаменная группа ГУМРФ имени С. О. Макарова с Государственным флагом РФ, флагами Санкт-Петербурга и Морского собрания. Выстрел произвел председатель Собрания С. Н. Ирютин. Гильза артиллерийского снаряда заняла место в музейной экспозиции музея Собрания.

В этот же день в Тронном зале Екатерининского дворца Государственного музея-заповедника «Царское Село» в г. Пушкин состоялось торжественное открытие ассамблеи, посвященной 115-й годовщине со дня создания и 30-летия воссоздания СПбМС.

Благодаря решению Главного командования ВМФ на ассамблее родилась новая традиция – выставление совместной знаменной группы курсантов Высшего военно-морского инженерного училища Военного учебно-научного центра ВМФ «Военно-морская академия им. Адмирала флота Советского Союза Н. Г. Кузнецова» и ГУМРФ им. адмирала С. О. Макарова.

Затем состоялось уже традиционное выступление Адмиралтейского оркестра Ленинградской военно-морской базы под руководством члена Собрания капитан-лейтенанта Н. С. Игнатова и артистов Государственного академического Мариинского театра под руководством заслуженного артиста России В. В. Самсонова. Прозвучал гимн СПбМС в исполнении солистов Мариинского театра при музыкальном сопровождении оркестра, хотя первое хоровое исполнение его произошло 14 декабря 2024 г. в стенах Центрального военно-морского музея. Это был подарок Собранию курсантского хора «Гардемаринь» Высшего военно-морского инженерного училища Военного учебно-научного центра ВМФ «Военно-морская академия имени Адмирала флота Советского Союза Н. Г. Кузнецова».

Члены СПбМС и присутствующие гости просмотрели видеофильм «Честь, Флот, Отечество», посвященный истории воссоздания Собрания, участию его членов в поисковых работах на суше и на море останков воинов, погибших в годы Великой Отечест-



**57-я Ассамблея Санкт-Петербургского Морского собрания 07.02.2025. Открытие**



**57-я Ассамблея Санкт-Петербургского Морского собрания 07.02.2025. Исполнение Гимна СПбМС**



**57-я Ассамблея Санкт-Петербургского Морского собрания 07.02.2025. Знаменная группа**





*57-я Ассамблея Санкт-Петербургского Морского собрания 07.02.2025  
Благословение духовника СПбМС отца Алексея*



*Награждение директора АНО «Псковская парусная регата» А. Н. Груненьшева*



*Награждение Героя России генерал-полковника А. А. Сердюкова*

венной войны. Вспомнили песни военных лет, которые исполнили артисты Марининского театра. Вспомнили наших участников специальной военной операции.

Торжественная часть с вручением наград началась с выноса Флага РФ, Андреевского флага и Знаменного флага Морского собрания. Благословил собравшихся на ратные подвиги настоятель Николо-Богоявленского Морского кафедрального собора протоиерей отец Алексей, духовник Собрания. С. Н. Ирютин, председатель СПбМС, рассказал о проделанной работе.

За личный вклад в возрождение российских морских традиций среди молодежи, историческое просвещение, военно-патриотическое воспитание, обучение правилам мореплавания вручены благодарственные письма заместителя Председателя Комитета Государственной Думы РФ по науке и высшему образованию В. М. Кононова:

- Груненьшеву Алексею Николаевичу, директору АНО «Псковская парусная регата»,
- Камлюку Василию Владимировичу – старшине СПбМС,
- Мироненко Вячеславу Ивановичу – действительному члену СПбМС,
- Чиликину Александру Леонтьевичу – начальнику Пограничного управления ФСБ РФ по Псковской области.

За реализацию проектов СПбМС по пропаганде героической истории Российского флота, воспитанию молодого поколения на государственно-патриотических идеях и славных вековых флотских традициях, оказанию помощи участникам СВО и их семьям вручены благодарственные письма Председателя Законодательного Собрания Санкт-Петербурга А. Н. Бельского:

- Литвинову Сергею Владимировичу – старшине СПбМС, секретарю Совета старшин Морского собрания,
- Савкину Евгению Анатольевичу – действительному члену СПбМС, генеральному директору ЗАО «Портовый Флот»;
- Луцинской Валентине Михайловне – секретарю-референту СПбМС;
- Кирющенко Николаю Васильевичу – главному редактору издательства «Историческая иллюстрация»;
- Яковлеву Олегу Александровичу – автору текстов и сценариев книг серии «Морская слава России», сотруднику издательства «Историческая иллюстрация»;
- Баскаковой Елене Евгеньевне – художнику-графику книг серии «Морская слава России», сотруд-



нику издательства «Историческая иллюстрация».

За продвижение молодежных инноваций в проектировании вооружения и военной техники вручены благодарственные письма председателя постоянной комиссии Законодательного собрания Ленинградской области по экономике, собственности, инвестициям и промышленности А. В. Русских:

- Суховинскому Игорю Семёновичу – старшине СПбМС, генеральному директору ООО «Винета»,
- Кормилицину Николаю Юрьевичу – действительному члену СПбМС, генеральному директору ЗАО «Барс»,
- Лозе Александру Александровичу – действительному члену СПбМС, генеральному директору ООО «Проектинтертехника»,
- Кирееву Валерию Николаевичу – действительному члену СПбМС, заместителю генерального директора ПФ «Союзпроектверфь», АО «Центр технологии судостроения и судоремонта»,
- Судеревскому Дмитрию Сергеевичу – помощнику председателя СПбМС по хозяйственной части;
- Торбе Владимиру Николаевичу – историографу СПбМС, капитану 1 ранга запаса,
- Антиповой Юлие Борисовне – помощнику председателя СПбМС по финансово-экономической работе – главному бухгалтеру.

За достигнутые результаты в профессиональной, общественной деятельности и в связи с празднованием 80-й годовщины Победы в Великой Отечественной войне 1941–1945 гг., 115-летия со дня образования и 30-летия воссоздания СПбМС и в соответствии с Уставом, Положением о наградах, решением Совета старшин Собрания приказом его председателя от 30.01.2025 г. № 1 награждены:

*Золотым знаком «За 30 лет безупречной службы в СПбМС»:*

- Вихров Николай Михайлович – старшина СПбМС,
- Штепа Александр Иванович – старшина СПбМС;

*Золотым знаком «За 20 лет безупречной службы в СПбМС»:*

- Суховинский Игорь Семёнович – старшина СПбМС;
- орденом «За заслуги»:*

- Сидоров Анатолий Алексеевич – генерал-полковник, Почетный член СПбМС,

- Щербинин Андрей Владимирович – член СПбМС;

*орденом «За заслуги» 1-й степени:*

- Сердюков Андрей Николаевич – генерал-полковник, начальник Штаба ОДКБ;



*Награждение Героя России вице-адмирала О. Е. Белавенцева*



*Награждение старшины СПбМС А. Л. Кашина*



*Награждение старшины СПбМС Г. А. Фокина*



**Награждение генерального директора ФАУ «Российский морской регистр судоходства» С. А. Куликова**

орденом «За воинскую доблесть» 1-й степени:

- Егоров Сергей Валерьевич – генерал-майор, начальник центра – заместитель начальника Национального центра управления обороной РФ,
- Горохов Леонид Бернардович – старшина СПбМС,
- Сильников Никита Михайлович – действительный член СПбМС;  
орденом «За заслуги в морской деятельности» 1-й степени:
- Рыбин Михаил Борисович – старшина СПбМС,
- Варанаускас Гедриус Виталияус – действительный член СПбМС,
- Гайфутдинов Альберт Габдельнурович – действительный член СПбМС,
- Волков Александр Борисович – действительный член СПбМС;  
орденом «За заслуги в морской деятельности» 2-й степени:
- Фокин Сергей Георгиевич – действительный член СПбМС,
- Детков Геннадий Борисович – действительный член СПбМС,
- Рылов Евгений Александрович – действительный член СПбМС,
- Наумов Валентин Николаевич – действительный член СПбМС;  
орденом «За заслуги в морской деятельности» 3-й степени:
- Белавенцев Олег Евгеньевич – вице-адмирал, член СПбМС,
- Кашин Александр Леонидович – старшина СПбМС,
- Климентов Валерий Иванович – директор представительства НПО «Пожарная автоматика сервис» в Санкт-Петербурге, волонтер СПбМС;  
орденом «За трудовую доблесть» 1-й степени:

- Гузенко Владимир Владимирович – старшина СПбМС,
- Макеев Иван Владимирович – действительный член СПбМС,  
медалью имени адмирала Нахимова:
- Шишкин Евгений Владимирович – член СПбМС;  
медалью имени Адмирала Лазарева:
- Калядин Дмитрий Викторович – член СПбМС;  
медалью имени Петра I:
- Марьясов Николай Венедиктович – контр-адмирал, член СПбМС,
- Хитущенко Андрей Витальевич – член СПбМС;  
медалью «В память 300-летия Гангутской битвы»:
- Дригол Владимир Кириллович – контр-адмирал, член СПбМС,
- Государственный историко-архитектурный и природный музей-заповедник «Изборск»,
- Алексеев Анатолий Владимирович – капитан 1 ранга запаса, член СПбМС,
- Полоскин Владимир Геннадьевич – член СПбМС,
- Тимошевский Александр Николаевич – член СПбМС,
- Дубровская Наталья Петровна – директор ГМЗ «Изборск»;  
медалью «В память 250-летия Черменской битвы»:
- Государственный музей-заповедник «Царское Село»,
- Бондырев Владимир Евгеньевич – контр-адмирал СПбМС;  
Знаком «Лидер отрасли» (золото):
- Вильнит Игорь Владимирович – член СПбМС;  
Знаком «Лидер отрасли» (серебро):
- Сильников Михаил Владимирович – член СПбМС;

Знаком «115 лет основания/30 лет возрождения СПбМС» (серебро):

- Королев Владимир Иванович – Почетный председатель СПбМС,
- Барышников Сергей Олегович – старшина СПбМС,
- Воложинский Андрей Ольгертович – Почетный член СПбМС,
- Нехай Руслан Шамсудинович – действительный член СПбМС,
- Грызлов Олег Игоревич – старшина СПбМС,
- Савкин Анатолий Владимирович – старшина СПбМС,
- Куликов Сергей Анатольевич – старшина СПбМС,
- Литвинов Сергей Владимирович – действительный член СПбМС;

Знаком «115 лет основания/30 лет возрождения СПбМС» (бронза):

- Курганский Юрий Николаевич – действительный член СПбМС,
- Смягликова Елена Альбертовна – действительный член СПбМС,
- Сергеев Роман Станиславович – действительный член СПбМС,
- Марковский Сергей Владимирович – действительный член СПбМС,
- Смирнова Елена Сергеевна – директор федерального государственного казенного учреждения культуры и искусства «Центральная военно-морская библиотека» Министерства обороны РФ,
- Смирнов Валентин Георгиевич – директор Российского государственного архива ВМФ;

Ценным подарком – картиной в технике лаковая миниатюра «Адмиралтейство»:

- Королев Владимир Иванович – адмирал, Почетный председатель СПбМС.

Завершилась ассамблея Торжественным приемом от имени Почетного председателя СПбМС адмирала В. И. Королева.

В год защитника Отечества 21 февраля в Собрании открылась выставка «Пушкин и море» Государственного музея-заповедника «Михайловское» и состоялся прием лучших курсантов «Клуба юных моряков».

За реализацию проектов СПбМС по пропаганде героической истории Российского флота, воспитанию молодежи на патриотических идеях и славных флотских традициях, оказанию помощи участникам СВО и их семьям решением Совета старшин от 27 февраля 2025 г. установлен ежегодный праздник Морского собрания, приказ об образовании которого по Морскому ведомству был подписан еще в 1910 г. (№ 25) Морским министром Российской империи вице-адмиралом С. А. Воеводским. ■



1. Автор представляет статью в электронном виде объемом до 20 000 знаков, включая рисунки. Текст набирается в редакторе MS Word под Windows, формулы – в формульном редакторе MathType. Иллюстрации, помещенные в статье, должны быть представлены дополнительно в форматах: TIFF CMYK (полноцветные), TIFF GRAYSCALE (полутонные), TIFF BITMAP (штриховые), EPS, JPEG, с разрешением 300 dpi для полутонных, 600 dpi для штриховых и в размерах, желательных для размещения.

2. Статья должна содержать реферат объемом до 300 знаков, ключевые слова и библиографо-библиотечный индекс УДК. Автор указывает ученую степень, ученое звание, место работы, должность и контактный телефон, а также дает в письменной форме разрешение редакции журнала на размещение статьи в Интернете и Научной электронной библиотеке после

публикации в журнале. Статья представляется с рецензией.

3. Статьи соискателей и аспирантов принимаются к публикации на бесплатной и безгонорарной основе.

4. Контрольное рецензирование этих статей осуществляет редакционная коллегия с привлечением при необходимости профильных специалистов. Рецензии на статьи хранятся в редакции журнала в течение 5 лет.

5. В случае отказа в публикации автору высылается рецензия. Копии рецензий направляются в Минобрнауки России при поступлении соответствующего запроса в редакцию журнала.

6. Содержание журнала ежеквартально представляется на рассмотрение редакционному совету. Решение о выпуске очередного номера оформляется протоколом.

## РЕФЕРАТЫ

УДК 623.933 **Ключевые слова:** автономный необитаемый подводный аппарат, подводная лодка, система базирования, система выпуска, герметичный ангар, шлюзовая камера, прочный корпус

**М.А. Медведев, Е.П. Красильников. Базирование автономных необитаемых подводных аппаратов в ангарах подводных лодок//Морской вестник. 2025. № 1 (93). С. 7**

Рассмотрены различные системы базирования автономных необитаемых подводных аппаратов (АНПА) на подводных лодках (ПЛ) со специальными прочными герметичными ангарами, которые монтируются на их корпус. Практическая значимость: осуществление безопасной транспортировки АНПА разных габаритов до мест их выпуска и использования. Т. 2. Ил. 5. Библиогр. 5 назв.

УДК 628.58:004.896 **Ключевые слова:** автономная навигация, гидролокация, искусственный интеллект, модульная архитектура, необитаемый подводный аппарат, техническое зрение, энергопотребление

**К.С. Ананьев, С.Д. Райская, Е.В. Васильев, Д.С. Шишкин. Создание необитаемого подводного аппарата с применением технологии ИИ в системе управления и компьютерного зрения//Морской вестник. 2025. № 1 (93). С. 11**

Описан процесс разработки необитаемого подводного аппарата (НПА) с использованием технологий искусственного интеллекта (ИИ). Основное внимание уделено анализу конструктивных и технических решений существующих НПА, разработке системы управления и изготовлению макета. Ил. 3.

УДК 534.832; 623.823.2 **Ключевые слова:** подводный шум, вибрация, виброакустические характеристики, фундамент, конструкция, упорный подшипник, резонанс, физическое поле корабля

**А.А. Малец. Исследование вибрации упорного подшипника на корветгах ЦМКБ «Алмаз»//Морской вестник. 2025. № 1 (93). С. 13**

На заводских испытаниях корветов выявили повышенный подводный шум, вызванный конструкцией фундамента под упорный подшипник. В ходе исследования были проанализированы его параметры для оптимизации виброакустических характеристик. Результаты помогут улучшить существующий проект и создать новые варианты фундамента. Подробные рекомендации представлены в работе. Т. 2. Ил. 9. Библиогр. 5 назв.

УДК 620; 691 **Ключевые слова:** боевые и аварийные повреждения, взрывопожарозащищенность, живучесть, негорючие материалы, наливное палубное покрытие, научно-техническое обоснование

**П.А. Зубков. Научно-техническое обоснование комплексных технических и технологических инженерных решений ООО «Морские комплексные системы» в интересах ВМФ России//Морской вестник. 2025. № 1 (93). С. 17**

Выполнен анализ разработок компании ООО «МКС», направленных на научно-техническое обоснование новых технических и технологических решений в области кораблестроения для обеспечения взрывопожарозащищенности кораблей, в том числе их живучести. Т. 1. Ил. 9. Библиогр. 7 назв.

УДК 629.12+629.73 **Ключевые слова:** устройство транспортировки корабельного вертолета, система технического обслуживания, взлет

но-посадочная площадка, летательный аппарат корабельный, эксплуатация, технический анализ

**С.Н. Гречин, Н.С. Григорьев. Вертолетные обслуживающие системы на кораблях ведущих стран мира в сравнении с устройствами транспортировки корабельных вертолетов ВМФ РФ. Часть 2//Морской вестник. 2025. № 1 (93). С. 22**

Рассмотрены основные типы устройств транспортировки корабельных вертолетов ВМФ ведущих стран мира в связке со смежными системами обслуживания палубной вертолетной техники. Т. 1. Ил. 15

УДК 629.562 **Ключевые слова:** крабовое судно, крабово-живовоз, крабово-процессор, транспортировка, орудия лова, ловушки, RSW-цистерны, инвестиционные квоты, рыбопромысловый флот

**В.Ю. Светова, А.В. Кошелев, Е.В. Николаев. К вопросу формирования современного представления о крабовом судне//Морской вестник. 2025. № 1 (93). С. 31**

Изложена история развития и становления промысловых судов для лова краба, совершенствования орудий лова. Рассмотрены требования к среднетоннажному крабовому судну, заявленные в рамках программы инвестиционных квот. Т. 2. Ил. 9. Библиогр. 13 назв.

УДК 004.932 **Ключевые слова:** цифровое изображение, цифровая термограмма, цифровая обработка изображений, дискретное преобразование Фурье, цифровая фильтрация, фильтр Колмогорова–Винера, дискретный вариант фильтрации Колмогорова–Винера, подавление шума

**Е.К. Самаров. Подавление мультипликативных помех в цифровых термограммах сварных соединений судовых конструкций с помощью дискретного фильтра Колмогорова–Винера//Морской вестник. 2025. № 1 (93). С. 37**

Предложен метод подавления мультипликативных помех, возникающих в цифровых термограммах, которые используются для контроля качества сварных соединений судовых конструкций. В условиях поставленной задачи показана эквивалентность предложенного фильтра и инверсной фильтрации. Библиогр. 10 назв.

УДК 629.5.081 **Ключевые слова:** цифровизация, цифровой двойник, композиты, композитные технологии, методы измерения, электронно-геометрическая модель

**И.С. Шутова. Пути обеспечения качества и надежности электронной геометрической модели из композитных материалов//Морской вестник. 2025. № 1 (93). С. 38**

Композиты обладают высокой прочностью, малым весом и многими другими положительными свойствами, что делает их незаменимыми во многих отраслях промышленности, таких как авиация, автомобильное производство, строительство и другие. Рассмотрены основные пути обеспечения качества и надежности электронной геометрической модели из композитных материалов. Т. 1. Ил. 3. Библиогр. 5 назв.

УДК 629.5 **Ключевые слова:** судостроение, судоремонт, послепродажное обслуживание, унификация, стандартизация, функциональность системы, классификация основных и вспомогательных типовых процессов информационного систем, создание и обеспечение управления моделью жизненного

цикла военной и гражданской морской техники

**П.В. Никитин. О требованиях унификации к процессам разработки информационных систем управления на базе ИТД РФ при их цифровой трансформации//Морской вестник. 2025. № 1 (93). С. 43**

В связи с требованиями цифровизации производственных процессов и цифровой трансформации бизнес-процессов представляется актуальным регламентированный инжиниринг автоматизированных систем управления верфи на базе унификации этапов их создания. Предлагается при формировании структуры системы управления судостроительным комплексом перейти от структуризации системы управления в составе программно-аппаратных комплексов (CAD, CAM, CAE, ..., PLM... SCADA...) к формированию бизнес-процессов системы управления на базе датацентричного принципа формирования информационного пространства. Ил. 6. Библиогр. 19 назв.

УДК 629.128 **Ключевые слова:** теория управления механических систем, судостроение, имитационное моделирование, цифровая трансформация, технология судостроения, устойчивость, граф системы управления, цифровые двойники, технология постройки, определение устойчивости

**Г.Я. Кремлёв, Д.И. Гомонов. Аспекты применения задач теории управления в системных подходах имитационного моделирования технологии постройки кораблей и судов//Морской вестник. 2025. № 1 (93). С. 49**

Рассмотрены система построения технологического процесса по модели проеканта методами инверсии, а также особенности формирования графа управления на оперативном уровне и уровне системы управления. Ил. 2. Библиогр. 9 назв.

УДК 621.315.29 **Ключевые слова:** кабельная подвеска, устройство для крепления кабеля, линия профилирующая ЛПС45.1110000-01, электромонтажные работы, снижение трудоемкости, конкурентные преимущества

**Ю.Н. Разумов, Е.В. Сердюков, О.А. Тараханов. Проект инновационного крепления магистральных и местных кабелей на кораблях, судах и плавсредствах//Морской вестник. 2025. № 1 (93). С. 52**

Рассмотрено снижение трудоемкости при креплении кабеля в подвесках и сокращение стоимости электромонтажных работ на строящихся судах. Для получения данного результата разработано и запатентовано устройство для крепления магистральных и местных кабелей – кабельная подвеска, которая обладает рядом конкурентных преимуществ по сравнению с существующими аналогами. Т. 2. Ил. 5. Библиогр. 10 назв.

УДК 669.018.4 **Ключевые слова:** сульфидно-окисидная коррозия, жаропрочные сплавы, скорость коррозии

**А.З. Багерман, И.П. Леонова, С.А. Заводов, А.А. Живушкин. Нормирование коррозионной стойкости жаропрочных никелевых сплавов//Морской вестник. 2025. № 1 (93). С. 56**

Предложены критерии и методика расчетной оценки коррозионной стойкости жаропрочных сплавов на основе никеля при высоких температурах. Т. 5. Ил. 1. Библиогр. 5 назв.

УДК 536.1 **Ключевые слова:** адиабатный процесс, теплофизическое исследование, термоди-

намические процессы, реальный газ, экспериментальное исследование

**Д.О. Глазырина, Д.М. Кучинский, С.А. Паимцев. Экспериментальное исследование адиабатного процесса реального газа//Морской вестник. 2025. № 1 (93). С. 58**

Рассмотрена полученная формула реального газа для адиабатного процесса и определение показателя адиабаты. Представлена экспериментальная установка для исследования адиабатного расширения воздуха. Проведено сравнение экспериментальных данных и расчетов по некоторым наиболее известным моделям. Ил. 2. Библиогр. 3 назв.

УДК 629.5.068.4 **Ключевые слова:** инсинератор, импортозамещение, судовое комплектующее оборудование

**А.В. Бураков, Р.И. Демидюк, С.Ю. Титова, Д.В. Балакшина, В.С. Канев. Инсинераторы «Искра» для сжигания твердых и жидких нефтяных отходов на судах гражданского флота и кораблях ВМФ//Морской вестник. 2025. № 1 (93). С. 63**

Изложен опыт АО «Компрессор» в области разработки различного судового оборудования, расширения линейки выпускаемого судового оборудования для переработки отходов на судах. Рассмотрен созданный судовой инсинератор Искра10.01, предназначенный для сжигания твердых отходов и жидких нефтесодержащих отходов на судах различного назначения. Ил. 4. Библиогр. 13 назв.

УДК 681.518.5; 004.896; 621.824 **Ключевые слова:**

диагностическая аппаратура, профилометрический датчик, бортовой микроконтроллер, робототехническое устройство, встраиваемое программное обеспечение

**А.Е. Васильев, А.В. Вегнер, Д.Е. Голубева, В.А. Карпенко, В.Д. Ковалев. Профилометрическая подсистема робототехнического комплекса диагностики внутренней поверхности судовых валопроводов//Морской вестник. 2025. № 1 (93). С. 67**

Проанализирован вариант реализации средств диагностики внутренней поверхности судовых валопроводов на основе профилометрических подсистем, встраиваемых в подвижный робототехнический модуль. Ил. 5. Библиогр. 6 назв.

УДК 620.92 **Ключевые слова:** морская энергетика, возобновляемые источники энергии, энергия волн, приливов, морских течений, океанотермическая энергия (ОТЕС), ветровая энергия на шельфе, устойчивое развитие, энергетическая безопасность, климатические изменения, MeuGen, Hornsea One, Makarú'u OTEC Plant

**К.Ю. Шеничных. Развитие морских альтернативных источников энергии//Морской вестник. 2025. № 1 (93). С. 69**

Проанализированы ключевые виды морской энергии, включая энергию волн, приливов, морских течений, океанотермическую энергию (ОТЕС) и ветровую энергию на шельфе. Рассмотрены современные технологии, их преимущества, ограничения и примеры успешных проектов, таких как MeuGen, Hornsea One и Makarú'u OTEC Plant, которые демонстрируют возможности интеграции морской энергии в глобальную энергетическую систему. Библиогр. 8 назв.

УДК 621.512 **Ключевые слова:** преобразование Гильберта–Хуанга, поршневой компрессор, эмпирическая модовая декомпозиция, диагностика, обработка нестационарных сигналов

**Р.Р. Хотский, А.В. Макшанов, А.В. Бураков, Л.Н. Тындыкарь. Диагностика неисправностей судовых поршневых компрессоров с использованием преобразования Гильберта–Хуанга//Морской вестник. 2025. № 1 (93). С. 71**

Выполнен анализ основных существующих методов частотно-временного преобразования для обнаружения неисправностей поршневых компрессоров, отмечены их достоинства и недостатки. Детально рассмотрено преобразование Гильберта–Хуанга. Проведен анализ алгоритма эмпирической модовой декомпозиции, отражающей локальные особенности дефектов. Т.1. Ил. 4. Библиогр. 12 назв.

УДК 621.391 **Ключевые слова:** цифровые модемы, морская радиосвязь, спектрограммы передач, диапазон промежуточных и коротких радиоволн

**В.А. Долгих. Анализ структуры сигналов цифровой модуляции, используемых на линиях морской радиосвязи//Морской вестник. 2025. № 1 (93). С. 79**

Представлены результаты анализа современных цифровых модемов, используемых на линиях морской радиосвязи диапазона промежуточных волн и коротких волн. Ил. 8. Библиогр. 24 назв.

УДК 623.624 **Ключевые слова:** загоризонтная РЛС, угол рассогласования, эффективность обнаружения цели, излучатель помех

**А.Н. Антонов, Ю.О. Батурин, Д.В. Канищев. Оценка влияния помехового воздействия на загоризонтную радиолокационную станцию//Морской вестник. 2025. № 1 (93). С. 83**

Представлены результаты оценки влияния удаления излучателя помех от загоризонтной радиолокационной станции (ЗГ РЛС) и угла рассогласования между ними на эффективность обнаружения цели ЗГ РЛС. Иллюстрируются полученные зависимости эффективности работы ЗГ РЛС от указанных параметров. Ил. 3. Библиогр. 5 назв.

УДК 621.396.621 **Ключевые слова:** навигационные спутниковые системы, помехоустойчивость, морская навигация, оптимизированные помехи, адаптивные алгоритмы, пространственная обработка сигналов

**Е.И. Глушанков, Д.И. Кирик, З.К. Кондрашов, Е.А. Рылов, А.А. Морозов. Анализ помехоустойчивости локальных систем морской навигации в условиях воздействия оптимизированных помех//Морской вестник. 2025. № 1 (93). С. 89**

Проведен анализ функционирования локальной навигационной системы в условиях воздействия только взаимных помех от других радиоэлектронных средств и функционирование в условиях воздействия оптимизированных помех. Это позволит определить потенциальные границы ее помехоустойчивости в наилучших условиях. Ил. 3. Библиогр. 18 назв.

УДК 623.973 **Ключевые слова:** низкочастотное электромагнитное поле, система компенсации, электромагнитная индукция, источник низкочастотного электромагнитного поля, компенсационная обмотка АСК

**Б.Ю. Семёнов. Оценка погрешности воспроизведения и измерения магнитных моментов низкочастотного электромагнитного поля корабельного электрооборудования в составе автоматических систем компенсации//Морской вестник. 2025. № 1 (93). С. 93**

Анализируются характеристики магнитных моментов низкочастотного электромагнитного поля корабельного оборудования и пределы достижения минимальной погрешности компенсации низкочастотного электромагнитного поля в точке на контрольном расстоянии, а также в окрестностях контрольной точки. Ил. 9.

УДК 004.032.26 **Ключевые слова:** машинное обучение, встраиваемые системы, искусственный интеллект, операционные системы реального времени, Нейтрино, Синаптика, интерференционная модель

**Н.А. Бабич, А.М. Чуманов. Разработка приложений искусственного интеллекта для встраиваемых систем//Морской вестник. 2025. № 1 (93). С. 96**

Предложена универсальная платформа для построения встраиваемых систем сбора и обработки данных с помощью технологий искусственного интеллекта, функционирующая на базе защищенной операционной системы реального времени Нейтрино. Ил. 1. Библиогр. 6 назв.

УДК 629.05 **Ключевые слова:** имитационное моделирование, машинный телеграф, тренажер, цифровой двойник

**Д.Н. Мосичкин, С.Н. Юдин. Цифровой двойник – инновационное решение для привязки системы аварийного машинного и рулевого телеграфов к проекту корабля (судна)//Морской вестник. 2025. № 1 (93). С. 99**

Обозначены цели разработки цифрового двойника для систем машинных и рулевых телеграфов. Приведены технические подробности реализации эмулятора и его структура. Ил. 2.

УДК 621.394.6 **Ключевые слова:** беспроводные технологии, автономное судовождение, морские автономные суда (MASS), безопасность судоходства, e-Navigation, a-Navigation, архитектура гетерогенных сетей (HWAN)

**С.И. Биденко, Е.Р. Пакшина, К.В. Гольдибаев, И.А. Поквонников. a-Navigation: телекоммуникационно-связанная поддержка морского домена автономного судовождения//Морской вестник. 2025. № 1 (93). С. 102**

Обсуждается важность морских беспроводных технологий для обеспечения безопасности и эффективности судоходства, включая внедрения систем e-Navigation и a-Navigation. Ил. 3. Библиогр. 10 назв.

УДК 621.391 **Ключевые слова:** гауссов канал, взаимная информация, мешающие сигналы с близкой частотно-временной структурой

**С.С. Дворников, С.В. Дворников. Оценка взаимного деструктивного влияния сигналов близкой структуры в каналах управления беспилотных систем//Морской вестник. 2025. № 1 (93). С. 105**

Представлены результаты исследования воздействия взаимных непреднамеренных помех на каналы управления беспилотных летательных аппаратов. Получены аналитические выражения для оценки взаимной информации сигналов с близкой частотно-временной структурой. Представлены графики зависимости полной средней взаимной информации от соотношения энергетических параметров полезного и мешающего сигналов. Ил. 2. Библиогр. 17 назв.

УДК 656.61 **Ключевые слова:** безопасность плавания, навигационные аварии, цифровые технологии, кибербезопасность, снижение человеческого фактора

**М.А. Лущиков. Современные технологии, обеспечивающие безопасность мореплавания//Морской вестник. 2025. № 1 (93). С. 107**

Рассмотрены современные технологии, обеспечивающие безопасность мореплавания. Основное внимание уделено системам предотвращения навигационных аварий, мониторинга и управления состоянием судов, а также перспективам внедрения инновационных решений. Проанализированы позитивные и негативные аспекты Библиогр. 10 назв.

УДК 623.8 **Ключевые слова:** подводные лодки, Ладожское озеро, разведка, боевая подготовка, 3-й и 5-й дивизионы Бригады подводных лодок, Краснознаменный Балтийский флот

**В.Н. Половинкин, С.В. Федулов, А.Н. Конеев. Подводные лодки на Ладоге в 1943–1944 гг.//Морской вестник. 2025. № 1 (93). С. 110**

В статье, посвященной 80-летию Великой Победы, освещаются боевая и учебно-боевая деятельность восьми подводных лодок 3-го и 5-го дивизионов Бригады подводных лодок Краснознаменного Балтийского флота в 1943–1944 гг. на Ладожском озере. Ил. 6. Библиогр. 17 назв.

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 3//Морской вестник. 2025. № 1 (93). С. 113**

Профессиональное проектирование надводных кораблей в КНР (вторая половина 1950-х – начало 1960-х гг.) происходило с широким использованием советской военно-технической помощи в период радикального изменения взглядов на роль надводных кораблей в ВМФ СССР. Выполнен ретроспективный анализ развития крупных надводных кораблей ВМС НОАК. Рассмотрены политико-экономические и военно-технические условия формирования кораблестроительного комплекса КНР. Ил. 13.



1. Authors shall submit articles of up to 20,000 characters, including figures, in electronic form. The text shall be typed in MS Word under Windows, formulas – in the equation editor «MathType.» Illustrations present in the article shall be submitted additionally, in the following formats: TIFF CMYK (full color), TIFF GRAYSCALE (grayscale), TIFF BITMAP (dashed), EPS, JPEG, with resolution of 300 dpi for grayscale figures and 600 dpi for dashed ones and in sizes desired for placement.

2. Articles shall contain an abstract of up to 300 characters, keywords, and bibliographic library UDC identifier. Authors shall indicate their degree, academic status, place of employment, job position, and telephone number, as well as provide a written permission of the Editor to place articles on the Internet and in the Scientific Electronic Library after publication in the journal. Articles shall be submitted with reviews.

3. The articles of postgraduate and degree-seeking students shall be accepted for publication on a free and royalty-free basis.

4. The control review of these articles shall be performed by the editorial board, with the assistance of dedicated experts, if necessary. Reviews of articles are stored in editorial office of the magazine within 5 years.

5. In case of refusal to publish articles, reviews shall be sent to authors. Copies of reviews go to the Ministry of Education and Science of the Russian Federation at receipt of the corresponding inquiry in editorial office of the magazine.

6. The contents of the journal shall be submitted to the editorial board quarterly. The decision concerning the next issue of the journal shall be formally established with the protocol.

ABSTRACTS

UDC 623.933 **Keywords:** autonomous unmanned underwater vehicle, submarine, basing system, release system, watertight hangar, lock chamber, robust hull

**M.A. Medvedev, E.P. Krasil'nikov. Basing of autonomous unmanned submarine vehicles in submarine hangars//Morskoy Vestnik. 2025. No. 1 (93). P. 7**

Various systems for basing autonomous unmanned underwater vehicles (AUUVs) on submarines (SSNs) are considered, including specially designed robust watertight hangars mounted on the submarine's hull. Practical significance: Ensuring safe transportation of AUUVs of different sizes and applications to their deployment and operational locations. T. 2. Fig. 5. Bibliography 5 titles.

UDC 628.58:004.896 **Keywords:** autonomous navigation, sonar, artificial intelligence, modular architecture, unmanned underwater vehicle, machine vision, energy consumption

**K.S. Anan'yev, S.D. Raiskaya, E.V. Vasil'ev, D.S. Shishkin. Development of an unmanned underwater vehicle using AI technology in the control system and computer vision//Morskoy Vestnik. 2025. No. 1 (93). P. 11**

The article describes the process of developing an unmanned underwater vehicle (UUV) using artificial intelligence (AI) technologies. The main attention is paid to the analysis of the design and technical solutions of existing UUVs, the development of a control system and the manufacture of a model. Fig. 3.

UDC 534.832; 623.823.2 **Keywords:** underwater noise, vibration, vibroacoustic characteristics, foundation, design, thrust bearing, resonance, physical field of the ship

**A.A. Malets. Study of vibration of the thrust bearing on the corvettes of the Almaz Central Marine Design Bureau//Morskoy Vestnik. 2025. No. 1 (93). P. 13**

During factory tests of the corvettes, increased underwater noise was detected, caused by the design of the foundation for the thrust bearing. During the study, its parameters were analyzed to optimize the vibro-acoustic characteristics. The results will help to improve the existing project and create new foundation options. Detailed recommendations are presented in the work. T. 2. Fig. 9. Bibliography 5 titles.

UDC 620:691 **Keywords:** combat and accident damage, explosion and fire protection, survivability, non-combustible materials, self-leveling deck coating, scientific and technical justification

**P.A. Zubkov. Scientific and technical justification of complex technical and technological engineering solutions of Marine Complex Systems LLC in the interests of the Russian Navy//Morskoy Vestnik. 2025. No. 1 (93). P. 17**

The analysis of the developments of MKS LLC aimed at the scientific and technical justification of new technical and technological solutions in the field of shipbuilding to ensure explosion and fire protection of ships, including their survivability is carried out. T. 1. Fig. 9. Bibliography 7 titles.

UDC 629.12+629.73 **Keywords:** shipborne helicopter transportation device, maintenance sys-

tem, takeoff and landing pad, shipborne aircraft, operation, technical analysis

**S.N. Grechin, N.S. Grigor'ev. Helicopter maintenance systems on ships of the world's leading countries in comparison with devices for transporting shipborne helicopters of the Russian Navy. Part 2//Morskoy Vestnik. 2025. No. 1 (93). P. 22**

The main types of devices for transporting shipborne helicopters of the Navy of the world's leading countries are considered in conjunction with related systems for servicing deck helicopter equipment. T. 1. Fig. 15.

UDC 629.562 **Keywords:** crab fishing vessel, crab fisherman, live-carrying crab fisherman, crab fisherman-processor, transportation, fishing gear, traps, RSW tanks, investment quotas, fishing fleet,

**V.Yu. Svetova, A.V. Koshelev, E.V. Nikolaev. On the Formation of a Modern Concept of a Crab Fishing Vessel//Morskoy Vestnik. 2025. No. 1 (93). P. 31**

The article presents the history of the development and establishment of fishing vessels for crab fishing, and the improvement of fishing gear. The requirements for a medium-tonnage (crab) vessel declared within the framework of the investment quota program are considered. T. 2. Fig. 9. Bibliography 13 titles.

UDC 004.932 **Keywords:** digital images, digital thermograms, digital image processing, discrete Fourier transformation, digital filtration, Kolmogorov-Wiener filter, discrete variant of Kolmogorov-Wiener filtration, noise suppression.

**E.K. Samarov. A multiplicative noise suppression in digital thermograms of welded joints for ship structures based on a discrete Kolmogorov-Wiener filter//Morskoy Vestnik. 2025. No. 1 (93). P. 37**

The article proposes a method for suppressing multiplicative interference occurring in digital thermograms used for quality control of welded joints of ship structures. Under the conditions of the task, the equivalence of the proposed filter and inverse filtering is shown. Bibliography 10 titles.

UDC 629.5.081 **Keywords:** digitalization, digital twins, composites, composite technologies, measurement methods, electronic geometric model

**I.S. Shutova. Ways to quality and reliability of electronic geometric model from composite materials//Morskoy Vestnik. 2025. No. 1 (93). P. 38**

In the modern industrial sphere, the use of composite materials is becoming increasingly popular. Composites have high strength, low weight and many other positive properties, which makes them indispensable in many industries, such as aviation, automotive production, construction and others. This paper will consider the main ways to ensure the quality and reliability of an electronic geometric model made of composite materials. T. 1. Fig. 3. Bibliography 5 titles.

UDC 629.5 **Keywords:** shipbuilding, ship repair, after-sales service, unification, standardization, system functionality, classification of the main and auxiliary typical processes of in-

formation systems for the creation and management of the life cycle model of military and civil marine equipment

**P.V. Nikitin. On the requirements for unification of the processes of developing information management systems based on the NTD of the Russian Federation during their digital transformation//Morskoy Vestnik. 2025. No. 1 (93). P. 43**

In connection with the requirements for the digitalization of production processes and the digital transformation of business processes, it is relevant to implement regulated engineering of automated shipyard management systems based on the unification of the stages of their creation. It is proposed to move from structuring the management system as part of software and hardware complexes (CAD, CAM, CAE, ...PLM... SCADA...) to forming the business processes of the management system based on the data-centric principle of forming the information space when forming the structure of the management system of the shipbuilding complex. Fig. 6. Bibliography 19 titles.

UDC 629.128 **Keywords:** Mechanical systems control theory, shipbuilding, simulation modeling, digital transformation, shipbuilding technology, sustainability, control system graph, digital twins, construction technology, stability determination

**G.Ya. Kremlyov, D.I. Gomonov. Aspects of application of control theory problems in system approaches to simulation modeling of ship and vessel construction technology//Morskoy Vestnik. 2025. No. 1 (93). P. 49**

The article considers the system of constructing a technological process from the designer's model, using inversion methods, and considers the features of forming a control graph at the operational level and the control system level. Fig. 2. Bibliography 9 titles.

UDC 621.315.29 **Keywords:** cable suspension, cable fastening device, profiling line LPS45.1110000-01, reduction of labor intensity in performing EMR, competitive advantages

**Yu.N. Razumov, E.V. Serdyukov, O.A. Tarakanov. Project of innovative fastening of main and local cables on ships, vessels and floating craft//Morskoy Vestnik. 2025. No. 1 (93). P. 52**

The article discusses the reduction of labor intensity when fastening cables in hangers and the reduction of the cost of the electrical installation stage on ships under construction. To achieve this result, a device for fastening main and local cables (hereinafter referred to as a cable hanger) was developed and patented, which has a number of competitive advantages over existing analogues. The project involves the manufacture of cable hangers and its implementation not only within the framework of state defense orders, military-technical cooperation, but also for civilian ships. T. 2. Fig. 5. Bibliography 10 titles.

UDC 669.018.4 **Keywords:** sulfide-oxide corrosion, heat-resistant alloys, corrosion rate

**A.Z. Bagerman, I.P. Leonova, S.A. Zavodov, A.A. Zhivushkin. Standardization of corrosion resistance of heat-resistant nickel alloys//Morskoy Vestnik. 2025. No. 1 (93). P. 56**

Criteria and methodology for calculating the corrosion resistance of heat-resistant nickel-based alloys at

high temperatures are proposed. T. 5. Fig. 1. Bibliography 5 titles.

UDC 536.1 **Keywords:** adiabatic process, thermophysical research, thermodynamic processes, real gas, experimental research

**D.O. Glazyrina, D.M. Kuchinsky, S.A. Paimtsev. Experimental study of the adiabatic process of a real gas//Morskoy Vestnik. 2025. No. 1 (93). P.58**

The obtained formula of a real gas for an adiabatic process and the determination of the adiabatic index are considered. An experimental setup for studying the adiabatic expansion of air is presented. An experiment and calculation were carried out using some of the most well-known models. Fig. 2. Bibliography 3 titles.

UDC 629.5.068.4 **Keywords:** incinerator, shipbuilding, import substitution, marine accessories

**A.V. Burakov, R.I. Demidiyuk, S.Yu. Titova, D.V. Balakshina, V.S. Kanev. Incinerators «ISKRA» for burning solid and liquid oil waste on ships of the civilian fleet and naval ships//Morskoy Vestnik. 2025. No. 1 (93). P. 63**

This article presents the experience of JSC «Compressor» in the field of development of various marine equipment, expanded the range of manufactured marine equipment for waste processing on ships, developed and manufactured the ISKRA10.01 marine incinerator, designed for burning solid waste and liquid oil-containing waste on ships of various purposes, passed tests and received RS type approval certificates (MARPOL 73/78). Fig. 4. Bibliography 13 titles.

UDC 681.518.5, 004.896, 621.824 **Keywords:** diagnostic equipment; profilometric sensor; on-board microcontroller; robotic device; embedded software

**A.E. Vasil'ev, A.V. Wegner, D.E. Golubeva, V.A. Karpenko, V.D. Kovalev. Profilometric subsystem of robotic device for the ship shaftings internal surface diagnostics//Morskoy vestnik. 2025. № 1 (93). P.67**

The article considers a variant of tools for the ship shaftings internal surface diagnostics based on profilometric subsystems built into a mobile robotic module. The hardware and software organization of the profilometric subsystem is described, and the results of its experimental researches are presented. Fig. 5. Bibliography 6 titles.

UDC 620.92 **Keywords:** marine energy, renewable energy sources, wave energy, tidal energy, ocean current energy, ocean thermal energy conversion (OTEC), offshore wind energy, sustainable development, energy security, climate change, MeyGen, Hornsea One, Makapu'u OTEC Plant

**K.Yu. Pshenichnykh. Development of marine alternative energy sources//Morskoy Vestnik. 2025. No. 1 (93). P. 69**

The paper examines marine alternative energy sources as a promising direction in the field of renewable energy. Key types of marine energy are analyzed, including wave energy, tidal energy, ocean current energy, ocean thermal energy conversion (OTEC), and offshore wind energy. Modern technologies, their advantages, limitations, and examples of successful projects such as MeyGen, Hornsea One, and Makapu'u OTEC Plant are discussed, demonstrating the potential of integrating marine energy into the global energy system. Bibliography 8 titles.

UDC 621.512 **Keywords:** Hilbert–Huang transform, piston compressor, empirical mode decomposition, diagnostics, processing of non-stationary signals

**R.R. Khotskiy, A.V. Makshanov, A.V. Burakov, L.N. Tynydykar'. Diagnostics of faults of marine piston compressors using the Hilbert–Huang transform//Morskoy Vestnik. 2025. No. 1 (93). P. 71**

Marine piston compressors are the main elements of compressed air systems, their malfunctions can lead to significant economic losses and violations of operational safety. The analysis of the main existing methods of frequency-time transformation for detecting faults of piston compressors is carried out, their advantages and disadvantages are noted. T. 1. Fig. 4. Bibliography 12 titles.

UDC 621.391 **Keywords:** digital modems, marine radio communication, transmission spectrograms, intermediate and short wave range

**V.A. Dolgikh. Analysis of the structure of digital modulation signals used on marine radio communication lines//Morskoy Vestnik. 2025. No. 1 (93). P. 79**

The article presents the results of the analysis of modern digital modems used on marine radio communication lines of the intermediate wave and short wave range. The transmission spectrograms of the specified modems are demonstrated and explanations are given of the structural features of the signals used in them. The main technical characteristics of the modems are given. Fig. 8. Bibliography 24 titles.

UDC 623.624 **Keywords:** over-the-horizon radar, misalignment angle, effectiveness of target detection, interference emitter

**A.N. Antonov, Yu.O. Baturin, D.V. Kanishev. Assessment of the Impact of Interference on Over-the-Horizon Radar//Morskoy Vestnik. 2025. No. 1 (93). P. 83**

The results of the evaluations of the effect of removing the interference emitter from the over-the-horizon radar (OHR) and the angle of misalignment between them on the effectiveness of detecting the radar target are presented. The obtained dependences of the efficiency of the OHR on the specified parameters are illustrated. Fig. 3. Bibliography 5 titles.

UDC 621.396.621 **Keywords:** navigation satellite systems, noise immunity, maritime navigation, optimized interference, adaptive algorithms, spatial signal processing

**E.I. Glushankov, D.I. Kirik, Z.K. Kondrashov, E.A. Rylov, A.A. Morozov. Analysis of Noise Immunity of Local Marine Navigation Systems under Optimized Interference//Morskoy Vestnik. 2025. No. 1 (93). P. 89**

The article analyzes the operation of a local navigation system (LNS) under conditions of only mutual interference from other electronic equipment and its operation under optimized interference, which will allow determining the potential limits of its noise immunity under the worst conditions. Fig. 3. Bibliography 18 titles.

UDC 623.973 **Keywords:** low-frequency electromagnetic field, compensation system, electromagnetic induction, low-frequency electromagnetic field source, compensation winding of the ASC

**B.Yu. Semyonov. Estimation of the error in reproducing and measuring magnetic moments of the low-frequency electromagnetic field of ship electrical equipment as part of automatic compensation systems//Morskoy Vestnik. 2025. No. 1 (93). P. 93**

The characteristics of the magnetic moments of the low-frequency electromagnetic field of ship equipment and the limits of achieving the minimum error in compensating for the low-frequency electromagnetic field at a point at a control distance, as well as in the vicinity of the control point are analyzed. Fig. 9.

UDC 004.032.26 **Keywords:** machine learning, embedded systems, artificial intelligence, real-time operating systems, Neutrino, Synaptica, interference library

**N.A. Babich, A.M. Chumanov. Development of artificial intelligence applications for Embedded systems//Morskoy Vestnik. 2025. No. 1 (93). P. 96**

A universal platform for building embedded systems for collecting and processing data using artificial intelligence technologies is proposed, operating on the basis of the Neutrino secure real-time operating system. The structure of the platform and an example of its application for developing a system for monitoring abnormal activity are given. Fig. 1. Bibliography 6 titles.

UDC 629.05 **Keywords:** simulation modeling, machine telegraph, simulator, digital twin

**D.N. Mosichkin, S.N. Yudin. Digital twin – an innovative solution for linking the emergency engine and rudder tele-**

**graph system to the ship (vessel) projects//Morskoy Vestnik. 2025. № 1 (93). P. 99**

The article describes the goals of developing a digital twin for machine and steering telegraph systems, and provides technical details of the emulator's implementation and structure. Fig. 2.

UDC 621.394.6 **Keywords:**wireless technologies, autonomous navigation, marine autonomous ships (MASS), shipping safety, e-Navigation, a-Navigation, heterogeneous wide area network (HWAN) architecture

**S.I. Bidenko, E.R. Pakshina, K.V. Gol'dibaev, I.A. Polkovnikov. a-Navigation: telecommunication and communication support for the maritime domain of autonomous navigation//Morskoy Vestnik. 2025. No. 1 (93). P. 102**

The importance of marine wireless technologies for ensuring the safety and efficiency of shipping, including the implementation of e-Navigation and a-Navigation systems, is discussed. These systems require high-performance wireless networks for radio resource management and quality of service. Fig. 3. Bibliography 10 titles.

UDC 621.391 **Keywords:** gaussian channel, mutual information, interfering signals with similar frequency-time structure

**S.S. Dvornikov, S.V. Dvornikov. Evaluation of mutual destructive influence of signals of similar structure in control channels of unmanned systems//Morskoy vestnik. 2025. № 1 (93). P. 105**

The article presents the results of a study of the impact of mutual unintended interference on unmanned aerial vehicle control channels. Analytical expressions for estimating mutual information of signals with similar frequency-time structure are obtained. Graphs of the dependence of the total average mutual information on the ratio of the energy parameters of the useful and interfering signals are presented. Fig. 2. Bibliography 17 titles.

UDC 656.61 **Keywords:** navigation safety, navigation accidents, digital technologies, cybersecurity, reducing the human factor

**M.A. Lushchikov. Modern technologies ensuring safety of navigation//Morskoy Vestnik. 2025. No. 1 (93). P. 107**

The article deals with modern technologies ensuring safety of navigation. The main attention is paid to the systems of prevention of navigational accidents, monitoring and ship condition management, as well as the prospects for the introduction of innovative solutions. Bibliography 10 titles.

UDC 623.8 **Keywords:** submarines, Lake Ladoga, reconnaissance, combat training, 3rd and 5th divisions of the Submarine Brigade, Red Banner Baltic Fleet

**V.N. Polovinkin, S.V. Fedulov, A.N. Koneev. Submarines on Ladoga (1943–1944)//Morskoy Vestnik. 2025. No. 1 (93). P. 110.**

The article dedicated to the 80th anniversary of the Great Victory highlights the combat and combat training activities of eight submarines of the 5th and 3rd divisions of the Submarine Brigade of the Red Banner Baltic Fleet in 1943–1944 on Lake Ladoga. Fig. 6. Bibliography 17 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 3//Morskoy Vestnik. 2025. No. 1 (93). P. 113**

Professional design of surface ships in the PRC (second half of the 1950s – early 1960s) took place with the extensive use of Soviet military-technical assistance during a period of radical changes in views on the role of surface ships in the USSR Navy. The article provides 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 shipbuilding complex of the PRC are considered. Fig. 13.