

Морской



Вестник

№1 (97)

М а р т

2 0 2 6

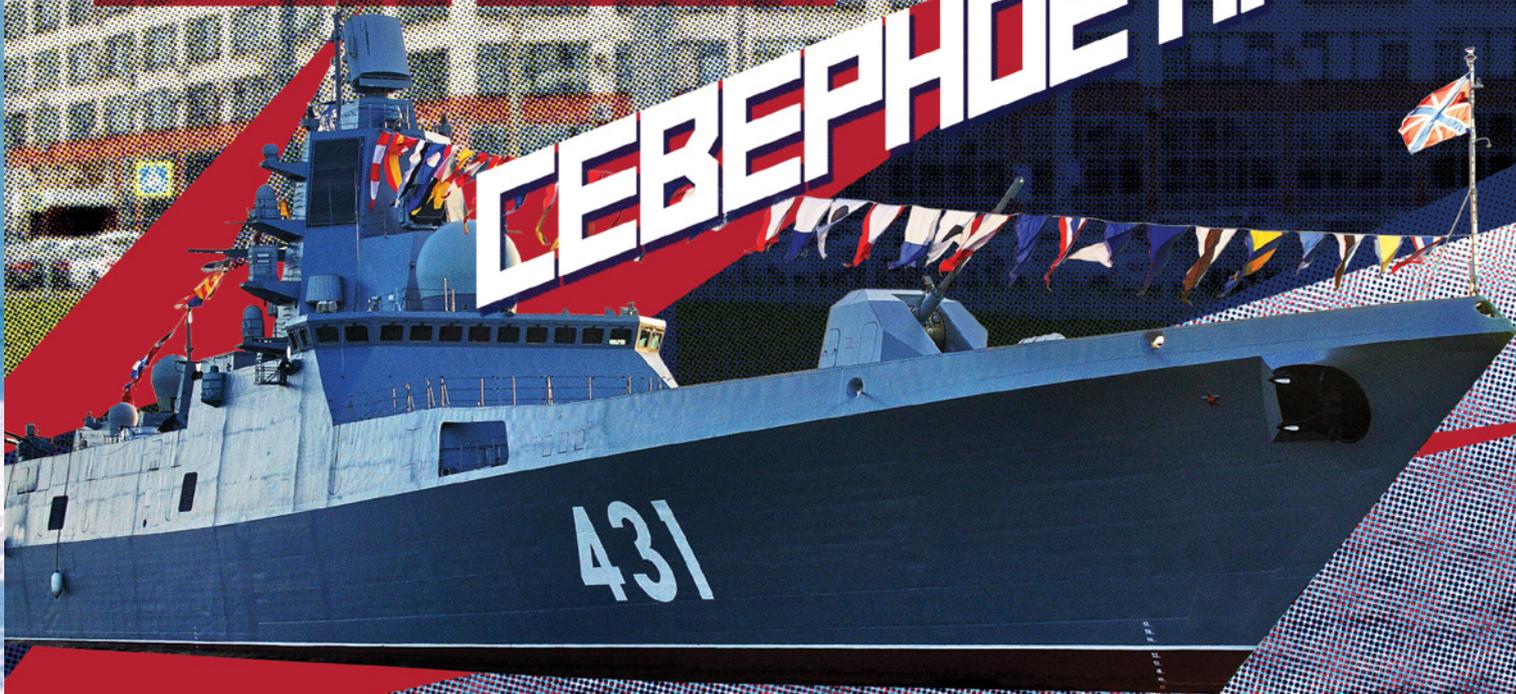
ISSN 1812-3694

Morskoy Vestnik

ОСК СЕВЕРНОЕ ПКБ

80 ЛЕТ

СЕВЕРНОЕ ПКБ



С. Н. ИРЮТИНУ - 70 ЛЕТ

Ветерану Вооруженных сил РФ, воину-интернационалисту, капитану 1 ранга запаса Сергею Николаевичу Ирютину 2 февраля исполнилось 70 лет.

В 1987 г. с отличием окончил пятимесячные курсы при Военно-морской академии им. А. А. Гречко по специальности «Организация и методика учебно-воспитательного процесса высших военно-морских учебных заведений». Стажировку проходил по кафедре «Международное морское право», диссертационное исследование проводил при кафедре № 24. Прошел профессиональную переподготовку при Санкт-Петербургском университете в 2000–2001 гг. по специальности «Юриспруденция в сфере юридической практики преподавания юриспруденции с внедрением в образовательный процесс международных стандартов».

Родился он 2 февраля 1956 г. в д. Сосно Псковской области в семье рыбака. В 1978 г. окончил Высшее военно-морское училище им. М. Ф. Фрунзе, в 1984 г. – командный факультет 6 ВСОК ВМФ. В 1992 г. защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата военных наук. В 1994 г. ему присвоено звание доцента. В 2000–2001 гг. прошел профессиональную переподготовку при Санкт-Петербургском университете, в 2003–2004 гг. – в Военной академии Генерального штаба ВС РФ по специальности «Командно-штабная оперативно-стратегическая» и обучение в Московской академии государственного и муниципального управления РАГС при Президенте РФ, Северо-Западной академии Государственной службы по специальности «государственное и муниципальное управление».

С 1978 г. проходил военную службу на надводных кораблях Балтийского флота 94-й Краснознаменной бригады траления Балтийского флота (г. Таллинн), занимал должности командира БЧ-2–3 морского тральщика «МТ-217» (с 1979 г. «Комсомолец Белоруссии»), командира БЧ-2–3 морского тральщика «Связист» (1979–1980 гг.), помощника командира морского тральщика «МТ-73» (с 1981 г. «Вице-адмирал Костыгов»). Неоднократно участвовал в решении боевых задач в Республике Ангола.

С 1984 г. он – на преподавательской работе в Высшем военно-морском училище им. В. И. Ленина и Военно-морском инженерном институте, прошел путь от преподавателя до начальника кафедры, заместителя начальника этого института. Его пе-



дагогический стаж – 22 года. Опыт службы на кораблях умело использует для формирования у курсантов необходимых для корабельной службы качеств, совершенствования боевой подготовки офицеров и повышения эффективности образовательного процесса.

С. Н. Ирютин – автор более 100 научно-методических трудов, 10 изобретений, 2 патентов в области средств противоминной обороны и средств связи, многочисленных учебных пособий, научных статей, монографий, научно-исследовательских работ, методик по совершенствованию образовательного процесса

Результаты научных исследований С. Н. Ирютина послужили предметом более 30 работ, ряд из которых опубликованы в таких авторитетных изданиях, как «Морской сборник», «Морской флот», «Аэрокосмическое обозрение» и др. В рамках разрабатываемого им научного направления создан совместно с другими кафедрами института береговой тренажерный центр по подготовке моряков других министерств и ведомств. В 2003 г. написал монографию «Концепция подготовки личного состава ВМФ и спасения на море». Разработанные им методики подготовки личного состава ВМФ к спасению и выживанию на море успешно внедрены в боевую подготовку флотов, нашли отражение в Корабельном Уставе ВМФ (ст. 37 п. 7) 2022 г.

В целях практической подготовки курсантов к спасению и выживанию на море С. Н. Ирютиным созданы два полигона морской выучки, учебный кабинет «Спасение на море», учебно-тренировочный комплекс «Выживание на море».

В течение 15 лет, лично организовывал ежегодные морские экспедиции курсантов, в том числе четыре международные в США и в Финляндию, был командиром шлюпочных и яхтенных походов. Под его руководством пройдено на яхтах и шлюпках более 16 тысяч миль по водным путям России, США, Балтийскому морю.

Воссоздал Царскосельскую флотилию и традиции Царскосельского Адмиралтейства по проведению морских праздников на Екатерининском пруду, в их числе – 300-летие Российского флота, 300-летие Балтийского флота, 300-летие Санкт-Петербурга, 300-летие Царского Села и многие другие. Избран академиком Международной академии наук экологии и безопасности жизнедеятельности, Международной академии образования. Член Петровской академии наук и искусств. Являлся членом Координационного научно-технического совета ВМФ по вопросам спасения на море.

18 ноября 2021 г. Сергей Николаевич Ирютин избран председателем Санкт-Петербургского Морского собрания, руководит проектами, которые разрабатывает Собрание. С 2022 г. председатель Совета Межрегиональной ассоциации общественных организаций «Ассоциация Морских собраний», осуществляет большую работу по возрождению морских традиций и обеспечению высокого социального статуса моряка.

Избран академиком Международной академии наук экологии и безопасности жизнедеятельности. Член Петровской академии наук и искусств.

С. Н. Ирютин награжден государственными, ведомственными и общественными наградами, в том числе орденом «За военные заслуги», знаком и грамотой «Воину интернационалисту», многими медалями.

Редакционный совет и редколлегия журнала «Морской вестник» сердечно поздравляют Сергея Николаевича с 70-летием и желают ему крепкого здоровья, благополучия, неиссякаемой энергии, неуязвимого оптимизма и новых свершений на благо Российского флота! ■

Морской Вестник



№ 1 (97)

м а р т

2 0 2 6

Morskoy Vestnik

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Редакционный совет

Сопредседатели:

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

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

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

Г.А. Туричин, ректор СПбГМТУ

Члены совета:

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

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», генеральный директор АО «Северное ПКБ»

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

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

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

Ю.В. Душкин, генеральный директор АО «СПО «Арктика»

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»

Л.Г. Кузнецов, генеральный конструктор АО «Компрессор»

Е.А. Рылов, генеральный директор АО «НПО Завод «Волна»

М.С. Смаковский, директор ЗАО «ЦНИИ СМ»

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. Шаин, генеральный директор ООО «ДиЭлКом»

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

В.А. Шуваев, генеральный директор АО НВП «ПРОТЕК»

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

СОДЕРЖАНИЕ

С. Н. Ирютину – 70 лет..... 1

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И КОНСТРУКЦИЯ СУДОВ

А. В. Архипов. Северное проектно-конструкторское бюро ОСК: 80 лет на службе Отечеству и флоту. История, достижения и взгляд в будущее 6

В. Ю. Светова, А. В. Кошелев. Инфраструктурные ограничения как драйвер инноваций: от анализа пропускной способности портов к проекту нового контейнеровоза 9

В. В. Камлюк, И. О. Прутчиков, А. В. Подгорный, И. В. Гречушкин. Перспективы создания и применения современных плавсредств для охраны и обороны важных объектов береговой инфраструктуры 16

А. Р. Тогунай, Л. И. Вишневский, А. Н. Пинчук. Технические требования к двухступенчатому лопастному движителю автономного необитаемого подводного аппарата 20

В. Н. Илюхин. О техническом регулировании морской спасательной техники 23

ТЕХНОЛОГИЯ СУДОСТРОЕНИЯ, СУДОРЕМОНТА И ОРГАНИЗАЦИЯ СУДОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

В. В. Дубинка, Я. Ю. Мышков. Современные методы измерения геометрических параметров гребных винтов 29

А. Е. Богданов, П. В. Никитин. Об этапах развития цифровизации производственных процессов и (или) бизнес-процессов судостроительного комплекса предприятий Группы ОСК в рамках требований НТД РФ 32

СУДОВЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ И ИХ ЭЛЕМЕНТЫ

В. Ю. Ситников, Ю. А. Лебедев. Роторно-лопастные приводы рулевых машин и успокоителей качки. Критерии определения оптимальных конструктивных решений 37

Л. Г. Кузнецов, Р. Р. Хотский, А. В. Бураков, А. В. Макшинов. Диагностика неисправностей судового поршневого компрессора на основе улучшенной вариационной модовой декомпозиции и устройства с управляемыми рекуррентными блоками 43

А. Е. Усов, Г. С. Коленько. Расчет и оптимизация конструкции деаэратора с использованием ANSYS 51

А. З. Багерман. Ползучесть жаропрочного никелевого сплава: результаты исследования, прогнозная оценка 54

Б. Ю. Семёнов. Использование технологии компенсации низкочастотного электромагнитного поля корабельного электрооборудования в задачах обеспечения безопасной среды обитания человека 59

А. А. Халявкин, А. В. Ивановская, В. В. Ениватов, А. С. Шаратов, А. И. Мащенко. Снижение теплонапряженности дейдвудных подшипников на основе деклона 62

Д. О. Глазырина, С. А. Паимцев, Е. Н. Алексин, А. П. Сеньков. Экспериментальное исследование изохорного процесса реального газа 65



К. А. Ефремов, В. С. Домнин, А. В. Довличарова. Обоснование способов решения проблемы импортозамещения пропульсивных комплексов, используемых в составе энергетических установок скоростных катеров и судов..... 67

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ ПРИБОРОСТРОЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ

Ф. А. Бараковский, С. В. Ванцов, Е. А. Лийн, А. В. Назаров. Принципы и применение струйной металлизации для производства электроники 71

А. К. Гецова, К. А. Кириин. Инжиниринг финансового механизма, система бюджетирования, управленческий учет, предприятия оборонно-промышленного комплекса 78

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ И УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ

Е. Н. Захаров. Квалиметрия сложных систем: понятие, область применения, требования к методическому аппарату 83

Н. А. Нестеров. Определение места судна визуальными способами с использованием оптико-электронной системы 89

А. В. Сорокин, К. В. Гольдибаев, Е. В. Галузов, Е. А. Рылов, Е. И. Глушанков. Исследование комбинированных методов расширения спектра, повышающих помехоустойчивость и скрытность радиоканала 91

И. П. Саитов. Архитектура и алгоритмы программного комплекса для интеграции сред математического моделирования и 3d-визуализации в тренажерах морской техники 99

Д. О. Куприянов, Е. М. Гадаев, А. В. Примах, А. А. Пирогов, С. Я. Галушин. QSWOT-анализ средств виртуализации вычислительных сетей в информационных системах 104

А. Е. Васильев, А. С. Ворожейко, Д. Е. Кунгурцев, А. В. Протасов, С. А. Токаренко. Компьютерный тренажер для разработки средств моделирования распространения жидкостных загрязнений в условиях промышленных акваторий 107

К. В. Лукин, Ю. В. Ясинская, Е. А. Калякина. Разработка симулятора беспилотного надводного аппарата с использованием кроссплатформенной среды 111

А. А. Катанович, Е. И. Ролдугина, Е. В. Пыков, С. В. Дворников. Модель расчета вероятности обнаружения сигналов в каналах при их частичной занятости 114

С. В. Русин, В. А. Долгих, В. Д. Пашкевич, С. В. Волвенко. Обеспечение кораблей надежной и бесперебойной радиосвязью в Арктической зоне РФ 119

Е. К. Самаров, Я. Ю. Ионченкова. Измерение спектральной плотности широкополосных радиопомех корабельной радиоприемной аппаратурой 121

В МОРСКОМ СОБРАНИИ

С. Н. Ирютин, В. Н. Торба. Морские собрания в становлении и развитии Российского флота 123

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.
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
Д.В. Никущенко, д-р техн. наук
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.
С.Н. Шаров, д-р техн. наук, проф., член-корр. РАН

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 № 671

Дата выхода в свет – 12.03.2026

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

V.A. Dolgikh, General Director JSC NTI Radiosvyaz

V.Yu. Dorofeev, General Director
JSC SPMDB Malachite

Yu.V. Dushkin, General Director JSC NPA ARKTIKA

S.G. Filimonov, General Director
JSC Concern Morflot

V.E. Gel, General Director JSC MC Radiostandart

K.V. Gol'dibaev, General Director JSC PKB RIO,
General Director JSC Severnoye Design Bureau

K.G. Golubev, General Director JSC Almaz CMDB,
General Director JSC Severnoye Design Bureau

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

L.G. Kuznetsov, General Designer
JSC Compressor

E.A. Rylov, General Director JSC NPO Zavod Volna

M.S. Smakovsky, Director JSC CRIME

I.V. Scherbakov, General Director JSC PDB Petrobalt

O.V. Shain, General Director LLC DiELCom

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

V.A. Shuvaev, General Director JSC NVP «PROTEK»

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

P.A. Zubkov, General Director MCS LLC

ABSTRACTS

S. N. Iryutin is 70 years old..... 1

SHIP DESIGN AND CONSTRUCTION

A. V. Arkhipov. *Severnoye Design Bureau of USC: 80 years of serving the Fatherland and the Navy: History, achievements and a look to the future*..... 6

V. Yu. Svetova, A. V. Koshelev. *Infrastructure constraints as a driver of innovation: from port capacity analysis to a new container carrier project*..... 9

V. V. Kamlyuk, I. O. Prutchikov, A. V. Podgorny, I. V. Grechushkin. *Prospects for the development and use of modern watercraft for the protection and defense of important coastal infrastructure facilities*..... 16

A. R. Togunyats, L. I. Vishnevsky, A. N. Pinchuk. *Technical requirements for a two-stage blade propeller of an autonomous unmanned underwater vehicle*..... 20

V. N. Ilyukhin. *On the technical regulation of marine rescue equipment*..... 23

TECHNOLOGY OF SHIPBUILDING, SHIP REPAIR AND ORGANISATION OF SHIPBUILDING

V. V. Dubinka, Ya. Yu. Myshkov. *Modern methods for measuring geometric parameters of propellers*..... 29

A. E. Bogdanov, P. V. Nikitin. *On the stages of development of digitalization of production processes and (or) business processes of the shipbuilding complex of USC Group enterprises within the framework of the requirements of the NTD RF*..... 32

SHIP POWER PLANTS AND THEIR ELEMENTS

V. Yu. Sitnikov, Yu. A. Lebedev. *Rotary vane drives of steering gears and stabilizers. Criteria for determining optimal design solutions*..... 37

L. G. Kuznetsov, R. R. Khotkiy, A. V. Burakov, A. V. Makshanov. *Fault diagnostics of a marine piston compressor based on improved variational mode decomposition and a device with controlled recurrent units*..... 43

A. E. Usov, G. S. Kolen'ko. *Calculation and optimization of a deaerator design using ANSYS*..... 51

A. Z. Bagerman. *Creep of a heat-resistant nickel alloy: study results, predictive assessment*..... 54

B. Yu. Semenov. *Use of low-frequency electromagnetic field compensation technology for shipborne electrical equipment in ensuring a safe human habitat*..... 59

A. A. Khalyavkin, A. V. Ivanovskaya, V. V. Yenivatov, A. S. Sharatov, A. I. Mashchenko. *Reducing the thermal stress of sterntube bearings based on beclon*..... 62

D. O. Glazyrina, S. A. Paintsev, E. N. Aleksin, A. P. Sen'kov. *Experimental study of the isochoric process of real gas*..... 65



K. A. Efremov, V. S. Domin, A. V. Dovlicharova. Justification of methods for solving the problem of import substitution of propulsion systems used in the power plants of high-speed boats and vessels..... 67

DESIGN AND TECHNOLOGY OF INSTRUMENT MAKING AND RADIO ELECTRONIC EQUIPMENT

F. A. Barakovskiy, S. V. Vantsov, E. A. Liyn, A. V. Nazarov. Principles and application of jet metallization for electronics manufacturing..... 71

A. K. Getsova, K. A. Kirin. Financial mechanism engineering, budgeting system, management accounting of a defense-industrial complex enterprise 78

INFORMATION-MEASURING AND MANAGEMENT SYSTEMS

E. N. Zakharov. Qualimetry of complex systems: concept, field of use and, methodological apparatus requirements..... 83

N. A. Nesterov. Determining a vessel's position by visual methods using an optoelectronic system..... 89

A. V. Sorokin, K. V. Gol'dibaev, E. V. Galuzov, E. A. Rylov, E. I. Glushankov. A study of combined spectrum spreading methods improving radio channel interference resistance and security 91

I. P. Saitov. Architecture and algorithms of a software complex for integrating mathematical modeling and 3d visualization environments in marine equipment simulators..... 99

D. O. Kupriyanov, E. M. Gadaev, A. V. Primak, A. A. Pirogov, S. Ya. Galushin. QSWOT is an analysis of computing network virtualization tools in information systems..... 104

A. E. Vasil'ev, A. S. Vorozheiko, D. E. Kungurtsev, A. V. Protasov, S. A. Tokarenko. The computer development environment for liquid contamination spread models at industrial water areas 107

K. V. Lukin, Yu. V. Yasinskaya, E. A. Kalyakina. Development of an unmanned surface vehicle simulator using a cross-platform environment 111

A. A. Katanovich, E. I. Roldugina, E. V. Pykov, S. V. Dvornikov. Model for calculating the probability of detecting signal in channels under conditions of their partial employment..... 114

S. V. Rusin, V. A. Dolgikh, V. D. Pashkevich, S. V. Volvenko. Providing ships in the arctic zone of the Russian Federation with reliable and uninterrupted radio communications..... 119

E. K. Samarov, Ya. Yu. Ionchenkova. Measurement of spectral density of broadband radio interference ship's radio reception equipment 121

IN THE MARINE ASSEMBLY

S. N. Iryutin, V. N. Torba. Naval Assemblies in the formation and development of the Russian Navy..... 123

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.

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

D. V. Nikushchenko, D. Sc.

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. Rozhdvestvensky, D. Sc., Prof.

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

S. N. Sharov, D. Sc., Prof., corresponding member of the

Academy of Rocket and Artillery of Sciences of Russia

Editorial staff

Phone/Fax (812) 600 4586

E-mail: morvest@gmail.com

Editor

T. I. Ilyichiova

Design, imposition

S. A. Kirillov, V. L. Kolpakova

Editorial office

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

The magazine is registered by RF Ministry of Press,

TV and Radio Broadcasting and Means of Mass

Communications, Registration Certificate

ПИ № 77-12047 of 11 march 2002

Founder-Publisher

JSC Publishing House «Mor Vest»

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

The magazine electronic version

is placed on the site LLC «Nauchnaya elektronnyaya

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

Russian index of scientific citing

By the decision of the Council of VAK the Morskoy

Vestnik magazine is entered on the list of the leading

scientific magazines and editions published in the

Russian Federation where basic scientific outcomes of

doctoral dissertations shall be published.

www.perechen.vak2.ed.gov.ru

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

using Russian Post Catalog «Subscription editions»

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

office via the Morvest Publishing House

Printed by Sfera JSC

Printing house address 190005, St. Petersburg,

Egorova st., 26a, letter B

Circulation 300. Order № 671

Publication date – 12.03.2026

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



СЕВЕРНОЕ ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСКОЕ БЮРО ОСК: 80 ЛЕТ НА СЛУЖБЕ ОТЕЧЕСТВУ И ФЛОТУ ИСТОРИЯ, ДОСТИЖЕНИЯ И ВЗГЛЯД В БУДУЩЕЕ

А. В. Архипов, д-р техн. наук, проф., ген. конструктор боевых надводных кораблей океанской зоны и их вооружения, Северное ПКБ ОСК, контакт. тел. (812) 702 3005

В 2026 г. исполняется 80 лет одному из ключевых предприятий отечественного судостроения – Северному проектно-конструкторскому бюро ОСК. Это событие является не только важной вехой в истории самого Бюро, но и знакомым моментом в развитии российского военно-морского и гражданского флота. За восемь десятилетий Северное ПКБ прошло путь от небольшой проектной организации до ведущего центра корабельной инженерии, определяющего облик современного надводного флота России.

НАЧАЛО ПУТИ

Северное проектно-конструкторское бюро берет свое начало после окончания Второй мировой войны. Официально оно было создано 22 апреля 1946 г. в Ленинграде, одном из крупнейших центров судостроения в СССР.

С первых дней своего существования коллектив Бюро показал высокий уровень инженерной мысли и твердую приверженность интересам флота. Северное проектно-конструкторское бюро было ориентировано на разработку проектов надводных кораблей, в первую очередь эсминцев, сторожевых кораблей для Военно-Морского Флота СССР. Уже в 1950-е гг. появились знаковые проекты советских эсминцев и сторожевых кораблей, многие из которых вошли в серию и эксплуатировались десятилетиями.

РАСЦВЕТ В СОВЕТСКУЮ ЭПОХУ

С вступлением в период активного военно-морского противостояния с Западом в рамках «холодной войны» перед Северным ПКБ были поставлены новые задачи – создание кораблей, способных конкурировать с кораблями ведущих морских держав, нести ракетное вооружение и демонстрировать стратегическое присутствие в Мировом океане.

Именно в эти годы начинается активное проектирование эсминцев,

больших противолодочных кораблей (БПК), ракетных крейсеров нового поколения. Среди наиболее заметных проектов этого времени – эсминцы пр. 41, большие противолодочные корабли проектов 1134, 1134А, 1134Б, большие противолодочные корабли пр. 1155, эсминцы пр. 956, ракетные крейсера пр. 1164, а также крупнейшие в мире тяжелые атомные ракетные крейсера пр. 1144.

Проект 1144 и его модернизированная версия – пр. 11442 являются выдающимися достижениями отечественного кораблестроения и военно-морской инженерии. Эти тяжелые атомные ракетные крейсера вобрала в себя новейшие технологии, высокую боевую мощь и уникальные возможности долгосрочного автономного плавания. Высокий уровень автоматизации, энергетическая независимость за счет ядерной ус-

тановки и внушительный арсенал вооружения делают крейсера этого проекта настоящими флагманами океанской зоны. Основу ударной мощи составлял противокорабельный ракетный комплекс «Гранит». Также крейсер оснащен ЗРК «Форт», комплексами «Кинжал», «Кортик», артиллерийскими системами. Корабли пр. 1144 стали символом могущества ВМФ СССР и России, демонстрируя способность обеспечивать стратегическое присутствие в Мировом океане и эффективно решать широкий спектр задач.

Проект 1164 разработанный коллективом Северного проектно-конструкторского бюро ОСК представляет собой серию ракетных крейсеров, сочетающих в себе наступательное вооружение, развитые средства ПВО и надежную систему управления. Эти корабли были разработаны в 1970-е гг. как мощная ударная



Тяжелый атомный ракетный крейсер «Петр Великий» пр. 11442



Ракетный крейсер «Маршал Устинов» пр.1164



Эскадренный миноносец «Настойчивый» пр. 956



Большой противолодочный корабль «Североморск» пр.1155



Фрегат «Тальвар» пр. 11356

сил, способная уничтожать авианосные ударные группы противника. Пр. 1164 отличался новейшими решениями в области управления огнем, компоновки вооружения, гидроакустики и радиоэлектроники. На борту были размещены 16 ПКР «Базальт», уникальный ЗРК «Форт», а также современная артиллерия и средства радиоэлектронной борьбы.

Корабли этого проекта – «Маршал Устинов» и «Варяг» – в настоящее время находятся в строю, проходят модернизацию и сохраняют боевую готовность

на высочайшем уровне. Многие разработки, реализованные в рамках пр. 1164, легли в основу следующих поколений кораблей и стали отраслевым стандартом проектирования.

В 1970-е годы Северное проектно-конструкторское бюро разработало сразу несколько удачных проектов боевых кораблей – это эсминцы пр. 956 и большие противолодочные корабли (БПК) пр. 1155.

Эсминцы проекта 956 типа «Сарыч» – многоцелевые корабли с противокора-

бельными ракетами, мощными артиллерийскими установками АК-130 и системами ПВО. Эти корабли успешно эксплуатируются как в ВМФ СССР, так и за границей – в частности, в Китайской Народной Республике.

Проект 1155 типа «Фрегат» – серия больших противолодочных кораблей, предназначенных для борьбы с подводными лодками на дальних рубежах.

Эти корабли стали настоящими рабочими «лошадками» флота.

ВРЕМЯ ПЕРЕМЕН: 1990-Е ГГ. И НАЧАЛО ХХІ В.

С распадом Советского Союза трудные времена наступили и для Северного проектно-конструкторского бюро. Сокращение военного заказа, неопределенность экономической ситуации, отсутствие финансирования и внутренних заказчиков стали серьезным испытанием для коллектива. Однако Бюро удалось выстоять, сохранить кадровый и интеллектуальный потенциал и даже начать работу в новых для себя направлениях.

Одним из таких направлений стало проектирование и модернизация кораблей для иностранных заказчиков. Особенно тесное взаимодействие было установлено с Республикой Индия, Китайской Народной Республикой, социалистической Республикой Вьетнам. Для иностранных флотов были спроектированы современные фрегаты, корветы, корабли обеспечения – зачастую по индивидуальным техническим заданиям.

Это позволило Северному проектно-конструкторскому бюро сохранить научный и производственный задел в непростые годы переходного периода. В частности, проект фрегатов типа «Тальвар» для индийского флота (проект 11356) стал визитной карточкой Бюро на международной арене. Эти корабли отличаются сбалансированным вооружением, новейшими системами управления и отличной мореходностью.

В этот же период началась работа по созданию принципиально новых образцов надводных кораблей.

СОВРЕМЕННЫЙ ЭТАП: НОВЫЕ ПРОЕКТЫ И СТРАТЕГИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ

С начала 2010-х гг. Северное проектно-конструкторское бюро ОСК вновь стало центром создания масштабных проектов для ВМФ РФ. В 2008 г. Северное проектно-конструкторское бюро стало частью Объединенной судостроительной корпорации, усилив ее проектно-конструкторский потенциал. Это произошло в рамках масштабной реформы судостроительной отрасли, направленной на консолидацию предприятий и повышение эффективности оборонно-промышленного комплекса страны.

Сегодня Северное ПКБ – головная организация по проектированию надводных кораблей океанской и дальней морской зоны. Именно здесь были разработаны корабли, которые составляют основу современного флота России.

С начала 2000-х гг. Бюро стало активным участником программы перевооружения ВМФ России. Среди наиболее амбициозных проектов – строительство фрегатов пр. 22350, модернизация тяжелого атомного ракетного крейсера «Адмирал Нахимов» (пр. 11442М), разработка перспективного эсминца нового поколения.

Фрегаты пр. 22350 (головной – «Адмирал флота Советского Союза Горшков») – многоцелевые боевые корабли, способные эффективно действовать как в составе группировки, так и автономно. Они оснащаются высокоточным оружием, новейшими средствами ПВО и противолодочной обороны, современными средствами радиоэлектронной борьбы.

Одним из приоритетных направлений развития Северного ПКБ в последние годы стала цифровая трансформация проектного процесса. На предприятии создаются полностью цифровые проекты кораблей, предусматривающие тестирование в виртуальной среде, автоматическую проверку монтажных чертежей и оптимизацию компоновки систем. Это позволяет ускорить проектирование, повысить точность расчетов и минимизировать риски на стадии строительства.

Северное ПКБ ОСК работает над модернизацией существующего корабельного состава: продлением ресурса, установкой новых систем вооружения и связи, комплексной реконструкцией кораблей с учетом современных требований.

Перспективные направления работы включают развитие проектов автономных судов, судов специального назначения, беспилотных морских платформ и систем мониторинга. Таким образом, Северное проектно-конструкторское бюро интегрируется в цифровую трансформацию морских технологий будущего.

КАДРОВЫЙ ПОТЕНЦИАЛ И НАУЧНАЯ БАЗА

Одним из главных ресурсов Северного ПКБ ОСК были и остаются люди – высококвалифицированные инженеры, конструкторы, проектировщики, испытатели. История Бюро неразрывно связана с уникальной инженерной школой, которая формировалась на протяжении многих десятилетий. Здесь действуют система наставничества, а также программа развития профессиональных компетенций для молодых специалистов.

Северное проектно-конструкторское бюро ОСК активно взаимодействует с учебными заведениями, участвует в научных конференциях, публикует собственные разработки. Все это позволяет сохранять уникальную конструкторскую школу и готовить инженеров, способных решать задачи самого высокого уровня сложности.

Кадровая политика направлена на привлечение молодых специалистов, удержание высококвалифицированных кадров и передачу опыта от ветеранов предприятия к инженерам нового поколения.

За 80 лет плодотворной работы Северное ПКБ ОСК было неоднократно удостоено государственных и отраслевых наград. Коллектив предприятия становился лауреатом Государственной премии СССР, премий Правительства РФ в области науки и техники, награжден орденами и медалями.

За большие заслуги в деле создания новой техники, вклад в укрепление обороноспособности Родины Северное проектно-конструкторское бюро было отмечено государственными правительственными наградами: орденами Ленина (1963 г.) и Октябрьской революции (1985 г.). 20 апреля 2006 г. Президентом Российской Федерации нашему коллективу была объявлена Благодарность за большой вклад в развитие отечественного судостроения, а 24 марта 2011 г. за большой вклад в развитие судостроительной промышленности Правительством РФ коллектив Бюро был награжден Почетной грамотой.

Среди награжденных конструкторов – Герои Социалистического Труда, лауреаты Сталинской, Ленинской и Государственной премий СССР.

Роль Северного ПКБ в обеспечении обороноспособности России невозможно переоценить. Корабли, созданные по нашим проектам, находятся в составе всех флотов РФ – Северного, Тихоокеанского, Черноморского и Балтийского. Все корабли, спроектированные Северным ПКБ, несут боевую службу в Мировом океане, участвуют в борьбе с пиратством, обеспечивают военно-политическое присутствие страны в стратегически важных зонах.

Сегодня Северное проектно-конструкторское бюро – это не просто предприятие, разрабатывающее проекты кораблей, это научно-технический центр, сочетающий опыт, традиции, непрерывное развитие и амбициозное стремление к инновациям. Бюро переходит к цифровому проектированию, использует компьютерные технологии и внедряет элементы искусственного интеллекта в свою деятельность.

Будучи одним из существенных звеньев Объединенной судостроительной корпорации, призванной и способной реализовать стратегию развития отечественного судостроения, Северное проектно-конструкторское бюро поддерживает и реализует планы ОСК по дальнейшему развитию отрасли страны, интенсификации технического прогресса в области морских вооружений, становлению России, как великой морской державы.

Празднование 80-летия Северного проектно-конструкторского бюро ОСК – это не только повод с благодарностью вспомнить тех, кто стоял у истоков и обеспечивал прорывы в советском судостроении. Это возможность оценить роль Бюро в современной экономике и обороне страны, а также наметить пути движения в будущее.

Северное ПКБ по праву занимает особое место в истории отечественного ВМФ. За 80 лет по его проектам построено более 500 кораблей и судов, осуществлены тысячи решений, реализованы амбициозные проекты, которые до сих пор остаются ориентиром для корабелов всего мира. Это история о твердости духа, преданности профессии, высокой ответственности и инженерной доблести.

Сегодня коллектив Северного ПКБ с уверенностью смотрит в будущее. В мире, где технологии стремительно меняют облик морских операций, Северное проектно-конструкторское бюро готово предложить компетентные, инновационные решения в интересах России. Впереди – новые вершины, и 80-летний юбилей – лишь прочный фундамент для новых свершений. ■



Фрегат «Адмирал Флота Советского Союза Горшков» пр. 22350

Суходом с российского рынка контейнерных перевозок крупнейших зарубежных транспортных компаний (Moller-Maersk, Mediterranean Shipping Company, CMA CGM, Ocean Network Express, Hapag-Lloyd, Yang Ming) российские экспортно-импортные контейнерные перевозки оказались под угрозой [1].

Общее старение флота, малое количество и небольшая грузместимость собственных контейнеровозов, а также отсутствие возможности задействовать иностранный флот, который составлял до 2022 г. внушительную долю курсирующих на регулярных контейнерных маршрутах судов, обозначили потребность в создании собственного флота. Проводятся оценки объемов и типов грузов, на основании которых определяются оптимальные параметры новых судов.

Переориентация рынка на восток стимулирует развитие проектов, направленных на поиск альтернативных, более удобных, коротких маршрутов. Таким маршрутом является Северный морской путь (СМП), интерес к которому возник не одно десятилетие назад, но упор на его освоение был сделан в недавнее время.

Так, в 2019 г. в ГК «Росатом» был инициирован проект «Северный морской транзитный коридор», который предполагал создание комплексной транспортно-логистической системы для осуществления международных транзитных морских грузоперевозок на маршруте Азия–Европа, а также строительство коммерческого флота и двух транспортно-логистических узлов [2].

Для развития арктического судоходства распоряжением Правительства РФ от 1 августа 2022 г. № 2115-р был утвержден План развития СМП до 2035 г. [3].

СМП предоставляет уникальную возможность для обеспечения быстрого перехода между Европой и Азией. Создание транспортного коридора требует проведения масштабных работ, связанных с обеспечением безопасности судоходства в районе (картография, гидрографические исследования, дноуглубительные работы и тд), созданием инфраструктуры (порты-хабы, судоремонтные предприятия), разработка свода правил пользования маршрутом.

В 2021 г. АО «ЦНИИМФ» в рамках работы над проектом «Северный морской транзитный коридор» было проведено имитационное моделирование [4] и выполнен комплексный технико-экономический анализ трансарктической

ИНФРАСТРУКТУРНЫЕ ОГРАНИЧЕНИЯ КАК ДРАЙВЕР ИННОВАЦИЙ: ОТ АНАЛИЗА ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ПОРТОВ К ПРОЕКТУ НОВОГО КОНТЕЙНЕРОВОЗА

В. Ю. Светова, *вед. конструктор по архитектуре группы перспективного проектирования,*

А. В. Кошелев, *гл. конструктор по перспективному проектированию,*
ООО ПКБ «Петробалт»,
контакт. тел. (812) 644 5686

контейнерной линии, который показал конкурентоспособную стоимость перевозки одного контейнера (TEU), что говорит о перспективности направления в целом.

На тему оценки рентабельности движения транспортных судов по СМП в наши дни был проведен еще ряд исследований [5, 6, 17], многие из которых оценивают этот путь более критично, говоря о высокой стоимости прохода по северной магистрали вследствие необходимости оплаты ледокольной проводки, повышенных страховых взносов, сложности соблюдения расписания из-за непредсказуемости ледовой обстановки в акватории арктических морей, а также вероятности повреждения груза из-за долгого пребывания в Арктической зоне.

Другой предпосылкой для начала активного коммерческого использования СМП является глобальное изменение климата и, как следствие, уменьшение ледового поля. Так, опираясь на прогнозы Пхоханского университета [7], правительство Республики Кореи инвестирует в развитие судоходной отрасли и проектирование судов ледового класса.

Китайские компании (Sea Legend Line, New New Shipping) уже успели отправить свои контейнеровозы в пробные рейсы в Европу по СМП [8, 9].

Осуществленных переходов по-прежнему немного, в 2025 г. через СМП прошло 15 контейнеровозов [10]. В том числе впервые был осуществлен международный коммерческий рейс судном, принадлежащим российской компании Auriga Line [11], который выполнялся в рамках линейного контейнерного сервиса между Санкт-Петербургом и Китаем.

Безусловно, создание транспортного флота для России, который сможет работать на арктическом маршруте перспективно, при этом необходимо учитывать объемы и состав грузов. В данной же статье речь идет о разработке

проекта контейнеровоза и предпосылки к нему.

ДИНАМИКА МОРСКИХ КОНТЕЙНЕРНЫХ ПЕРЕВОЗОК И ИХ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПО ПОРТАМ РОССИИ

На рис. 1 представлена диаграмма, основанная на статистических данных по объему различных типов грузов, прошедших через порты России с 2017 по 2023 г. Очевидно, что энергоемкие сырьевые ресурсы (нефть, нефтепродукты, уголь) составляют большую часть. Данная закономерность сохранилась и в 2025 г.

В обороте грузов в контейнерах (рис. 2) наблюдается положительная динамика – после резкого спада в 2022 г. их количество растет, в 2025 г. оно восстановилось примерно до уровня 2021 г.

После 2022 г. основная доля перевалки контейнеров приходится на порты Дальневосточного бассейна, в частности, порта Владивосток. На рис. 3 и рис. 4 приведены сведения о перевалке контейнерных грузов по бассейнам за январь–ноябрь 2025 г. На долю трех крупнейших контейнерных портов России – Владивосток, Санкт-Петербург и Новороссийск – пришлось почти две трети (74,6%) объема всех обработанных в портах контейнеров [13].

ОБОСНОВАНИЕ АО «ЦНИИМФ» ГРУЗМЕСТИМОСТИ И КОНЦЕПТЫ АРКТИЧЕСКИХ КОНТЕЙНЕРОВОЗОВ

В 2015 г. АО «ЦНИИМФ» представил результаты исследований, на основании которых совместно с Морским инженерным бюро (МИБ) был разработан концептуальный проект арктического контейнеровоза ICV51 [14]. В качестве основного маршрута эксплуатации специализированного судна для СМП был рассмотрен маршрут между будущими отечественными

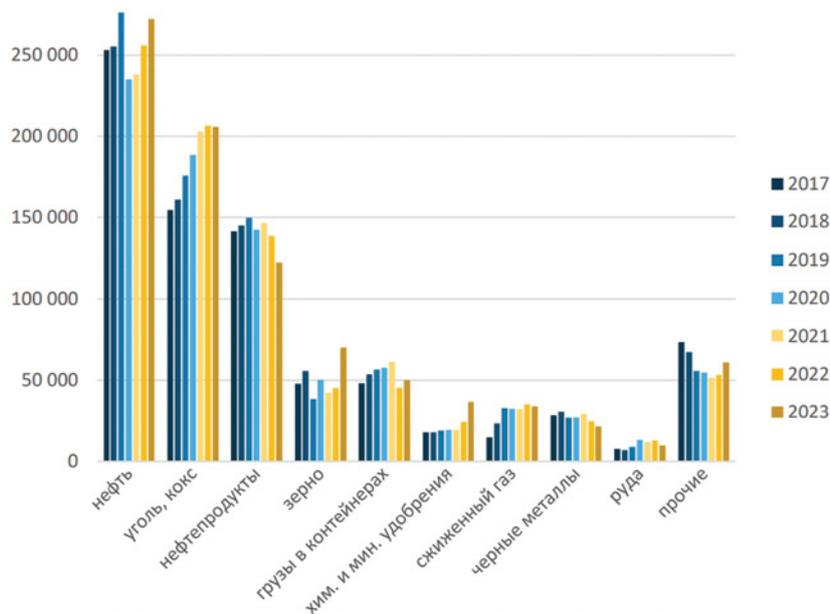


Рис. 1. Динамика портовой перевалки по видам грузов, тыс. т
Источник: ООО «Морстройтехнология»

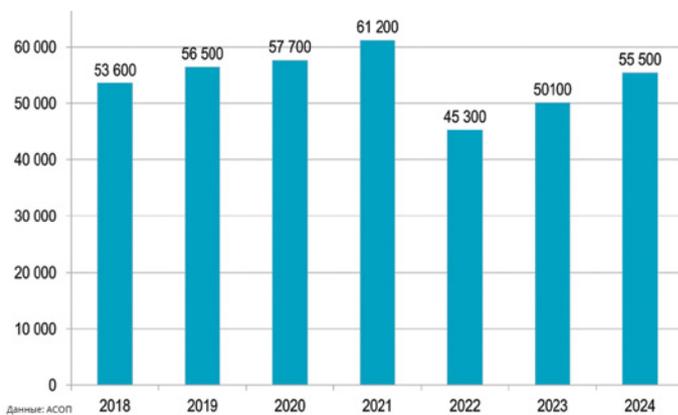


Рис. 2. Перевалка контейнерных грузов в морских портах России [12]
Источник: «Ассоциации морских торговых портов (АСОП)»

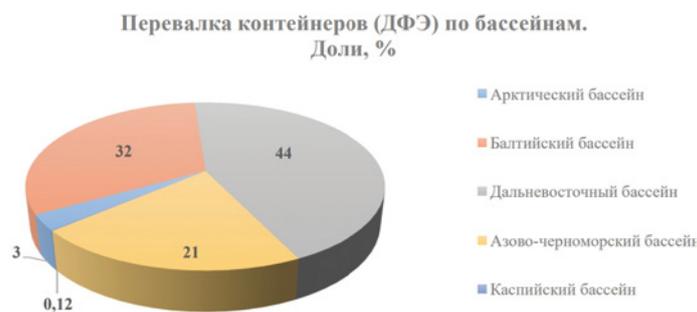


Рис. 3. Перевалка контейнеров (ДФЭ) по бассейнам, доли, %
Источник: АО «Морцентр»

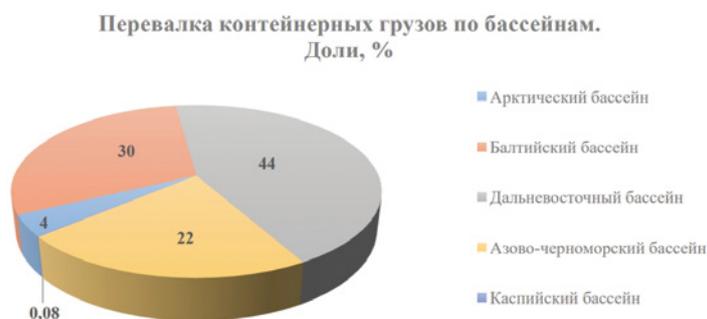


Рис. 4. Перевалка контейнерных грузов по бассейнам, доли, %
Источник: АО «Морцентр»

портами-хабами – Мурманск и Петропавловск-Камчатский.

В ходе исследований АО «ЦНИИМФ» были проработаны модели работы контейнеровоза на СМП в зависимости от степени загрузки, типа ледокольного обеспечения и судового топлива; выполнены сравнительные технико-экономические расчеты, определены оптимальные характеристики базового варианта судна, а также разработано технико-экономическое обоснование [14]. В результате в числе прочего была определена оптимальная вместимость – в диапазоне 2000 до 4000 TEU.

В 2021 г. конструкторскими бюро были представлены несколько вариантов арктических контейнеровозов большей вместимости. АО «ЦНИИМФ» на основании результатов моделирования [4] совместно с МИБ был разработан проект судна ICV56 вместимостью ок. 6000 TEU, в то же время компания Aker Arctic представила проект контейнеровоза на 8000 TEU.

Ниже в табл. 1 собраны основные характеристики проектируемых арктических контейнеровозов.

О ЛЕДОВОМ КЛАССЕ КОНТЕЙНЕРОВОЗОВ

Ключевым параметром для торгового флота является его экономическая целесообразность, которую важно учитывать при определении характеристик нового судна.

В 2018 г. контейнеровоз компании Maersk в первый (и единственный) раз совершил переход по СМП [15]. Даже с учетом меньшей средней скорости перемещения (12–14 уз вместо стандартных 22–23), принятой при переходе, маршрут был пройден за 28 суток вместо 34–50 дней, которые понадобились бы при следовании через Суэцкий канал.

Усиленный ледовый класс от Arc7 и выше позволит совершать переходы через все районы под проводкой ледокола при любых ледовых условиях, а также в режиме самостоятельного плавания по всему СПМ с 1 июля по 30 ноября [16].

Возможность сокращения маршрута и его самостоятельного прохождения звучит перспективно, однако важно отметить и другие черты, отличающие судно с высоким ледовым классом:

- обводы судна работают на минимизацию ледовой нагрузки и вероятности «застрять» в ледовом поле, но на чистой воде мореходные качества ниже, скорости, необходимые для нормального функционирования логистических цепочек могут быть не достигнуты;
- наличие ледовых усилений при-

Характеристика	Значение			
	ICV51	ICV56	SC2021	ARC 220
Проект	МИБ/ЦНИИМФ	МИБ/ЦНИИМФ	SDARI	Aker Arctic
Разработчик	3110	5922	6000	8000
Контейнеровместимость, TEU	Arc7 DAS	Arc8 DAS	Arc8 DAS	Arc7 DAS
Ледовый класс, судно двойного действия	232,00	289,60	286,30	300
Длина, м	32,20	41,90	41,90	46,00
Ширина, м	20,50	24,00	24,30	–
Высота борта, м	11,50	12,00	12,00	13,00
Осадка, м	3 × 15	3 × 15	3 × 17	1 × 22 + 2 × 17
Мощность пропульсивного комплекса, МВт				

водит к утяжелению корпуса, что уменьшает грузоподъемность судна; требования к повышенной мощности энергетической установки для обеспечения заданной ледопроеходимости также приводят к уменьшению грузоподъемности, увеличению стоимости строительства и эксплуатации;

- повышаются эксплуатационные затраты вследствие работы в ледовых условиях: расходы на топливо, ремонт.

В табл. 2 показано сравнение стоимости транспортного судна в зависимости от ледового класса [5].

Состояние СМП как инфраструктурного объекта на сегодняшний день не позволяет регулярно курсировать по нему большому количеству транспортных судов, что также важно логистическим компаниям учитывать при планировании.

Таким образом, несмотря на некоторые изменения в контейнерном грузообороте, стабильные контейнерные перевозки по СМП в настоящее время отсутствуют, как и, соответственно, предпосылки для строительства специализированных арктических контейнеровозов [5, 17]. Сегодня морские перевозки контейнерных грузов по трассам СМП не соответствуют практически ни одному параметру, характеризующему линейное судоходство: ни по устоявшимся грузопотокам,

ни по закрепленным линиям, ни по заранее объявленным тарифам, ни по регулярности перевозок [5].

С учетом вышесказанного наиболее оптимальным режимом эксплуатации нового судна-контейнеровоза является комбинированный: самостоятельные переходы по СМП в летне-осенний период в легких ледовых условиях или по чистой воде, движение по СМП под проводкой ледокола в любое время года в ледовых условиях не выше средних, движение по «традиционным» маршрутам в остальное время.

В концептуальном проекте контейнеровоза ПКБ «Петробалт» был принят класс Arc4, позволяющий осуществлять переходы по СМП более длительный период при соблюдении действующих правил [16], а также осуществлять заход в замерзающие порты неарктических морей без проводки ледоколов. Применение указанного ледового класса не является ограничением для использования на «традиционных» логистических маршрутах. В дальнейшем, после пересмотра модели использования заказчиком, с учетом текущего состояния СМП и объема контейнерных грузов, ледовый класс был снижен до Ice3 в пользу увеличения дедвейта.

ЭКСПЛУАТИРУЕМЫЙ ФЛОТ

Российские порты принимают контейнерные грузы, доставляемые суда-

ми различной вместимости и габаритов: от судов смешанного плавания до судов класса Panamax.

Международные контейнерные перевозки в Российской Федерации обеспечиваются через порты Дальнего Востока, Новороссийска и Санкт-Петербурга преимущественно российскими (FESCO, SASCO) и азиатскими линиями (Sinokor, COSCO, OOCL и новыми операторами). После ухода крупных мировых перевозчиков (Maersk, MSC) рынок переформатирован на фидерные перевозки из Китая, Турции и Индии, включая активное развитие МТК «Север–Юг». Реформация и развитие рынка находятся в активной стадии.

В ноябре 2025 г. один из крупнейших мировых контейнерных перевозчиков – французская судоходная линия CMA CGM возобновила заходы в порт Санкт-Петербург [18].

В табл. 3 представлены основные типоразмеры судов, задействованных в контейнерных перевозках в России.

Анализ технических характеристик эксплуатируемых судов позволил сформировать перечень параметров, который был положен в основу концептуального проекта контейнеровоза, разработанного ПКБ «Петробалт».

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЙ

Портовая инфраструктура. Основные контейнерные терминалы имеют навигационные ограничения, в свою очередь определяющие граничные размеры судов, которые могут зайти в порт (табл. 4).

Верфи. Судостроительные верфи России в настоящий момент загружены на годы вперед государственными заказами, заказами на рыбопромысловые суда и суда для транспортировки газа и нефти. Компетенции по созданию контейнерных судов таких размеров отечественной промышленностью не развиваются.

Для постройки крупных торговых транспортных судов в России подходящими производственными мощностями обладают лишь пять заводов:

АО «Адмиралтейские верфи», АО «Балтийский завод», АО «ПО «Севмаш» (АО «ОСК»), ООО «ССК «Звезда» (ПАО «НК «Роснефть»), АО «Судостроительный завод имени Б. Е. Бутомы» (АО «СК «Ак Барс»). Из перечисленных верфей с учетом текущей загрузки предприятий наиболее вероятным для строительства контейнеровоза выглядит Судостроительный завод имени Б. Е. Бутомы.

Судовое комплектующее оборудование. В процессе проработки проекта в ООО ПКБ «Петробалт» формируется перечень критического судового

Ориентировочная стоимость судов водоизмещением около 70 тыс. т по состоянию на 2-й квартал 2016 г.

№ п.п.	Судно	Ориентировочная стоимость, млн. долл. США		
		Без ледового класса*	Ледовый класс Arc5**	Ледовый класс Arc7**
1	Сухогрузы			
1.1	Контейнеровоз 4500 TEU типа Panamax	49,2	98,4	125,1
1.2	Балкер типа Panamax	31,1	62,1	79,0
2	Наливные			
2.1	Танкер для нефтегрузов типа LR1	55,9	111,8	142,0
2.2	Газовоз 170 тыс. м ³	202,8	285,9	325,4

* В пересчете пропорционально PPI с данных «The Platou Report», 2015 г.

** Экспертная оценка специалистов Крыловского государственного научного центра

Таблица 2

Сравнение контейнерных фидерных судов

Характеристика	MTW 2500	B-178	Thyssen 2500	CS 2700	Xiamen 2500	B170 2700	SDARI 2500	CH 2500	OMT 3600
Длина, м	207,4	220,23	199,95	237	211,85	184,1	188,8	171,95	200
Ширина, м	29,8	32,24	29,8	32,2	29,8	25,3	32,2	32,2	35,2
Высота борта, м	16,4	18,7	16,5	18,8	16,7	13,5	17,1	16,7	15,64
Осадка, м	11,4	12,15	11,55	11,98	11,4	9,9	9,5	10,5	11
Контейнеро-вместимость, TEU	2474	3091	2462	3007	2564	1730	2713	2471	3596
Скорость, уз	20,9	22,2	21	21	22	19,2	19	19	22
Крановое оборудование	3×45 т	3×45 т	3×45 т	нет	3×45 т	3×45 т	нет	нет	нет

Таблица 4

Габаритные ограничения крупных контейнерных портов

Наименование терминала	Макс. длина судна, м	Макс. ширина судна, м	Макс. осадка судна, м
АО «Первый контейнерный терминал» [19]	249,0–294,0	32,2–35,2	11,0
ЗАО «Контейнерный терминал Санкт-Петербург» [19]	184,0–303,9	40,0	10,7–11,0
АО «Петролеспорт» [19]	186,7–250,0	28,5–32,2	11,0
АО «Усть-Лужский контейнерный терминал» [20]	335,0	42,0	11,2
ООО «Балтийская стивидорная компания» [21]	200,0	30,0	9,6
АО «Новорослесэкспорт» [22]	292,0	33,2	13,5
ООО «Контейнерный терминал «НУТЭП» [22]	316,0	46,0	13,5
АО «Мурманский морской торговый порт» [23]	289	43,0	15,7
ОАО «Архангельский морской торговый порт» [24]	190	30	9,2
ПАО «Владивостокский Морской Торговый порт» (ВМТП) [25]	260,0	30,0	11,1
ОАО «Владивостокский морской рыбный порт» [25]	200	30	10
ООО «Восточная стивидорная компания» (ВСК) [26]	400,0	59	11,7
ООО «Петропавловск-Камчатский морской торговый порт» [27]	184	25	9,2

оборудования, актуальный в том числе и для судов-контейнеровозов близких параметров. Для транспортных судов особенно остро стоит вопрос поставки экономически эффективного малооборотного двухтактного главного двигателя достаточной мощности.

Кроме главного двигателя в список критического оборудования также попали и другие не менее важные позиции: установка обработки балластных вод, креновый насос, рулевая машина, якорно-швартовые механизмы и другое.

Вводимые экологические нормы способствуют развитию новых энергетических установок и путей по повышению эффективности судов. Так, в мире разрабатываются контейнеровозы с SMR энергетическими установками на 15 и 24 тыс. TEU. В перечень НИР, запланированных Регистром [28], входит анализ мировых тенденций по применению жидкостных ядерных установок в гражданском судостроении, это говорит о том, что вопрос изучается и будут сформулированы правила проектирования и постройки подобных судов. Кроме того, имеющийся задел в виде опыта эксплуатации судна «Севморпуть» дает нашей стране преимущество при создании современного транспортного судна с ядерной энергетической установкой.

При формировании перечня комп-

лекующего оборудования проводится анализ рынка, идет взаимодействие с поставщиками и производителями. С учетом характеристик доступных к поставке позиций вносятся корректировки в техническое задание на проектирование, что также отражается и в данном проекте.

Заинтересованность производителей в работе над проектом вселяет надежду на возможность решения возникающих задач по укомплектованию будущего судна необходимым оборудованием.

Заявленная потребность. Согласно сведениям, поданным эксплуатирующими организациями в Министерство торговли и промышленности РФ, планируется к постройке более 40 специализированных контейнерных судов вместимостью от 700 до 4400 TEU. Помимо потребности обозначенной в государственных планах развития гражданского флота существует запрос на строительство аналогичных судов частных компаний, заинтересованных в развитии своего бизнеса.

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПКБ «ПЕТРОБАЛТ» И ООО «СИ-ШИППИНГ»

По результатам предварительных работ по запросу компании «Си-Шиппинг» был разработан проект специализированного транспортного судна-кон-

тейнеровоза вместимостью ок. 2500 TEU (рис. 5), который был представлен в рамках выставки «Нева 2025» [29, 30].

Проекту присвоено обозначение PVCV2500 и шифр «Римский-Корсаков».

При разработке проекта был выполнен анализ судов, имеющих размеры, близкие к предельным для отечественных контейнерных терминалов. Выявлена интересная особенность: по большей части рассмотренные проекты судов являлись актуализацией, модернизацией и усовершенствованием исходного проекта BV2500, разработанного по заказу концерна Bremer Vulkan.

Судно проекта PVCV2500 имеет классический архитектурный тип с кормовым расположением надстройки и машинного отделения. В процессе работы рассматривался вариант размещения трех грузовых кранов, но было принято решение отказаться от них, так как судно предназначено для обработки в специализированных портах.

Для ускорения обслуживания в автоматизированных портах был рассмотрен вариант реализации грузового пространства с открытыми трюмами, чтобы таким образом исключить необходимость открывать и закрывать люковые закрытия трюмов. Однако с учетом длительных трансокеанских переходов было решено применить трехсекционные закрытия понтонного типа.

Судно будет оборудовано двухтактным малооборотным двигателем, приводящим в движение пятилопастной винт фиксированного шага. Такое решение позволяет обеспечить требуемую скорость в 21,5 уз с минимальным расходом топлива. Основные характеристики контейнеровоза приведены ниже.

Основные характеристики контейнеровоза ПКБ «Петробалт»	
Характеристика	Значение
Контейнеро-вместимость, TEU	2490
Длина, м	207,8
Ширина, м	29,8
Осадка, м	10,2
Энергетическая установка	Дизельная
Двигатели	ВФШ

Проектирование судна не останавливается, продолжается работа с поставщиками, формируется перечень комплектующего оборудования, во взаимодействии с заказчиком.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Создание современного отечественного специализированного контейнерного флота необходимо начинать уже сейчас. Анализ показал, что с учетом текущего состояния инфраструктуры, объемов грузоперевозок и геополитической обстановки целесообразным выглядит создание универсального судна, позволяющего эксплуатировать его на всех основных маршрутах, включая СМП.



Рис. 5. Визуализация общего вида контейнеровоза RBCV2500

Проект RBCV2500, представленный ПКБ «Петробалт», выполнен с учетом ограничений основных портов. Грузовместимость судна сопоставима с грузовместимостью судов аналогичного типа и водоизмещения. Таким образом, не дожидаясь развития инфраструктуры, судно может быть легко встроено в существующие логистические цепочки и осуществлять импорт и экспорт товаров.

В процессе работы над проектом было определено, что судно данного типа возможно укомплектовать отечественными материалами, изделиями и оборудованием и построить его на отечественных верфях, однако размеры судна ограничивают выбор завода-строителя, а существующая загрузка и темпы заводов по сдаче гражданских судов вызывает обеспокоенность по срокам ввода в эксплуатацию.

Взаимодействие разработчика проекта, заказчиков, завода-строителя и поставщиков – залог успеха при создании и развитии российских контейнерных линий.

ЛИТЕРАТУРА

1. В России критически не хватает флота // Морские вести России – URL: <https://morvesti.ru/analitika/1689/95648/> (дата обращения: 13.02.2026).
2. Проект «Северный морской транзитный коридор». – Официальный сайт Центра компетенций НТИ СПбПУ. – URL: <https://nticenter.spbstu.ru/article/severnyj-morskoj-tranzitnyj-koridor> (дата обращения: 13.02.2026).
3. Распоряжение «Об утверждении плана развития Северного морского пути на период до 2035 года» от 01.08.2022 № 2115-р. – <http://static.government.ru/>
4. АО «ЦНИИМФ» выполнил имитационное моделирование и технико-экономический анализ трансарктической контейнерной линии в рамках проекта «Северный морской транзитный коридор». – ЦНИИМФ – URL: https://cniimf.ru/news/ao-tsniiimf-vypolnil-imitatsionnoe-modelirovanie-i-tekhniko-ekonomicheskii-analiz-transarktickeskoy-k/?sphrase_id=2777

(дата обращения: 13.02.2026).

5. Чижков Ю. В. Арктическая морская транспортная система. – СПб.: Медиапапир, 2021. – 96 с.
6. Верите ли вы в Севморпуть? // Морские вести России. – URL: <https://morvesti.ru/themes/1698/107308/> (дата обращения: 13.02.2026).
7. Южная Корея летом 2026 года выполнит пилотный рейс контейнеровоза по Севморпути // Korabel.ru. – URL: https://www.korabel.ru/news/comments/yuzhnaya_koreya_letom_2026_goda_vypolnit_pilotnyy_reys_konteynerovoza_po_sevmorputi.html (дата обращения: 13.02.2026).
8. Контейнеровоз компании Sea Legend Line вышел из Китая в Европу в транзитный рейс по СМП // PortNews. – URL: <https://portnews.ru/news/382243/> (дата обращения: 13.02.2026).
9. По Северному морскому пути успешно прошёл иностранный контейнеровоз. – URL: <https://tvspb.ru/news/2023/10/9/po-severnomu-morskomu-puti-uspeshno-proshyol-inostrannyj-konteynerovoz> (дата обращения: 13.02.2026).
10. Трафик по СМП за навигацию-2025 на 20% превысил уровень 2021 года. // Infranews – URL: <https://www.infranews.ru/logistika/more/69258-trafik-po-smp-za-navigatsiyu-2025-na-20-prevysil-uroven-2021-goda/> (дата обращения: 13.02.2026).
11. Контейнеровоз российской линии впервые в истории выполнил международную перевозку по СМП // PortNews – URL: <https://portnews.ru/news/381809/> (дата обращения: 13.02.2026).
12. Морской контейнерный сервис: главное – не строить иллюзий // Морские вести России – URL: <https://morvesti.ru/analitika/1689/116106/> (дата обращения: 13.02.2026).
13. Официальный телеграм-канал АО «Морцентр». – URL: <https://t.me/morcenter/849> (дата обращения: 13.02.2026).
14. Представлен концепт арктического контейнеровоза для Севморпути класса Arc 7 вместимостью 3000 TEU // Морские вести России – URL: <https://morvesti.ru/news/1679/51065/> (дата обращения: 13.02.2026).
15. Арктический прорыв: контейнеровоз Maersk впервые на СМП // Морские

вести России – URL: <https://morvesti.ru/themes/1698/75117/> (дата обращения: 13.02.2026).

16. Постановление Правительства РФ «Об утверждении Правил плавания в акватории Северного морского пути» от 18.09.2020 № 1487.
17. Арктические контейнеровозы: проблемы строительства и эксплуатации // Морские вести России – URL: <https://morvesti.ru/themes/1698/110134/> (дата обращения: 13.02.2026).
18. Французский оператор СМА CGM возобновил поставки в Россию спустя три года // Kommersant.ru – URL: <https://www.kommersant.ru/doc/8227776> (дата обращения: 13.02.2026).
19. Распоряжение «О внесении сведений о морском порте Большой порт Санкт-Петербург в Реестр морских портов Российской Федерации» от 12.03.2010 № АД-39-Р // gosmorport.ru
20. Усть-Лужский контейнерный терминал. Группа компаний Дело – URL: <https://open-resource.ru/spisok-literatury/> (дата обращения: 13.02.2026).
21. Распоряжение «О внесении сведений о морском порте Калининград в Реестр морских портов Российской Федерации» от 16.07.2010 № АД-192-Р // gosmorport.ru
22. Распоряжение «О внесении сведений о морском порте Новороссийск в Реестр морских портов Российской Федерации» от 13.11.2009 № АД-226-Р // gosmorport.ru
23. Распоряжение «О внесении сведений о морском порте Мурманск в Реестр морских портов Российской Федерации» от 18.12.2009 № АД-273-Р // gosmorport.ru
24. Распоряжение «О внесении сведений о морском порте Архангельск в Реестр морских портов Российской Федерации» от 17.11.2010 № АД-324-Р // gosmorport.ru
25. Распоряжение «О внесении сведений о морском порте Владивосток в Реестр морских портов Российской Федерации» от 15.11.2010 № АД-322-Р // gosmorport.ru
26. Распоряжение «О внесении сведений о морском порте Восточный в Реестр морских портов Российской Федерации» от 13.11.2009 № АД-227-Р // gosmorport.ru
27. Распоряжение «О внесении сведений о морском порте Петропавловск-Камчатский в Реестр морских портов Российской Федерации» от 30.05.2011 № АД-181-Р // gosmorport.ru
28. План научно-исследовательских работ // Официальный сайт РС. – URL: <https://rs-class.org/ru/register/about/scientific/plan.php> (дата обращения: 13.02.2026).
29. «Петробалт» и партнеры в рамках выставки «Нева 2025» представили проект контейнеровоза «Римский-Корсаков». – Официальный сайт ПКБ Петробалт. – URL: <https://petrobalt.ru/2025/09/25/pbcv2500-n1/> (дата обращения: 13.02.2026).
30. В ПКБ «Петробалт» разработан концепт-проект контейнеровоза. – Официальный сайт ПКБ Петробалт. – URL: <https://petrobalt.ru/2025/06/30/pkb-petrobalt-konteynerovoz/> (дата обращения: 13.02.2026). ■

В настоящее время в связи с появлением новых видов средств поражения, в том числе беспилотных летательных аппаратов и безэкипажных катеров, охрана и оборона важных объектов береговой инфраструктуры приобретает первостепенное значение. Данное обстоятельство подтверждает необходимость защиты атомных электростанций, гидроэлектростанций, автономных объектов Министерства обороны, расположенных вблизи рек и морей, в ходе проведения специальной военной операции войсковыми подразделениями Российской Федерации [1]. В качестве средств охраны и обороны важных объектов береговой инфраструктуры используются различные плавсредства, включая катера, моторные и надувные лодки. Необходимо отметить, что для эффективной защиты этих объектов от современных средств нападения плавсредства должны быть быстроходными, маневренными и иметь высокую защищенность. Такими характеристиками обладают катера.

Известно, что быстроходность катеров зависит от характеристик силовой установки, килеватости и условий их применения [2], в зависимости от которых катера подразделяются на речные и морские, к характеристикам которых предъявляются разные требования, в частности, к конструктивным особенностям их корпусов. Так, корпус речного катера при качке получает небольшие по величине, но часто повторяющиеся ускорения, так как длина волны мала по сравнению с катером. Такие ускорения преодолеваются катером, если его корпус имеет в носу острые ватерлинии, большую килеватость шпангоутов и высоко поднятую скулу.

В то же время корпус морского катера испытывает другие ускорения при попадании его на волну, длина которой больше, чем длина его корпуса. Так как такая волна имеет пологий склон, катер входит в нее сразу сравнительно большой площадью днища, получая мощный удар и большое ускорение. Гребень волны за доли секунды прокатывается под корпусом и катер падает носом или даже более плоской средней частью днища на склон следующей волны. Этот, второй, удар часто оказывается сильнее первого, так как к скорости встречи с волной добавляется еще и ускорение от качки катера. Это сравнительно легкая форма удара, которую получает катер. Такая картина характерна для средних скоростей от 45 до 60 км/ч для десятиметрового катера. Под действием такого удара катер скользит по воде с минимальной осадкой (глиссирует), так как его ускорение направлено вверх, т. е. совпадает с направлением гидродинамической подъемной силы. При дальнейшем увеличении скорости сила удара уже в несколько раз превышает вес судна и легко выталкивает его корпус целиком из воды. При этом, пролетая по инерции некоторое расстояние в воздухе, катер снова падает на воду. Образующиеся при этом ударные нагрузки и ускорения передаются на корпус и механизмы, неприятно воздействуют на экипаж катера, что может привести к разрушениям конструкций, срыву механизмов с фундаментов и их поломки. В зависимости от размеров волны и катера, обводов корпуса и скорости хода перегрузки (отношение силы удара к весу катера) могут достигать 10–20 g (иногда сообщаются и более высокие цифры – до 25 g). отношение силы удара к весу катера. Наличие таких перегрузок и заставляют снижать скорость катера при выходе на большую волну, проектировать новые обводы и даже новые типы быстроходных катеров для открытого моря.

ПЕРСПЕКТИВЫ СОЗДАНИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ПЛАВСРЕДСТВ ДЛЯ ОХРАНЫ И ОБОРОНЫ ВАЖНЫХ ОБЪЕКТОВ БЕРЕГОВОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

В. В. Камлюк, д-р техн. наук, проф.,

И. О. Прутчиков, д-р техн. наук, проф.,

Академия войск национальной гвардии РФ, Санкт-Петербург,

А. В. Подгорный, канд. техн. наук, доцент,

ВА МТО им. генерала армии А.В. Хрулева – Военный институт ЖВ и ВС,

И. В. Гречушкин, канд. техн. наук, начальник отдела ООО «НПО 122 УМР»,
контакт. тел. +7 (981) 885 4987

Кроме того, задачи по охране и обороне важных объектов береговой инфраструктуры приходится выполнять на водоемах, где имеются сложные условия использования катеров (перекаты, пороги, мели, засоренный фарватер).

С учетом вышеприведенных условий применения катеров и высокими требованиями к их быстроходности и маневренности перспективным является использование водометных движителей [3].

Использование водометов на морских и речных катерах береговой охраны позволяет иметь высокую маневренность и подходить вплотную к берегу, не опасаясь повредить винт, гребной вал и рулевой механизм. Водометные катера чрезвычайно устойчивы при маневрах на высоких скоростях [4].

В настоящее время активно ведется разработка новых моделей водометных движителей, которые по своим характеристикам не уступают зарубежным аналогам. В результате данной работы разработаны и изготовлены опытные образцы водометных движителей трех типоразмеров с диагональной лопастной системой ВД177Д, ВД280Д и ВД490Д, проведены швартовные и ходовые испытания. Достижимые скорости движения судна с разработанными ВД:

- с ВД177Д при мощности 115 кВт – 40 уз;
- с ВД280Д при мощности 500 кВт – 50 уз;
- с ВД490Д при мощности 1500 кВт – 51 уз.

Проведением опытно-конструкторских работ и изготовлением опытных образцов водометных движителей занималась московская компания «ДМ Технолоджи» (рис. 1).



Рис. 1. Водомет производства «ДМ Технолоджи»

Данные модели водометных движителей имеют импульсивный КПД более 0,67 при высокой кавитационной стойкости, что и определяет высокую мореходность скоростных катеров при волнении до 3–4 баллов на скорости хода до 35 уз.

Сравнительная характеристика двигателей на базе ЗМЗ-514 и «Фотон 2,5»

Характеристика двигателя	Двигатель ЗМЗ-514 (снят с производства)	Двигатель «Фотон 2,5» ПАО «ГАЗ»
Число и расположение цилиндров	4, рядное	4, рядное
Размещение двигателя в моторном отсеке	Продольное	Продольное
Рабочий объем, см ³	2235	2495
Количество клапанов на цилиндр	4	4
Направление вращения коленчатого вала по ГОСТ-22836	Правое	Правое
Максимальная мощность двигателя (с впускной и выпускной системами), кВт (л.с.) ±2%	104 (141)	110 (150)
Частота вращения коленчатого вала при максимальной мощности, мин ⁻¹	4000	3600
Минимальная/максимальная частота вращения коленчатого вала по характеристике холостого хода, мин ⁻¹	850/4000±50	850/3600±50
Стабильность номинального холостого хода, мин ⁻¹	±50	±50
Периодичность ТО, м/ч	150, при условии использования соответствующих ГСМ	150, при условии использования соответствующих ГСМ
Гарантийные обязательства по надежности	1000 м/ч или 2 года	1000 м/ч или 2 года
Вероятность безотказной работы за время 100 ч, не менее	0,96	0,96

Технические характеристики водометных движителей, прежде всего мощность и частота вращения, являются основой для выбора главного двигателя при комплектовании силовой энергетической установки. Для привода большинства моделей водометов требуются двигатели с частотой вращения коленчатого вала от 2000 до 4500 мин⁻¹. Указанный диапазон частот вращения характерен для высокооборотных дизелей и бензиновых двигателей.

В составе главного двигателя силовых установок катеров применяются бензиновые или дизельные двигатели. Выбор того или иного типа двигателя определяется требованиями к катерам, в первую очередь к быстроходности. В целом бензиновые двигатели имеют меньший вес и при прочих равных условиях развивают более высокую мощность по сравнению с дизельными двигателями. Существенным недостатком этих двигателей является их высокая взрывопожароопасность. Для устранения этого недостатка на специализированных военных катерах применяются взрывопожарозащищенные баки с вспененным наполнителем или замещается свободный объем баков инертным газом, что снижает запас хода данных катеров. Кроме того, на снабжении Вооруженных Сил РФ отсутствует соответствующий бензин, необходимый для работы бензиновых двигателей.

В энергетических установках с водометными движителями могут использоваться модификации дизельного двигателя ЗМЗ-514 производства Заволжского моторного завода. Двигатели имеют агрегатную мощность от 80 до 115 кВт при частоте вращения коленчатого вала 3500 мин⁻¹, что соответствует характеристикам определенных типов водометов. В настоящее время производство данных двигателей приостановлено, так как его конструкции используются критически важные импортные комплектующие, прежде всего в топливной аппаратуре. Вместо дизельного двигателя ЗМЗ-514 может быть использован двигатель «Фотон 2,5» (ПАО «ГАЗ»), имеющий аналогичные характеристики (см. таблицу).

Что касается обоснования требований к массогабаритным характеристикам катеров, то здесь можно привести следующие соображения.

Вес катера зависит от того, из какого материала изготовлен корпус. Например, применение современных композитных материалов для изготовления корпусов катеров предпочтительнее, чем применение алюминиевых корпусов. В качестве примера можно привести сравнительную характеристику двух катеров БК-10 и СК-860, близких по полезной нагрузке. На катере БК-10 корпус изготовлен из алюминия, а корпус катера СК-860 – из композитных материалов. При этом катер СК-860 развивает такую же мощность, как катер БК-10, имеет значительно меньшую массу и большую скорость (свыше 50 уз против 40 уз). Оба катера предназначены для работы в тяжелых условиях. Несколько меньший по размерам СК-860 успешно работает в тяжелых штормовых условиях зимнего Баренцева моря. Кроме того, изготовление корпусов катеров из композитных материалов снижает их заметность для средств наблюдения противника, что повышает их защищенность. Для изготовления корпуса катера из композитного материала можно использовать следующее известное техническое решение [5].

Размерность катера зависит от условий их применения. Например, для морских катеров килеватость должна быть выше, чем у речных катеров, что определяет возможность увеличения ширины речных катеров по сравнению с морскими. Кроме того, для лучшей маскировки речные катера должны быть малоразмерными, иметь возможность быстрой транспортировки с берега на реку и обратно при возникновении опасных ситуаций. Маскировка для речных катеров является наиболее подходящим вариантом повышения их

защищенности по сравнению с их бронированием, так как, учитывая возможности разведки, включая спутниковую (радиолокационную) и современных средств поражения (в том числе беспилотные летательные аппараты) бронирование не может обеспечить защиту катеров даже от артиллерийских снарядов. Ее может обеспечить только быстрота действий и хорошие возможности маскировки (с возможностью подъема катера на берег). Быстрая выборка на берег малого катера вручную, без привлечения дополнительных сил и средств (типа автоприцепа с автомашиной) возможна путем установки съёмных (или поворотных) колес на транце катера (рис. 2).



Рис. 2. Вариант быстрой выборки на берег малого катера вручную, без привлечения дополнительных сил и средств

В связи с этим использование бронированных катеров на реках нецелесообразно.

Кроме этого, высокая защищенность катеров достигается применением пассивных и активных средств постановки помех. Необходимо отметить, что такие средства имеются только для «больших» корабельных комплексов пассивных помех. В то же время у вероятного противника на катерах такие средства имеются. На рис. 3 приведен немецкий специализированный катерный комплекс пассивных помех фирмы «Рейнметалл».

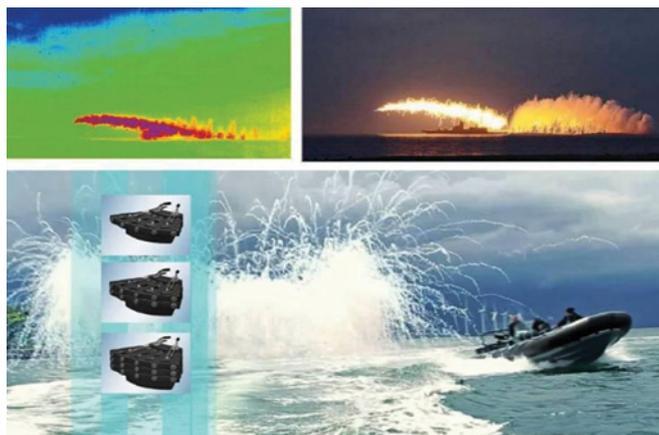


Рис. 3. Немецкий специализированный катерный комплекс пассивных помех фирмы «Рейнметалл»

Боевая живучесть катеров, применяемых при ведении боевых действий, определяется их вооружением. Оно должно включать в свой состав: модули с управляемыми ракетами, дистанционно управляемые пулеметные модули и ударные беспилотные летательные аппараты. В настоящее время на вооружении катеров имеются только пулеметы с ручным управлением и стрелковое вооружение экипажей. В то же время катера вероятного противника имеют техническую возможность (даже без ДУМ) применять в том числе многоствольные «миниганы» с многократно повышенной огневой мощностью (рис. 4).



Рис. 4. Пулеметная установка «Minigun» американских катеров

Разработка и создание патрульных катеров с учетом вышеприведенных требований позволит существенно повысить эффективность охраны и обороны важных объектов береговой инфраструктуры.

Необходимо отметить, что существующие тактико-технические характеристики военных катеров не соответствуют современным требованиям, что вызвало необходимость разработки и создания усовершенствованных образцов катеров [6]. Так, в настоящее время Ленинградским судо-

строительным заводом «Пелла» в инициативном порядке ведется разработка и создание патрульного катера «Катран» (рис. 5) [7]. Его планировали спустить на воду и приступить к испытаниям в 2025 г.



Рис. 5. Модель патрульного катера «Катран»

Катер «Катран» предназначен для охраны акваторий и борьбы с безэкипажными катерами. Он также может быть задействован для высадки разведывательно-диверсионных групп до шести человек. Для уничтожения малоразмерных надводных целей на речных и морских акваториях, поражения воздушных и береговых целей на катере предполагается установить 30-мм артиллерийскую установку АК-306 и два 7,62-мм пулемета «Печенег». Его автономность составляет порядка 4–5 суток. В зависимости от выполнения целевых задач экипаж катера может составлять от 6 до 10 человек. Показатели обитаемости разработанного катера превосходят аналогичные показатели других быстроходных катеров.

Для выхода из создавшейся ситуации, когда новые модели военных катеров еще не приняты на вооружение, для быстрого пополнения парка патрульных катеров предлагается использовать современные образцы гражданских катеров, дооснастив их соответствующими системами и вооружением.

Достаточно большой парк современных гражданских катеров создан машиностроительным предприятием «Винета»:

1. В 2021 г. был разработан и изготовлен катер пр. 04250 (рис. 6) на базе двигателя «ЯМЗ-334» с развиваемой мощностью до 300 л. с. с водометным движителем ВД-280. Катер имеет длину от 8 до 10 м, он способен развивать скорость до 60 км/ч и перевозить от 8 до 10 человек.



Рис. 6. Катер пр. 04250 (производитель – Машиностроительное предприятие «Винета»)

2. В 2022 г. был разработан и изготовлен катер пр. 04260 (рис. 7) на базе двигателя «Камминз 2.8» мощностью до 170 л.с. с водометным движителем ВД-230. Катер имеет длину от 7 до 8 м, он способен развивать скорость до 70 км/ч и перевозить от 6 до 8 человек.



Рис. 7. Катер пр. 04260 (производитель – Машиностроительное предприятие «Винета»)

3. В 2023 г. был разработан и изготовлен катер пр. 04250Р (рис. 8) на базе двигателя «ЯМЗ-536» мощностью до 450 л.с. с водометным движителем ВД-280. Катер имеет длину от 8 до 10 м, он способен развивать скорость до 70 км/ч и перевозить от 8 до 10 человек.



Рис. 8. Катер пр. 04250Р (производитель – Машиностроительное предприятие «Винета»)

4. В настоящее время разработана перспективная модель катера (рис. 9) длиной 7,5 м под два двигателя «КАМАЗ 667» с водометами, корпус АМг. Расчетно-достижимая скорость катера составляет до 80 км/ч при пассажироместности до 8 человек.

Таким образом, проведенный анализ позволил обосновать требования к техническому облику плавсредств, предназначенных для охраны и обороны важных объектов береговой инфраструктуры, выявить тенденции и перспективы их развития, а также разработать предложения по использованию новых средств и имеющегося парка современных образцов плавсредств.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ядерные объекты в зоне военных действий (19.08.2022 г.) – Сайт: Национальный исследовательский центр «Кур-



Рис. 9. Перспективная модель катера (производитель – Машиностроительное предприятие «Винета»)

2. чатовский институт». [Электронный ресурс] – URL: <https://nrcki.ru/product/press-nrcki/-45823.shtml?ysclid=mi7ee05gqx616169846> (Дата обращения: 24.10.2025 г.).
2. Лапин В. И. Дальнейшее развитие быстроходных катеров и их мореходности // Катера и яхты. – 1971. – № 29.
3. Водометные движители. Вопросы проектирования – СПб.: Реноме. – 2021. – 251 с.
4. Мавлюдов М. А., Русецкий А. А. Движители быстроходных судов. – Л.: Судостроение. – 1982. – 280 с.
5. Патент № 2458814 С1, Российская Федерация, МПК В63В 5/24, Корпус судна трёхслойной конструкции из полимерных композиционных материалов [Текст] / Блинов А. В., Булкин В. А. и др. Патентообладатель (и): Российская Федерация, от имени которой выступает Министерство промышленности и торговли Российской Федерации (Минпромторг России) № 2010142958/11; заявл. 21.10.2010; опубл. 20.08.2012 // Бюлл. № 23.
6. Днепровская флотилия-2023 для СВО // Военное обозрение [Электронный ресурс] – URL: <https://topwar.ru/221612-dneprovskaja-flotilija-2023-dlja-svo.html?ysclid=mi7jbmuyam783834953> (Дата обращения: 24.10.2025 г.).
7. Судозавод «Пелла» спустит на воду патрульный катер «Катран» в начале 2025 г. – Сайт: ТАСС [Электронный ресурс] – URL: <https://tass.ru/ekonomika/21159587?ysclid=mi7iavvudt620964829> (Дата обращения: 24.10.2025 г.) ■

В настоящее время автономные необитаемые подводные аппараты (АНПА) оснащены одноступенчатыми лопастными движителями (одиночными гребными винтами) с электрической передачей мощности [1–4].

Скорость АНПА известных конструкций, как правило, не превышает 5 уз, поэтому влияние реактивного момента от гребного винта не сказывается на выполнении функций. Однако для АНПА транспортного типа [5] большой дальности для повышения скорости доставки груза и, соответственно, сокращения времени доставки потребуется увеличение мощности пропульсивной установки аппарата. Увеличившийся при этом реактивный момент приведет к вращению АНПА, что усложнит или полностью исключит возможность выполнения функциональных задач. Рассмотрим конструкцию АНПА, лишенную этого недостатка и отличающуюся улучшенными пропульсивными характеристиками [6].

ОПИСАНИЕ КОНСТРУКЦИИ АНПА

Предложенная конструкция АНПА защищена следующей формулой полезной модели: «Автономный необитаемый подводный аппарат модульной архитектуры и гидродинамической формы, содержащий двигательный модуль, модуль управления и связи, батарейный модуль и носовой модуль, отличающийся тем, что двигательный модуль содержит два винта противоположного вращения и два гребных электродвигателя, которые расположены последовательно, при этом вал переднего гребного винта соединен с ротором ближайшего к нему электродвигателя, а вал заднего гребного винта – с ротором другого электродвигателя, к тому же вал переднего гребного винта выполнен полым с размещением в нем вала заднего гребного винта, при этом модуль управления и связи оснащен устройством независимого управления частотой вращения каждого из винтов» [6].

Вариант конструкции АНПА с двигательным модулем, размещенным в корпусе аппарата, представлен на рис. 1.

Выбор в качестве двухступенчатого лопастного движителя соосных гребных винтов противоположного вращения (СГВ) исключает появление некомпенсированного реактивного момента и, соответственно, крена или вращения АНПА с архитектурой, показанной на рис. 1, при скорости движения с большой потребной мощностью.

Кроме того, применение СГВ в качестве движителя АНПА имеет следующие преимущества по сравнению с использованием одноступенчатых лопастных движителей:

ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ДВУХСТУПЕНЧАТОМУ ЛОПАСТНОМУ ДВИЖИТЕЛЮ АВТОНОМНОГО НЕОБИТАЕМОГО ПОДВОДНОГО АППАРАТА

А. Р. Тогуниц, канд. техн. наук, инженер АО «НПП «Морская техника», Л. И. Вишневецкий, д-р техн. наук, проф., гл. науч. сотрудник ФГУП «КГНЦ», А. Н. Пинчук, канд. техн. наук, доцент ЧВВМУ им. П. С. Нахимова, контакт. тел. +7(921)337 2652

- увеличение КПД лопастной системы на 10–12% и пропульсивного коэффициента как минимум на указанный диапазон [7];
- уменьшение уровня профильного шума благодаря снижению оптимальной частоты вращения (при равных диаметрах с одноступенчатыми лопастными движителями частота вращения снижается на 25–30%) [7, 8];
- повышение надежности пропульсивного комплекса благодаря дублированию элементов движительного модуля (за счет дополнительного гребного винта, его гребного электродвигателя и устройства независимого управления частотой вращения каждого из гребных винтов).

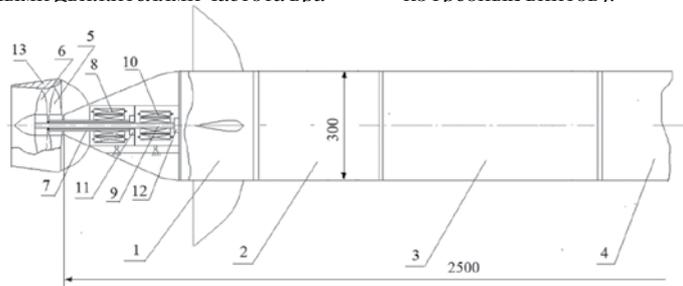
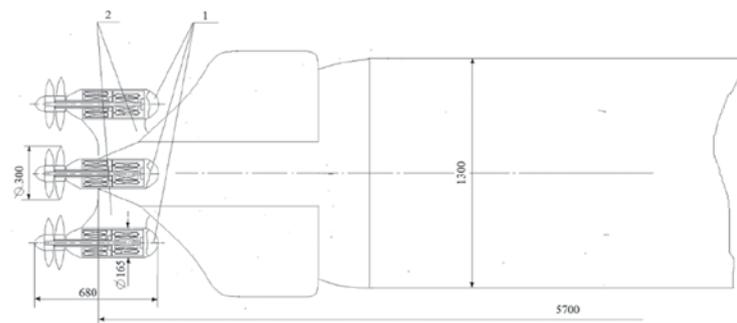


Рис. 1. Автономный необитаемый подводный аппарат с двигательным модулем в корпусе

1 – двигательный модуль, 2 – модуль управления и связи, 3 – батарейный модуль, 4 – носовой модуль, 5 – передний гребной винт, 6 – задний гребной винт, 7 – полый внешний гребной вал, 8 – гребной электродвигатель переднего гребного винта, 9 – внутренний гребной вал, 10 – электродвигатель заднего гребного винта, 11 – упорный подшипник переднего гребного винта, 12 – упорный подшипник заднего гребного винта, 13 – направляющая насадка

а)



б)

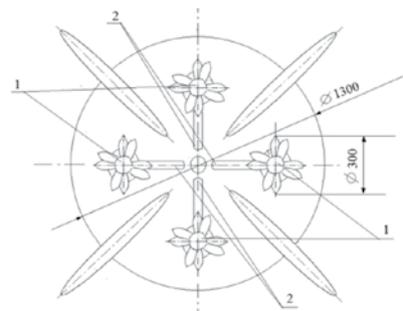


Рис. 2. Автономный необитаемый подводный аппарат с двигательными модулями в гондолах: а – вид с боку, б – вид с кормы
1 – обтекаемая гондола, 2 – обтекаемая стойка

Характеристики АНПА

№ пп.	Суммарная максимальная мощность движительного модуля $P_{D\Sigma}$, кВт	Длина L , м	Диаметр корпуса B , м	Диаметр СГВ D , м	Кол-во движительных модулей АНПА
1	0,5	1,7	0,2	0,15	1
2	1 (см.рис. 1)	2,5	0,3	0,20; 0,23	1
3	2 (см.рис. 2)	5,7	1,3	0,30; 0,33	4

Таблица 2

Параметры движительно-двигательной установки с СГВ при потреблении мощности $PD_{\Sigma} = 0,5$ кВт

№ пп.	Шаговое отношение P/D	Суммарный момент Q_{Σ} , кгм (Нм)	Суммарный упор T_{Σ} , кг (Н)	Частота вращения n , об/мин	D , м	Скорость V_s , м/с (уз)
1	0,8	0,325 (3,19)	17,42 (171)	1496	0,15	0
2	1,0	0,389 (3,82)	17,23 (169)	1250	0,15	0
3	1,3	0,475 (4,66)	17,00 (167)	1025	0,15	0
4	1,4	0,498 (4,88)	16,95 (166)	979	0,15	0
5	1,1	0,275 (2,697)	7,969 (78,17)	1767	0,15	5,41(10,5)

Таблица 3

Параметры движительно-двигательной установки с СГВ при потреблении мощности $PD_{\Sigma} = 1$ кВт

№ пп.	Шаговое отношение P/D	Суммарный момент Q_{Σ} , кгм (Нм)	Суммарный упор T_{Σ} , кг (Н)	Частота вращения n , об/мин (1/с)	D , м	Скорость V_s , м/с (уз)
1	0,8	0,835 (8,19)	33,5 (329)	1167 (19,45)	0,20	0
2	1,3	1,22 (11,97)	32,6 (320)	799 (13,32)	0,20	0
3	1,4	1,28 (12,56)	32,6 (320)	763 (12,72)	0,20	0
4	1,4	1,61 (15,79)	35,8 (351)	604,8 (10,08)	0,23	0
5	1,1	0,713 (6,994)	16,5 (161,9)	1368 (22,8)	0,20	5,41 (10,5)

Таблица 4

Параметры движительно-двигательной установки с СГВ при потреблении мощности $P_{D\Sigma} = 2$ кВт

№ пп.	Шаговое отношение P/D	Суммарный момент Q_{Σ} , кгм (Нм)	Суммарный упор T_{Σ} , кг (Н)	Частота вращения n	D , м	Скорость V_s , м/с (уз)
1	0,8	2,61 (25,6)	69,8 (685)	748 (12,47)	0,30	0
2	1,3	3,80 (37,3)	68,0 (667)	513 (8,55)	0,30	0
3	1,4	3,98 (39,4)	67,7 (664)	489 (8,15)	0,30	0
4	0,8	3,05 (29,9)	74,2 (728)	638 (10,63)	0,33	0
5	1,4	4,67 (4,8)	72,3 (709)	418 (6,96)	0,33	0
6	1,1	2,25 (22,11)	35,15 (344,8)	875 (14,59)	0,30	5,144 (10)

Таблица 5

Технические требования к электрической передаче мощности на СГВ движительных модулей АНПА суммарной мощностью $P_{D\Sigma} 0,5, 1$ и 2 кВт

$P_{D\Sigma}$, кВт	Момент Q_{Σ} , Нм, максимальный	Упор T_{Σ} , Н, максимальный	Диапазон частоты вращения n , об/мин	Диаметр СГВ D , м	Диаметр гондолы D_g , м	Длина гондолы l , м
0,5	(4,98) $\times 1,15 = 5,60$	(171) $\times 1,15 = 197$	(979÷1767) 850 ÷ 2000	0,15	$\leq 0,082$	$\leq 0,38$
1,0	(15,8) $\times 1,15 = 18,2$	(351) $\times 1,15 = 404$	(605÷1368) 525 ÷ 1500	0,2 ÷ 0,23	$\leq 0,11$	$\leq 0,51$
2,0	(45,8) $\times 1,15 = 52,7$	(728) $\times 1,15 = 837$	(418–875) 360 ÷ 1000	0,3–0,33	$\leq 0,165$	$\leq 0,76$

По оценке авторов, АНПА с движительными модулями, удовлетворяющими разработанным техническим требованиям (см. табл. 5), смогут успешно выполнять функциональные назначения этого вида морской техники.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выбор в качестве двухступенчатого лопастного движителя соосных гребных винтов противоположного вращения с электроприводом в составе движительного модуля АНПА при выполнении представленных технических требований к электрической передаче мощности (см. табл. 5) позволит АНПА транспортного типа успешно функционировать во всем диапазоне эксплуатационных нагрузок.

Настоящая статья дополняет известные материалы, посвященные определе-

нию технических требований к движительно-двигательным установкам с СГВ и электрической передачей мощности для их вращения, а именно для $P_{D\Sigma} 300$ кВт [10] и $P_{D\Sigma} = 1800–3000$ кВт [11]. Эти публикации направлены на обоснование разработок движительно-двигательных установок нового поколения, которые будут сочетать наилучшие гидродинамические качества лопастных систем и преимущества электрической передачи мощности. Конструкция движительно-двигательной установки с СГВ и электрической передачей мощности двумя последовательно расположенными гребными электродвигателями была предложена еще в 1998 г. [12]. Действующим аналогом предстоящих разработок движительно-двигательных установок такой конструкции (предназначенных как для АНПА, так и иных морских объектов) является установка Candela C-POD, ис-

В вариантах конструкции АНПА с движительным модулем, выполненным в виде обтекаемой гондолы, могут использоваться несколько движительных модулей, размещенных вне корпуса подводного аппарата [6], (рис. 2).

Каждый движительный модуль в виде обтекаемой гондолы крепится к корпусу АНПА посредством обтекаемой стойки (см. рис. 2).

Важной задачей при создании АНПА с движительным модулем нового поколения является разработка гребных электродвигателей, удовлетворяющих требованиям гидродинамики. К этим требованиям относятся габаритные ограничения и расширенный диапазон оборотов, при котором обеспечивается передача суммарной максимальной мощности $P_{D\Sigma}$ электродвигателей на СГВ (в этом диапазоне оборотов при уменьшении частоты вращения должен возрастать момент и сохраняться возможность передачи максимальной мощности $P_{D\Sigma}$ электродвигателей на СГВ).

РАСЧЕТНАЯ ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКИХ ТРЕБОВАНИЙ

Для оценки технических требований к электрической передаче мощности на СГВ и к движителям в целом суммарной максимальной мощностью $P_{D\Sigma}$ равной 0,5, 1 и 2 кВт были выбраны условные АНПА с типовыми измерениями (табл. 1, см. рис. 1–2), для которых выполнены расчеты ходкости, а также СГВ на швартовном режиме. Результаты оценки ходкости АНПА представлены на рис. 3.

Результаты расчетов сведены в табл. 2–4 (полужирным шрифтом выделены параметры, принятые за расчетные) и представлены на рис. 4–6. Параметры технических требований (суммарный момент Q_{Σ} и суммарный упор T_{Σ}) увеличены по сравнению с расчетными параметрами примерно на 15%, соответственно расширен возможный рабочий диапазон частоты вращения СГВ.

Пределные габариты электродвигателей должны допускать их размещение в гондольном варианте движителя. При определении максимально допустимых относительного диаметра гондолы Dg/D и относительной длины гондолы l/Dg , целесообразно принять за аналог успешно эксплуатируемые движительно-рулевые колонки фирмы АВВ Azipod CO [9]. Тогда максимально допустимый относительный диаметр гондолы $Dg/D = 0,55$ м, а допустимая максимальная относительная длина гондолы $l/Dg = 4,6$. Технические требования к электрической передаче мощности на СГВ на основе выполненных расчетов сведены в табл. 5.

Области эксплуатации гребных электродвигателей СГВ, соответствующие этим техническим требованиям, показаны на рис. 7.

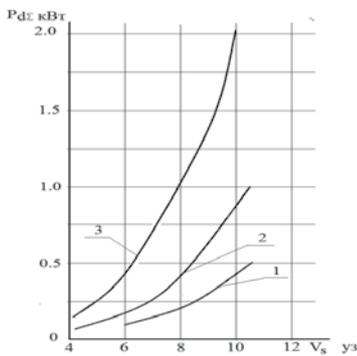


Рис. 3. Потребная мощность $P_{D\Sigma}$ одного движительного модуля АНПА в зависимости от скорости движения V_s
 1 – АНПА с одним движительным модулем максимальной мощности $P_{D\Sigma} = 0,5$ кВт; 2 – АНПА с одним движительным модулем максимальной мощности $P_{D\Sigma} = 1,0$ кВт, $D = 0,2$ м (см. рис. 1); 3 – АНПА с четырьмя движительными модулями максимальной мощности $P_{D\Sigma} = 2,0$ кВт каждый, $D = 0,3$ м (см. рис. 2)

пользуемая в настоящее время на малых катамаранах на подводных крыльях шведской фирмы Candela [13].

ЛИТЕРАТУРА

1. Patent Application Publication US 2017/0369137A1 «Unmanned Underwater Vehicle».
2. Patent WO 03/059734 «Construction of an Underwater Vehicle».
3. Цариченко С.С. АНПА GAVIA – подводный исследователь // Гидротехника. – 2011. – № 2 (22).
4. Робототехника. – (Электронный ресурс). URL: <http://www.ckb-rubin.ru/ptoeckty/robototekhnika>.
5. ГОСТ Р 56960–2016. Аппараты обитаемые подводные. Классификация.
6. Пинчук А.Н., Вишневецкий Л.И., Тогуляц А.Р., Анчиков С.Л. Автономный обитаемый подводный аппарат модульной архитектуры. – Патент на полезную модель № 239314 // Офици. бюлл. «Изобретения. Полезные модели». – 2025. – № 34.
7. Воеводская Е.Н., Турбал В.К. Перспективы повышения ходовых качеств быстроходных транспортных судов // Вопросы судостроения. – Сер.: Проектирование судов/ЦНИИ «Румб». – 1977. – Вып. 15.
8. Мухин А.Б. Акустическая оптимизация геометрических элементов гребных винтов подводных лодок. // Тр. ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова. – 2009. – Вып. 47 (331). – С. 81–90.
9. Azipod © CO Product Introduction.
10. Тогуляц А.Р., Анчиков С.Л., Вишневецкий Л.И. О применении соосных гребных винтов с электрической передачей мощности на малотоннажных судах. // Морской вестник. – 2023. – № 1 (85). – С. 75–78.
11. Тогуляц А.Р., Анчиков С.Л., Вишневецкий Л.И. О технических требованиях к электрической передаче мощности на соосные гребные винты противоположного вращения. // Морской вестник. – 2022. – № 1 (81). – С. 43–48.
12. Бедкер В.Ф., Тогуляц А.Р. Судовая движительно-двигательная установка типа «Поворотная колонка». – Патент № 2115589 // Бюлл. Госкомизобретений. «Открытия и изобретения». – 1998. – № 20.
13. Introducing the Candela – C-POD. August 19.2021. – URL: <http://www.Candela-com.introducing-the-candela-c-pod/>

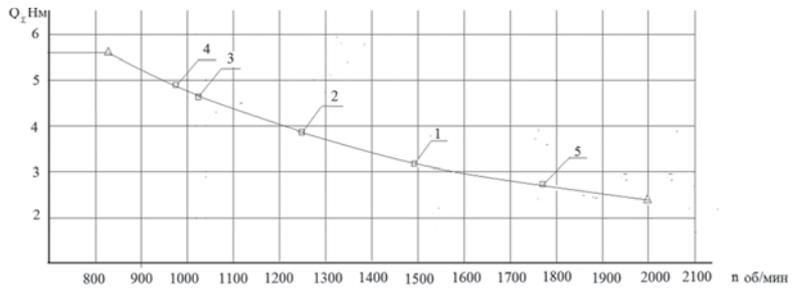


Рис. 4. Зависимость суммарного момента на СГВ Q_{Σ} (Нм) от частоты вращения n (об/мин) движительно-двигательной установки с СГВ при потреблении мощности $P_{D\Sigma} 0,5$ кВт
 1 – $P/D = 0,8$, $D = 0,15$ м, $V_s = 0$ уз; 2 – $P/D = 1,0$, $D = 0,15$ м, $V_s = 0$ уз; 3 – $P/D = 1,3$, $D = 0,15$ м, $V_s = 0$ уз; 4 – $P/D = 1,4$, $D = 0,15$ м, $V_s = 0$ уз; 5 – $P/D = 1,1$, $D = 0,15$ м, $V_s = 10,5$ уз; Δ – параметры технических требований к двухступенчатому лопастному движителю при крайних значениях диапазона частоты вращения ($Q_{\Sigma} = 5,6$ Нм, $n = 826$ об/мин и $Q_{\Sigma} = 2,4$ Нм, $n = 2000$ об/мин)

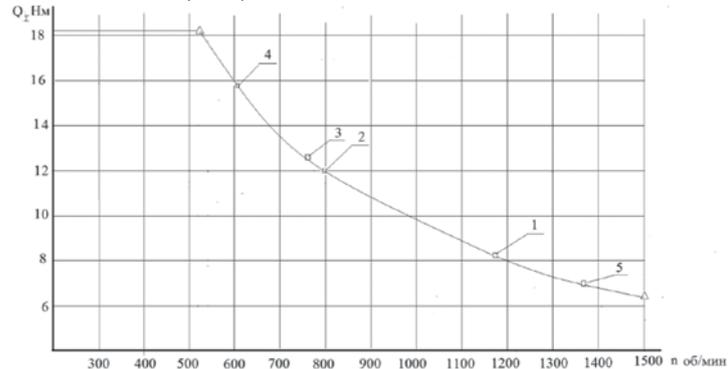


Рис. 5. Зависимость суммарного момента на СГВ Q_{Σ} (Нм) от частоты вращения n (об/мин) движительно-двигательной установки с СГВ при потреблении мощности $P_{D\Sigma} = 1$ кВт
 1 – $P/D = 0,8$, $D = 0,20$ м, $V_s = 0$ уз; 2 – $P/D = 1,3$, $D = 0,20$ м, $V_s = 0$ уз; 3 – $P/D = 1,4$, $D = 0,20$ м, $V_s = 0$ уз; 4 – $P/D = 1,4$, $D = 0,23$ м, $V_s = 0$ уз; при крайних значениях диапазона частоты вращения ($Q_{\Sigma} = 18,2$ Нм, $n = 525$ об/мин и $Q_{\Sigma} = 6,37$ Нм, $n = 1500$ об/мин)

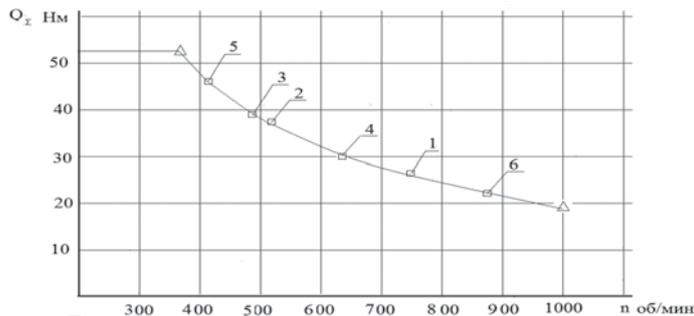


Рис. 6. Зависимость суммарного момента на СГВ Q_{Σ} (Нм) от частоты вращения n (об/мин) движительно-двигательной установки с СГВ при потреблении мощности $P_{D\Sigma} = 2$ кВт
 1 – $P/D = 0,8$, $D = 0,3$ м, $V_s = 0$ уз; 2 – $P/D = 1,3$, $D = 0,30$ м, $V_s = 0$ уз; 3 – $P/D = 1,4$, $D = 0,30$ м, $V_s = 0$ уз; 4 – $P/D = 0,8$, $D = 0,33$ м, $V_s = 0$ уз; 5 – $P/D = 1,4$, $D = 0,33$ м, $V_s = 10,0$ уз; 6 – $P/D = 1,1$, $D = 0,30$ м, $V_s = 10,0$ уз; Δ – параметры технических требований к двухступенчатому лопастному движителю при крайних значениях диапазона частоты вращения ($Q_{\Sigma} = 52,7$ Нм, $n = 363$ об/мин и $Q_{\Sigma} = 19,1$ Нм, $n = 1000$ об/мин)

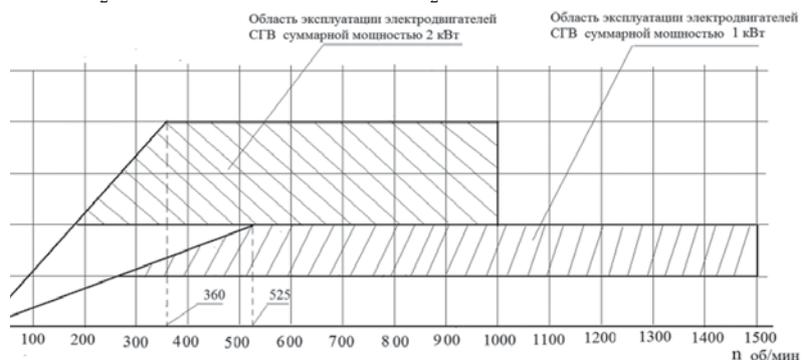


Рис. 7. Области эксплуатации гребных электродвигателей СГВ движительных модулей АНПА в виде зависимостей $P_{D\Sigma} = f(n)$

Поисково-спасательное обеспечение (ПСО) включает в себя «комплекс организационно-технических мероприятий, поисковых, спасательных, подводно-технических и водолазных работ, направленных на оказание помощи поврежденным и терпящим бедствие кораблям, судам и другим морским объектам, спасание их экипажей, а также на выполнение работ по подъему затонувших кораблей и судов» с целью безорасности морской деятельности [1].

Согласно Кодексу торгового мореплавания РФ, «спасательной операцией является любая деятельность, предпринимаемая с целью оказания помощи любому судну или другому имуществу, находящимся в опасности в судоходных водах или в любых других водах» [2]. Успешное решение задачи оказания помощи аварийному объекту на акватории в конечном итоге означает как спасение всех находящихся на нем людей, так и имущества. Для решения задач ПСО не только на морях и на других водных объектах предназначена спасательная техника (СТ), которая включает в себя средства:

- спасения и эвакуации (спасательные средства) на морских (речных) объектах, бортовое авиационное аварийно-спасательное оборудование воздушных судов, терпящих бедствие на акватории, и десантируемые с воздушных судов авиационные спасательные комплексы;
- оповещения об аварии и бедствии аварийного морского (речного) объекта;
- обозначения и указания местоположения аварийного морского (речного) объекта и людей, терпящих бедствие на акватории;
- поиска людей, терпящих бедствие на акватории, и аварийного морского (речного) объекта;
- поддержания на плаву аварийного морского (речного) объекта;
- для снятия с мели и буксировки аварийного морского (речного) объекта;
- тушения пожаров (пожарная техника);
- выполнения водолазных работ (водолазная техника) [3].

В силу объективных закономерностей развития техники существуют устойчивые тенденции современного развития и СТ, которые заключаются, с одной стороны, в ее многофункциональности, использовании сменяемых модулей контейнерного типа различного назначения, в роботизации,

О ТЕХНИЧЕСКОМ РЕГУЛИРОВАНИИ МОРСКОЙ СПАСАТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

*В. Н. Ильохин, д-р. техн. наук, проф.,
руководитель секции поисково-спасательной техники и технологий
Российского НТО судостроителей им. акад. А. Н. Крылова,
контакт. тел. (812) 710 4011, cpntokrylov@mail.ru*

с другой стороны в существовании достаточно большой номенклатуры СТ одного функционального назначения. При этом каждое ведомство, в котором имеются аварийно-спасательные службы (АСС), определяет технические требования к СТ с учетом поставленных перед АСС задач. Такие требования существуют в ВМФ, МЧС России, Министерстве транспорта и в других федеральных органах исполнительной власти (ФОИВ) и ведомствах. Этому «способствует» то, что «Правила осуществления взаимодействия федеральных органов исполнительной власти, органов исполнительной власти субъектов РФ и организаций при проведении поисковых и спасательных операций на море», утвержденные Постановлением Правительства РФ от 25.11.2020 г. № 1928 [4], отменили «Положение о взаимодействии аварийно-спасательных служб министерств, ведомств и организаций на море и водных бассейнах России» (утверждено 18.04.1995 г.). Последнее предусматривало обеспечение единой государственной технической политики в области создания средств поиска и спасения людей на море. Однако СТ, как и другие виды техники, является объектом стандартизации, в отношении которого разрабатываются (и применяются) документы по стандартизации, направленные на достижение упорядоченности различных видов СТ. В прямой зависимости от уровня стандартизации СТ находится эффективность выполнения задач ПСО на море. Практика аварийно-спасательных работ (АСР) убедительно показывает, что при оказании помощи аварийным объектам на акваториях участвуют все имеющиеся в районе бедствия силы и средства независимо от их ведомственной принадлежности.

Необходимо также учитывать, что стандартизация позволяет:

- снизить затраты на проектирование, серийное производство, эксплуатацию и ремонт СТ;
- уменьшить время и затраты на подготовку специалистов и спасателей.

Любой стандарт по СТ разрабатывается на основе опыта применения новых видов продукции, процессов, технологий и результатов научных ис-

следований. При этом особое значение имеет учет практического опыта применения техники в ходе ликвидации аварий. Его ценность обусловлена тем, что СТ применяется в экстремальных условиях, которые не всегда могут быть имитированы при проведении различных видов испытаний образцов СТ, отвечающих требованиям технического задания, с участием человека. В качестве примеров можно привести волнение моря, температуру воды и окружающего воздуха, глубину погружения и др. Испытания индивидуальных и коллективных спасательных средств в экстремальных условиях с людьми, как правило, не проводятся, так как связаны с риском для жизни испытателей. Поэтому практический опыт должен быть обязательно учтен разработчиками в национальном стандарте. Без знания и применения именно таких стандартов для СТ создание качественных технических средств спасения людей, терпящих бедствие, и оказания помощи аварийным морским (речным) объектам проблематично. Большое значение имеет организация централизованного учета опыта применения СТ при авариях на море АСС различных ФОИВ при разработке стандартов для СТ.

На СТ как объект стандартизации распространяются требования нормативных правовых документов [5–9].

Согласно ст. 17 ФЗ № 162-ФЗ [6] национальные стандарты разрабатываются участниками работ по стандартизации (рис. 1) в целях содействия использованию полученных в различных областях знаний и решений, инноваций, достижений науки и техники.

Кроме национальных стандартов к документам, разрабатываемым и применяемым в национальной системе стандартизации (НСС) [6], отнесены:

- основополагающие и предварительные национальные стандарты;
- правила стандартизации;
- рекомендации по стандартизации;
- информационно-технические справочники;
- технические спецификации (отчеты);
- стандарты организаций (СТО);
- технические условия (ТУ)



Рис. 1 Участники работ по созданию национальной системы стандартизации

ОСОБЕННОСТИ ТЕХНИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ МОРСКОЙ СПАСАТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

При формировании российской системы технического регулирования, заключающейся в правовом регулировании отношений в области установления, применения и исполнения требований к продукции (процессы проектирования, производства, эксплуатации, хранения и др.), был отменен принятый в СССР принцип обязательного применения государственных стандартов для органов управления и субъектов хозяйственной деятельности. Федеральным законом от 29.06.2015 г. «О стандартизации в РФ» [6] установлен принцип добровольного применения документов по стандартизации и обязательного применения в отношении оборонной продукции и др. [6, ст. 6].

ФЗ от 27.12.20 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании» [5] в качестве базовой основы принята модель двухуровневого подхода к стандартизации.

Первый уровень – это разработка технического регламента (ТР) – документа, в котором сформулированы обязательные требования к продукции, обеспечивающие минимальный уровень безопасности объектов технического регулирования. Согласно [5], ТР принимаются в целях:

- защиты жизни или здоровья граждан, имущества физических или юридических лиц, государственного или муниципального имущества;
- охраны окружающей среды, жизни или здоровья животных и растений;
- предупреждения действий, вводящих в заблуждение приобретате-

- лей, в том числе потребителей;
 - обеспечения энергетической эффективности и ресурсосбережения.
- К ТР прилагаются перечни национальных стандартов, требования которых могут носить как обязательный, так и добровольный характер. При этом стандартам отводится роль доказательной базы для подтверждения соответствия продукции обязательным требованиям. Положения стандартов, включенные в перечень ТР для добровольного применения, оставлены на усмотрение проектировщиков и изготовителей.

Второй уровень – разработка стандарта, который не включен в перечни ТР, содержащий условие добровольного применения. В стандартах указываются конкретные показатели, которых обязан достигнуть производитель, чтобы выполнить требования, заложенные в ТР. Производитель сам должен выбирать, хочет он их использовать или нет. Принцип добровольности применения документов по стандартизации имеет ограничения. В то же время предусмотрен ряд случаев, когда применение национальных стандартов обязательно. Требования национальных стандартов могут быть признаны обязательными в следующих случаях:

- когда в договоре или техническом задании заказчика на продукцию содержится указание на обязательность выполнения стандарта;
- когда в технической документации изготовителя (разработчика, поставщика) имеется указание исполнителя на обязательное соответствие продукции или работ стандарту.

Кроме того, согласно ст. 33 ФЗ «О контрактной системе в сфере закупок товаров, работ, услуг для обеспечения государственных и муници-

пальных нужд» № 44-ФЗ от 05.04.20 г. [10] заказчик при составлении описания объекта закупки должен руководствоваться показателями, требованиями, условными обозначениями и терминологией, касающихся технических и функциональных характеристик объекта закупки, предусмотренных ТР, принятыми в соответствии с законодательством РФ о техническом регулировании, документами, разрабатываемыми и применяемыми в НСС. Принцип добровольности применения документов по стандартизации также не действует в отношении общероссийского классификатора технико-экономической и социальной информации. Это следует из приведенного в п. 7 ст 2 ФЗ № 162 [3] определения данного документа, в котором сказано, что классификатор является «обязательным для применения в государственных информационных системах и при межведомственном обмене информацией в порядке, установленном федеральными законами и иными нормативными правовыми актами РФ».

Принцип добровольности не действует и в отношении ТУ, так как согласно ч. 3 ст. 21 ФЗ № 162 [6] ТУ применяются в соответствии с условиями, установленными в договорах (контрактах), а в п. 4.8 ГОСТ Р 1.3–2018 написано: «Требования к конкретной продукции, установленные в утвержденных ТУ, являются обязательными для юридических и физических лиц, осуществляющих деятельность по ее изготовлению, применению, транспортированию, хранению и утилизации». Сказанное относится также к СТО, так как п. 4.17 ГОСТ Р 1.4–2004 гласит: «Требования стандарта организации подлежат соблюдению в организации, утвердившей данный стандарт, и ее структурных подразделениях (в случае корпоративной или ведомственной подчиненности) с момента (даты) введения стандарта в действие». СТО и ТУ на образцы СТ согласно дополнению к ФЗ № 162-ФЗ (действует с 01.07.2021 г.) могут быть зарегистрированы в установленном порядке в Федеральном информационном фонде стандартов (ФИФС) только на основании заключений о результатах экспертизы соответствующих ТК по стандартизации. Кроме того, ст. 6 ФЗ [6] содержит список исключений, когда могут устанавливаться и другие обязательные требования к продукции (размещение госзаказа для оборонных нужд, регулирование в области безопасности дорожного движения и др.).

Назначение морской СТ полностью соответствует положениям ТР – защите жизни и здоровья граждан, имущества физических или юридических

лиц. Однако обязательные требования к выполнению национальных стандартов по СТ в действующих ТР учтены недостаточно. В настоящее время принято 7 ТР РФ, 34 ТР Таможенного союза (ТС) и 14 ТР Евразийского экономического союза (ЕАЭС). Наиболее полно учтены как обязательные требования ТР к обеспечению пожарной безопасности [11]. Только ГОСТ Р 52264–2004 включен в перечень национальных стандартов, обязательных для выполнения требований ТР «О безопасности оборудования, работающего под избыточным давлением» (ТР ТС 032/2013) [12]. Что касается ТР [13–15], то в них отсутствуют перечни национальных стандартов, в которых требования к СТ обозначены как обязательные для выполнения, а требования к спасательным средствам изложены в сокращенном виде. Количество стандартов по СТ для добровольного применения достигает около 95% от их общего числа. Из вышесказанного следует, что в [5] и [6] имеют место противоречия:

- минимальные обязательные требования к безопасности в ТР при наличии необязательных (добровольных) в национальных стандартах являются необходимыми, но недостаточными условиями для достижения целей ТР;
- невыполнение принципа добровольности применения документов по стандартизации в ряде случаев, подкрепленных юридически, означает его неоднозначность в рамках федерального закона.

НЕОБХОДИМОСТЬ ОБЯЗАТЕЛЬНОГО ВЫПОЛНЕНИЯ ТРЕБОВАНИЙ НАЦИОНАЛЬНЫХ СТАНДАРТОВ ПО СПАСАТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКЕ

Провозглашенный в отношении стандартов по СТ принцип добровольного выполнения снимает ответственность с авторов технических регламентов за полноту учета рисков, перекладывая ее на разработчиков и производителей, имеющих в ряде случаев недостаточный уровень подготовки в сфере обеспечения безопасности на транспорте и в промышленности.

Таким образом возникает определенное противоречие между целью ТР для СТ и его содержанием. Так, выполнение ТР носит обязательный характер, а в национальных стандартах говорится о добровольном выполнении требований, указанных в прилагаемых к ТР перечнях стандартов по СТ (и это при отсутствии в ТР конкретных требований к СТ в целом и к спасательным средствам в частности). В этом случае исключается должное выпол-

нение заявленной цели ТР – защита жизни и здоровья граждан. Важно подчеркнуть, что принцип добровольности применения стандартов при оценке соответствия СТ в ТР противоречит ст. 6 п. 1 ФЗ № 184-ФЗ, так как *добровольный отказ разработчика от применения стандартов по СТ означает отказ от реализации совершенством требований к СТ, предназначенной для обеспечения сохранения жизни и здоровья граждан*. В итоге стандарты, призванные стать доказательной базой ТР с целью обеспечения безопасности человека в экстремальных ситуациях, фактически остаются невостребованными, как и заложенный в стандарты опыт применения СТ в таких случаях.

В некоторых ТР не обозначены многочисленные технические детали, составляющие основу (базис) обеспечения промышленной безопасности. Возникают вопросы о критериях минимальности требований безопасности в ТР, а также о государственном контроле выполнения данных требований. Сегодня вместо рынка квалифицированных услуг, предназначенных для повышения уровня безопасности на море, в некоторых случаях мы получаем рынок услуг как элементов безопасности, не имеющих должного технического регулирования. Кроме того, имеет место несоответствие требований ст. 33 ФЗ-44 [10], в которой говорится о том, что заказчик образца СТ обязан в ТЗ указывать документ НСС, которому должен соответствовать этот образец, принципу добровольности его применения в соответствующем национальном стандарте.

Для исключения такого противоречия необходимо ввести в национальные стандарты положение об обязательном выполнении требований стандартов по СТ, которые направлены на обеспечение безопасности людей и аварийных объектов на море. В нынешних условиях нельзя исключать ситуации, когда разработчики предпочтут продвигать свои изделия без выполнения требований стандартов по СТ. Необходимость обязательного выполнения стандартов по СТ обусловлена также некоторым снижением в ряде случаев технического уровня образцов, разрабатываемых на основе ТУ и СТО. В условиях недостатка специалистов с должным уровнем квалификации общественность будет с опозданием (только после очередной аварии) узнавать о принятых кем-то ошибочных технических решениях, повлекших за собой гибель людей. Отсюда следует:

- ТР должен содержать более детализированные требования к СТ;

- перечень национальных стандартов, содержащих требования об обязательном соблюдении положений ТР, должен быть расширен и утвержден;
- перечень стандартов должен охватывать всю номенклатуру указанной в ТР СТ, а не только спасательные средства.

Среди принятых ТР нет ни одного, полностью касающегося СТ. Поэтому актуальным аспектом стандартизации морской СТ при совершенствовании системы технического регулирования в соответствии с [5] является разработка проекта ТР «О безопасности на акватории водных объектов» для проведения обязательной сертификации СТ с целью недопущения поставок, закупок и использования технических средств, не обеспечивающих требуемый уровень безопасности.

Кроме того, учитывая специфику вододозной техники и отсутствие в ТР [12] требований к ее значительной части, целесообразно разработать соответствующее дополнение к ТР [12], расширив диапазон области его применения с перечнем соответствующих стандартов, обязательных к выполнению. Аналог такого подхода видим в создании ТР [11] с перечнем национальных стандартов и сводов правил [16,17], в результате применения которых на *обязательной основе* обеспечивается соблюдение требований ТР [11].

Одной из областей технического регулирования является оценка или подтверждение соответствия – «документального удостоверения соответствия продукции или иных объектов, процессов проектирования (включая изыскания), производства, строительства, монтажа, наладки, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, выполнения работ или оказания услуг требованиям технических регламентов, положениям стандартов, сводов правил или условиям договоров» [5].

Деятельность по сертификации в РФ основана на нормативных правовых и технических документах [18–20]. Для подтверждения соответствия объектов стандартизации требованиям ТР, документам по стандартизации или условиям договоров предусмотрена системы добровольной и обязательной сертификации (рис. 2). Добровольная сертификация проводится по инициативе заявителя на соответствие требованиям стандартов, технических условий и других документов, определяемых заявителем. Применение национального стандарта подтверждается знаком соответствия этому стандарту.

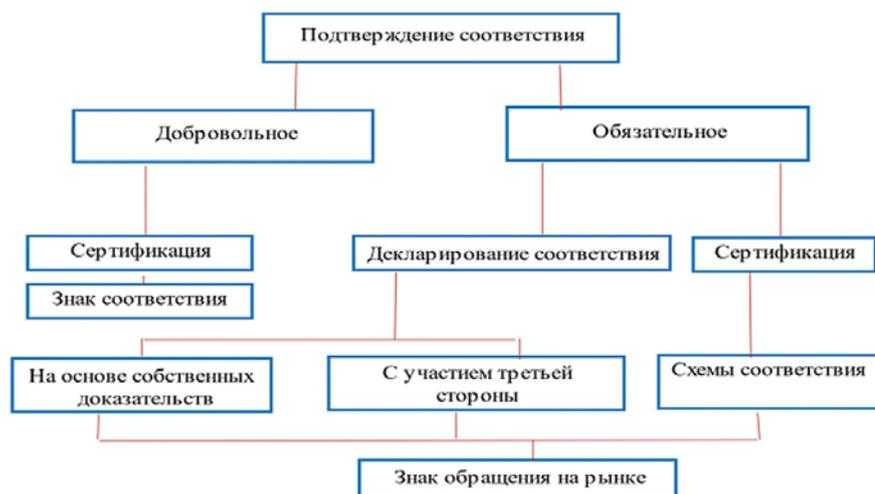


Рис. 2 Схема подтверждения соответствия

Знак соответствия – обозначение, служащее для информирования приобретателей о соответствии объекта сертификации требованиям, установленным системой добровольной сертификации на основе требований национальных стандартов.

Обязательная сертификация продукции проводится на основании требований ТР. Так, например, распоряжением Правительства РФ от 23.12.2021 г. № 2425 [8] определен перечень национальных стандартов, содержащих правила и методы исследований (испытаний) и измерений, в том числе правила отбора образцов, необходимые для применения и исполнения ФЗ [5] и оценки соответствия. Обязательной сертификации [8] подлежат определенная перечнем номенклатура продукции и услуг, который ежегодно корректируется на основании нормативных документов [6], требованиям которых они должны соответствовать. Спасательная техника в этом перечне отсутствует. Это связано не с отсутствием национальных стандартов на такую технику, а с отсутствием ФОИВ, заинтересованного в подаче предложений в этот перечень. Методические рекомендации [21] по разработке предложений по уточнению единого перечня продукции, подлежащей обязательной сертификации, и единого перечня продукции, подлежащей декларированию соответствия, во исполнение [8] предусматривают в качестве одного из условий включения новых видов продукции (СТ) в этот перечень наличие информации о фактах неоднократного причинения вреда жизни или здоровью граждан при ее применении. Информация же о характерных авариях судов на море, в том числе с гибелью людей, ежегодно публикует Ространснадзор [22].

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ ТЕХНИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ МОРСКОЙ СПАСАТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

Анализ существующего уровня стандартизации СТ и его сравнение с уровнями стандартизации других видов технических средств свидетельствует о необходимости совершенствования системы технического регулирования в части обязательного применения национальных стандартов по СТ, непосредственно влияющих на обеспечение безопасности людей, терпящих бедствие на море. Обязательное применение национальных стандартов по СТ создаст необходимые условия для повышения заинтересованности ключевых участников работ по стандартизации – ФОИВ, научных организаций, разработчиков СТ и специалистов АСС и АСФ.

Многие предприятия РФ имеют конкретные инновационные разработки, направленные на совершенствование СТ для МЧС России, Министерства обороны России и других ФОИВ. В частности, уже разработаны технологии эвакуации персонала аварийных объектов во льдах, обнаружения персонала аварийного объекта силами и средствами системы ПСО в условиях высоких широт. Созданы комплекс технических средств поиска и спасения людей в сложных ледовых условиях российского морского шельфа, средство экстренной эвакуации и спасения персонала с морских объектов в ледовых условиях, быстроходное амфибийное поисково-спасательное судно для оснащения спасательных центров в Арктике и ледоколов, водолазное снаряжение для погружения в северных широтах, индивидуальные

(гидрокостюмы) и коллективные (спасательные шлюпки с реактивно-пневматическим и шнековым двигателем, канатный эвакуационный комплекс) средства для судов и морских сооружений и т. д. Наличие механизма реализации инновационных проектов создаст необходимые и достаточные условия для организации промышленного кластера по разработке и сертификации СТ и технологий для использования в Арктической зоне РФ. В целом, чтобы повысить уровень технологического совершенства, а также определить эффективные направления развития СТ, в том числе и для северных широт, целесообразно продолжить политику государственной поддержки проведения комплексной модернизации и технического перевооружения существующих сил и средств федеральной системы поиска и спасания на море. Для этого важно осуществить координацию результатов инновационных разработок СТ на акватории водных объектов в современных условиях на базе системного интегратора таких работ.

В настоящее время для технического регулирования морской спасательной техники необходимо:

1. Включить стандарты по СТ в перечень национальных стандартов, содержащих правила и методы исследований (испытаний) и измерений, в том числе правила отбора образцов, обязательные для применения и исполнения в действующих ТР.

2. Дополнить стандартами по СТ единый перечень продукции, подлежащей обязательной сертификации, и единый перечень продукции, подлежащей декларированию соответствия [8], что позволит повысить ответственность разработчиков национальных стандартов, сотрудников сертификационных органов и испытательных лабораторий, а также производителей СТ за качество создаваемой техники.

3. Разработать ТР «О безопасности на акватории водных объектов» с приложением перечня обязательных к выполнению стандартов по СТ на морских и воздушных судах.

4. Совершенствовать государственный контроль и надзор за соблюдением требований ТР, национальных стандартов и сводов правил по СТ при разработке ТУ и СТО, включенных в состав документов НСС. Выявление СТ на стадии разработки ТУ, не соответствующей национальным стандартам, и ограничение ее производства будут способствовать обеспечению одной из основных целей стандартизации, а именно улучшению качества СТ. Контроль за пополнением ФИФС должен быть организован на основе оценки профильными ТК соответствия

СТО и ТУ предприятий-разработчиков СТ национальным стандартам.

5. Рассмотреть в качестве системного интегратора работ по развитию СТ ФГУП «Крыловский государственный научный центр», который согласно ст. 25 «Положения о взаимодействии аварийно-спасательных служб министерств, ведомств и организаций на море и водных бассейнах России» был в 1995–2020 гг. головным исполнителем создания и совершенствования технических средств поиска и спасения людей на море и водных бассейнах России. Тем более что согласно Указу Президента РФ от 02.12.2025 г. № 881 с целью повышения эффективности управления научными исследованиями в сфере судостроения и разработки морской техники, к которой относится и СТ, ФГУП «Крыловский государственный научный центр» реорганизуется в ФГБУ «Национальный исследовательский центр судостроения им. акад. А. И. Крылова». Это позволит консолидировать исследовательский, конструкторский, технологический и кадровый потенциал ведущих научных организаций для формирования опережающего научно-технического задела и развития прорывных технологий в сфере судостроения и разработки морской техники, включая СТ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Принцип обязательного выполнения требований национальных стандартов должен применяться к спасательным средствам и ко всем другим видам морской СТ. Выполнение предложений по совершенствованию технического регулирования морской СТ позволит:

- обеспечить более активное взаимодействие всех участников работ в национальной системе стандартизации;
- повысить ответственность разработчиков стандартов за их качество;
- создать объективные условия для более полной реализации требований ФЗ № 4-ФЗ «О безопасности людей на водных объектах».

Учитывая, что безопасность человека и его жизнь зависят не только от СТ, но и от множества других объектов стандартизации, не вошедших в перечни стандартов для обязательного выполнения, нельзя исключать

перехода в среднесрочной перспективе к повышению ответственности за несоблюдение обязательных требований национальных стандартов.

ИСТОЧНИКИ

1. Морская доктрина Российской Федерации. Утв. Президентом РФ 31.07.2022 г.
2. Кодекс торгового мореплавания РФ от 30.04.1999 г. № 81-ФЗ.
3. ГОСТ Р 52206–2025 Спасательная техника на акватории. Термины и определения.
4. Постановление Правительства РФ от 25.11.2020 г. № 1928 «Об утверждении Правил осуществления взаимодействия федеральных органов исполнительной власти, органов исполнительной власти субъектов РФ и организаций при проведении поисковых и спасательных операций на море».
5. Федеральный закон «О техническом регулировании» от 27.12.2002. № 184-ФЗ.
6. Федеральный закон «О стандартизации в РФ» от 29.06.2015 г. № 162-ФЗ.
7. Постановление Правительства РФ от 30.12.2016 г. № 1567 «О порядке стандартизации в отношении оборонной продукции по государственному оборонному заказу».
8. Постановление Правительства РФ от 23.12.2021 г. № 2425 «Об утверждении единого перечня продукции, подлежащей обязательной сертификации и единого перечня продукции, подлежащей декларированию соответствия».
9. Правила промышленной безопасности при использовании оборудования, работающего под избыточным давлением. Утв. приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 15.12.2020 г. № 536.
10. Федеральный закон «О контрактной системе в сфере закупок товаров, работ, услуг для обеспечения государственных и муниципальных нужд» от 05.04.2013 г. № 44-ФЗ.
11. Федеральный закон «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» от 21.07.2008 г. № 123-ФЗ ТР «О требованиях пожарной безопасности».
12. Технический регламент Таможенного союза «О безопасности оборудования, работающего под избыточным давлением» (ТР ТС 032/2013). Принят Решением Совета Евразийской экономической комиссии от 2.07.2013 г. № 41.
13. Постановление Правительства РФ от 29.08.2025 г. № 1307 «Об утверждении технического регламента о безопасности объектов морского транспорта».
14. Постановление Правительства РФ от 17.06.2025 г. № 903. «Об утверждении технического регламента о безопасности объектов внутреннего водного транспорта».

15. Технический регламент Таможенного союза (ТР ТС 026/2012 «О безопасности маломерных судов». Принят Решением Совета Евразийской экономической комиссии от 15.06.2012 г. № 33.
16. Постановление Правительства РФ от 04.07.2020 г. № 985 «Об утверждении перечня национальных стандартов и сводов правил (частей таких стандартов и сводов правил), в результате применения которых на обязательной основе обеспечивается соблюдение требований Федерального закона «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений».
17. Решение Евразийской экономической комиссии от 11.06.2019 г. № 96 «О перечне стандартов, в результате применения которых на добровольной основе обеспечивается соблюдение требований технического регламента Таможенного союза «О безопасности оборудования, работающего под избыточным давлением» (ТР ТС 032/2013), и перечне стандартов, содержащих правила и методы исследований (испытаний) и измерений, в том числе правила отбора образцов, необходимые для применения и исполнения требований технического регламента Таможенного союза «О безопасности оборудования, работающего под избыточным давлением» (ТР ТС 032/2013) и осуществления оценки (подтверждения) соответствия продукции».
18. Федеральный закон РФ от 10.06.1993 г. № 5151–1 «О сертификации продукции и услуг».
19. Постановление Правительства РФ от 09.03.2022 г. № 320 «Об утверждении критериев аккредитации органов по сертификации продукции (работ, услуг), поставляемой по государственному оборонному заказу, испытательных лабораторий (центров) и органов по сертификации систем менеджмента качества и о внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации».
20. ГОСТ Р 53603–2009 Оценка соответствия. Схемы сертификации продукции в РФ.
21. Приказ Минпромторга РФ от 15 августа 2023 г. № 2968 «Методические рекомендации по разработке предложений по уточнению единого перечня продукции, подлежащей обязательной сертификации, и единого перечня продукции, подлежащей декларированию соответствия». Приказ Минпромторга РФ от 15 августа 2023 г. № 2968.
22. Сборник характерных аварий судов на море и транспортных происшествий на внутренних водных путях РФ, произошедших в 2024 г. – М.: Ространснадзор. Управление государственного морского и речного надзора, 2025, с. 6–7. ■

Наиболее распространенный и эффективный движитель современных судов – это гребной винт, причем форма поверхности его лопастей, как видим, усложняется. В условиях постоянно растущих мощностей главных двигателей требуются гребные винты очень больших диаметров. Это приводит к технологическим и производственным трудностям, и, как следствие, растут требования к точности и методов, и средств измерения геометрических параметров винта.

Контроль геометрии необходим на всех этапах изготовления винта, от разметки заготовки под механическую обработку до размерной аттестации готового изделия. Существует потребность в размерном контроле и во время эксплуатации винта.

В последние годы в судостроении успешно применяются электронно-оптические измерительные системы, которые реализуют геодезический метод координатных измерений. Основой этого метода является возможность определения пространственных координат контролируемых точек объекта по результатам измерений линейных/угловых величин.

Особенностью метода заключается в том, что, определив пространственные координаты достаточного числа точек, можно рассчитать фактические размеры и форму поверхностей проверяемого объекта, определить расположение поверхностей в пространстве и между собой.

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ГРЕБНЫХ ВИНТОВ

*В.В. Дубинка, ст. преподаватель СПбГМТУ,
Я.Ю. Мышков, ст. науч. сотрудник
НИИ КиВ ВМФ ВУНЦ ВМФ «ВМА»,
контакт. тел. +7 (914) 684 0375, +7 (921) 957 6413,
vdoubynka@gmail.com, ymushkov@mail.ru*

Перспективны для измерений геометрических параметров гребных винтов координатно-измерительные системы на основе приборов с возможностью сплошного сканирования поверхностей. К числу таких приборов относятся трекеры прямого сканирования и с ручными лазерными сканерами, сканеры полусферические, портативные КИМ с лазерной сканирующей насадкой, так называемой рукой.

Последовательность измерений при применении сканирующих координатно-измерительных систем выглядит следующим образом: гребной винт устанавливается на стенде и располагают приборы вокруг винта так, чтобы можно было отсканировать все его требуемые поверхности и измерить точки локальной опорной сети, которая необходима для увязки стоянок приборов в единую систему координат. Локальную сеть можно создать до погрузки винта и зафиксировать ее точки на конструкциях стенда (рис. 1).

Измерение лопастей гребного винта выполняют по засасывающей и нагнетательной поверхностям элементов ступицы. Особенно тщательно нужно отсканировать входящие и выходящие кромки лопастей. Предварительная обработка данных измерений – оценку погрешности и анализ объемов выполненных замеров – проводят на месте измерений (рис. 2 и рис. 3).

Измерения с отдельных стоянок приборов сводят в единую систему координат локальной сети. Формируется «облако» сканированных точек, и после предварительного анализа и отбраковки «грубых промахов» данные готовы к дальнейшей обработке по специальным программам.

По отсканированным «массивам» и «облакам» точек строят 3D-модели (mesh) поверхностей гребного винта. Построение можно выполнить с помощью программных пакетов измерительных систем (рис. 4).

Определение объектной системы координат восстановленных поверх-

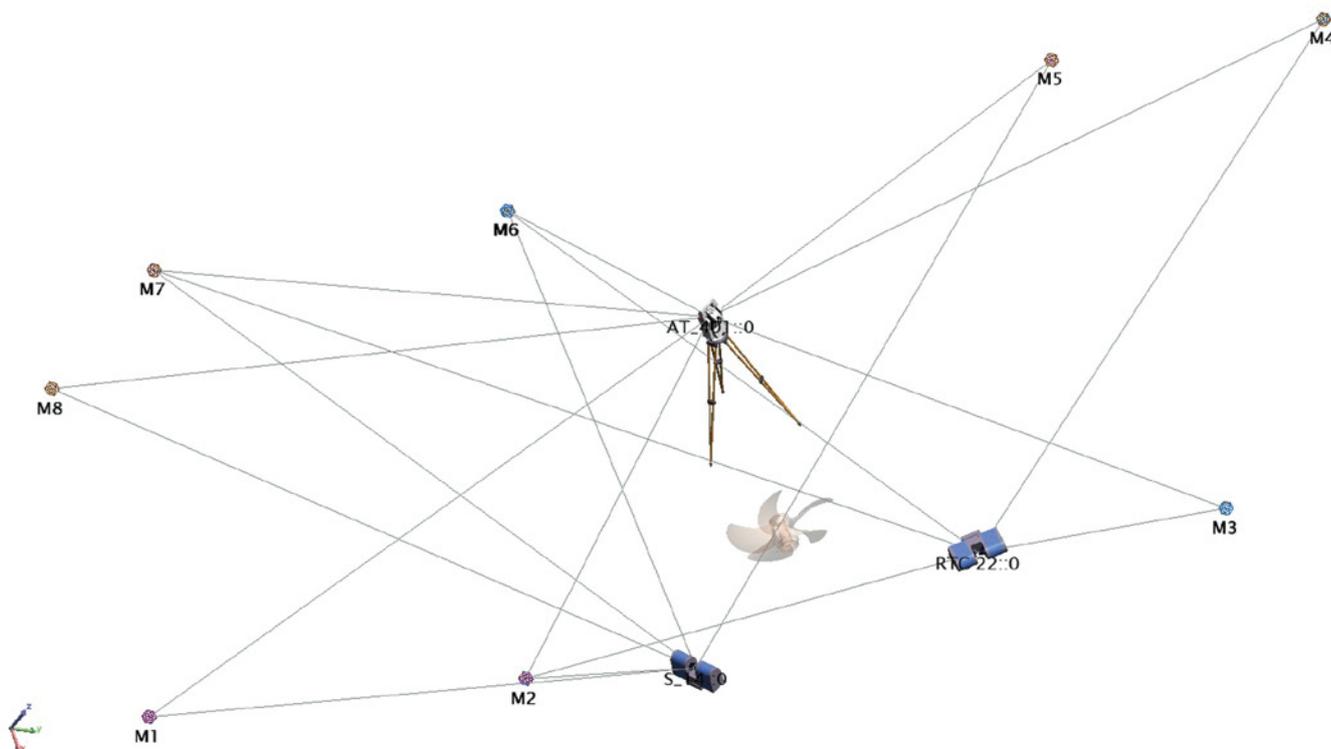


Рис. 1. Схема локальной опорной сети при измерении гребного винта

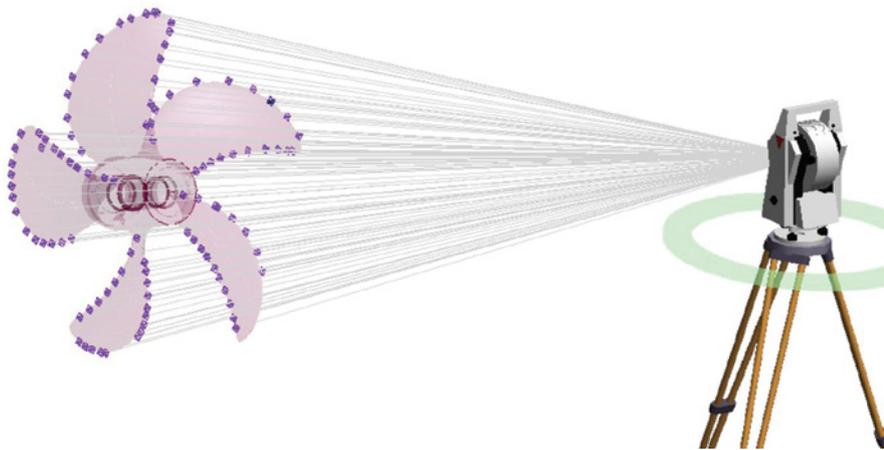


Рис. 2. Сканирование кромок лопастей гребного винта

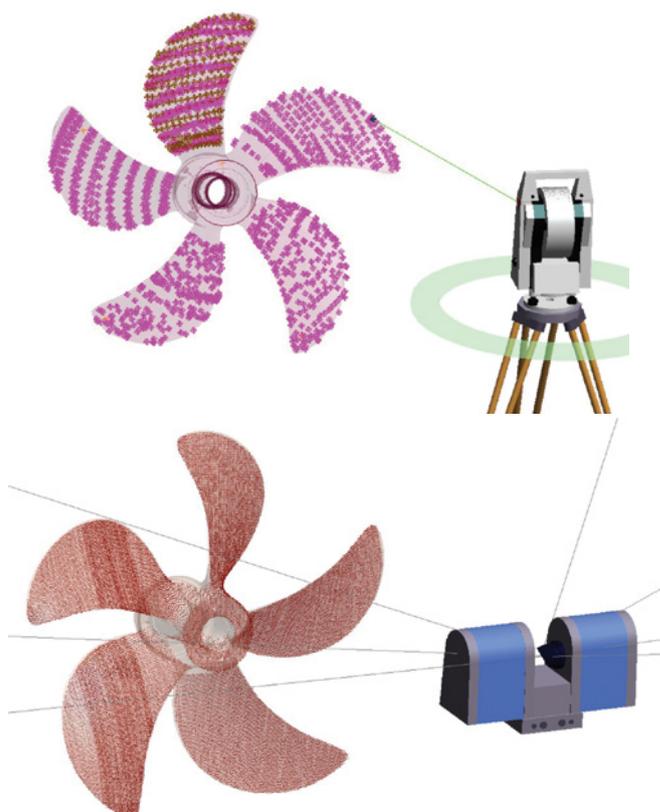


Рис. 3. Сканирование лопастей гребного винта

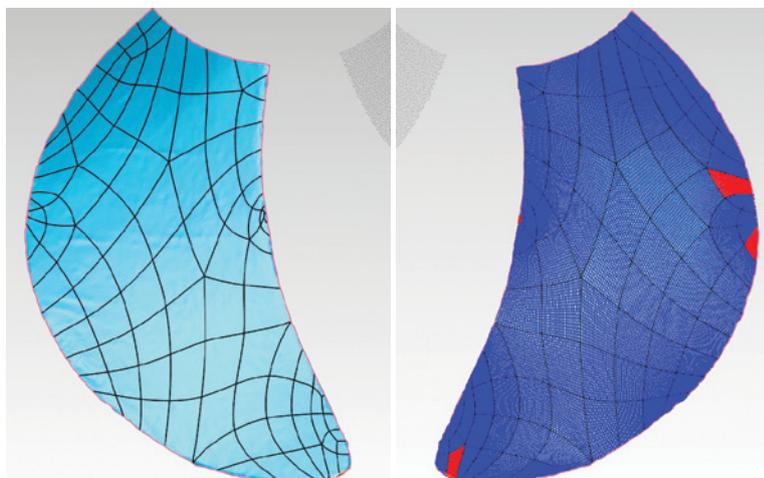


Рис. 4. Восстановленные поверхности лопастей гребного винта

ностей элементов гребного винта возможно несколькими способами: по ступице, по поверхностям лопастей, по кромкам лопастей (рис. 5).

Проверка геометрических параметров гребного винта на соответствие 3D-модели выполняется с помощью сервисных модулей программного обеспечения (ПО) координатно-измерительной системы. ПО позволяет рассчитать абсолютные отклонения фактической формы лопастей от конструкторской 3D-модели и представить их графически. При необходимости данные сравнения «облака» отсканированных точек с 3D-моделью можно рассматривать более подробно в критичных местах.

Критерии, по которым можно было бы определять геометрическое качество лопастей гребного винта на основе величин прямых фактических отклонений поверхности лопастей (рис. 6) и их процентного соотношения, на сегодня не разработаны. Подобные графические представления могут быть полезны для экспертных оценок и суждений о геометрии гребных винтов.

До выработки критериев оценки качества геометрии гребных винтов по отклонениям от 3D-модели можно использовать данные сканирования для расчета характеристик макрогеометрии гребного винта в соответствии с ГОСТ 8054–81 (шаг радиальный, межлопастной угол, откидка, линейное смещение).

При этом в отличие от традиционных средств измерений точки для замеров на поверхностях лопастей будут выбраны не дискретно, а после оптимизации некоторого «пятна точек», что повысит объективность и достоверность результатов.

Свою эффективность представленный в статье показал при проведении размерного контроля гребных винтов, выполненных на ряде проектов надводных судов и подводной техники, в том числе без их демонтажа при нахождении судна в плавдоке.

Для получения не только технического, но и положительного экономического эффекта недостаточно закупить новые средства измерений и обучить персонал. Необходимо характеристики геометрии гребного винта рассчитать с использованием координатных методов и электронно-оптических измерительных систем (см. таблицу). Требуется имплементация комплексной технологии размерного контроля, которая должна быть реализована на всех этапах жизненного цикла – от проектирования до эксплуатации.

Расчетные характеристики геометрии гребного винта

1. Шаг сечения лопастей гребного винта правого вращения							
№ лопасти	Rсеп		Нс факт	Нс теор	Δ, мм	Δ, %	Шаг лопасти, мм
1	R03	150	1133,5	1143,3	-9,8	-0,9%	
	R05	250	1203,0	1194,9	8,1	0,7%	
	R06	300	1194,1	1189,7	4,4	0,4%	
	R07	350	1163,2	1158,6	4,6	0,4%	
	R08	400	1114,2	1103,8	10,4	0,9%	
2	R03	150	1149,4	1143,3	6,1	0,5%	1135,1
	R05	250	1200,3	1194,9	5,4	0,5%	
	R06	300	1191,2	1189,7	1,5	0,1%	
	R07	350	1154,0	1158,6	-4,6	-0,4%	
	R08	400	1095,1	1103,8	-8,7	-0,8%	
	R09	450	1020,3	1013,5	6,8	0,7%	

Разношаговость сечений одного радиуса различных лопастей на радиусах от 0,5R до 0,8R, %: 1,13; 1,22; 0,92; 1,29.

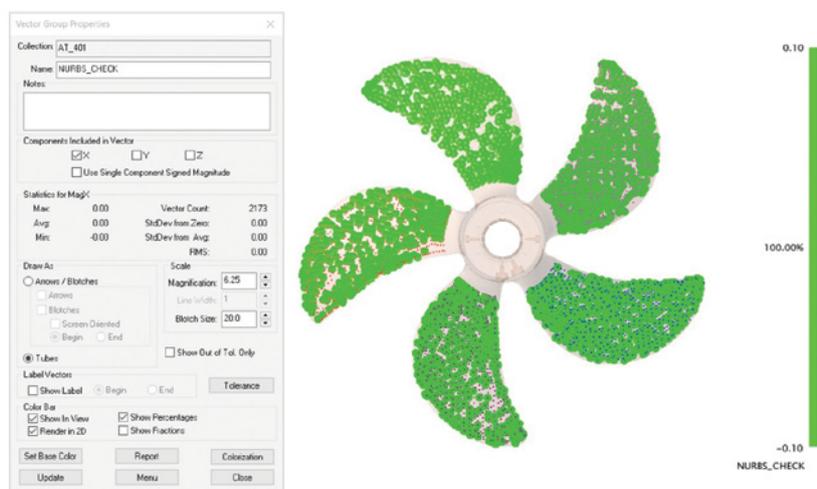


Рис. 5. Расчет объектной системы координат

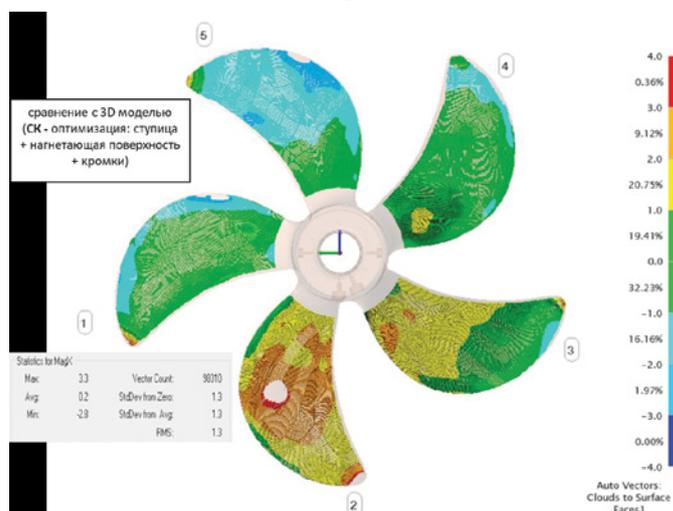


Рис. 6. Отклонения фактической формы лопастей от 3D конструкторской модели

При этом важно помнить, что любые затраты имеют отсроченный положительный эффект.

ВЫВОД

Применение современной измерительной техники и новых методов измерений в настоящее время, к сожалению, не занимает должного места в технологических процессах постройки и ремонта кораблей и судов ВМФ, что ведет к удорожанию и увеличению сроков работ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дубинка В.В. Размерный контроль гребного винта головной НАПЛ «Лада» методом бесконтактных координатных измерений на основе использования лазерного радара MV260 и электронной конструкторской модели без демонтажа с заказа № ПМ 06-011-07. – Технический отчет. – СПб, 2007.
2. Дубинка В.В. Размерный контроль методом координатных измерений модели гребного винта рулевой колонки изготовленной по технологии прямого лазерного выращивания. – Технический отчет. – СПб, 2019.
3. Дубинка В.В., Зимбалецкий А.Н., Пушкарт Е.В. Размерный контроль методом координатных измерений гребных винтов Эмпериум № БМАЛ.13.32 ТО. – Технический отчет. – СПб, 2024.
4. ГОСТ 8054–81 Винты гребные металлические. Общие технические условия. Дата введения: 1.07.1981. ■

В условиях перехода промышленных предприятий на шестой технологический уклад в интеграции производственных систем на базе информационных технологий проявилась тенденция к использованию систем автоматического управления в широком понимании этого термина. Такая интеграция охватывает все аспекты функционирования промышленного предприятия, в том числе создание обратных связей в рамках организации [2].

Таким образом, в попытке противодействовать силам, разрушившим первоначальную концепцию MRP II, на смену процедурам оптимального проектирования пришли эффективные и оперативные средства, а также методы контроля и управления производственных процессов, которые позволяют достигать исходных целей предприятия. Какие функции должна выполнять информационная система на пути достижения данных целей хорошо известно. Однако только с появлением высокоразвитых компьютерных технологий удалось справиться с гигантской нагрузкой на системные вычислительные ресурсы и таким образом выровнять воздействие всех факторов на производительность объекта управления и его экономические характеристики. Для правильного проектирования и развития крупномасштабной информационной системы судостроительного комплекса, который будет функционировать в шестом технологическом укладе, необходима однозначная оценка текущей цифровой зрелости как отдельных процессов, так и всего предприятия. Необходим прогноз уровней будущей оценки цифровой зрелости, которой предприятие будет достигать поэтапно при цифровизации своих процессов с учетом привлекаемых ресурсов.

Уровень цифровой зрелости производственных процессов предприятий Группы ОСК имеет значительный разброс. Все определения цифровизации производственных процессов верфи, по мнению авторов, базируются на трех основных подходах:

– *технологический подход*, который заключается в выборе динамического пула технологий, способствующих ускоренной цифровизации процессов производственной системы предприятия.

Методология представления производственных процессов осуществляется на базе информационного ядра программно-аппаратной платформы конструкторско-технологической подготовки производства, которая выполняется на базе ПО в со-

ОБ ЭТАПАХ РАЗВИТИЯ ЦИФРОВИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ И БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ СУДОСТРОИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА ПРЕДПРИЯТИЙ ГРУППЫ ОСК В РАМКАХ ТРЕБОВАНИЙ НТД

*А. Е. Богданов, д-р техн. наук, гл. специалист ООО «ОСК. Цифра»,
П. В. Никитин, аспирант кафедры технологии судостроения СПбГМТУ,
контакт. тел. +7 (926) 883 3177, fine29@yandex.ru*

ставе ОКР «Тяжелый САПР» для предприятий пилотной зоны. Она должна быть основана на требованиях к уровням готовности технологий для их применения (ГОСТ Р 58040–2017);

– *процессный подход*, в рамках которого промышленное предприятие рассматривается как совокупность цепочек создания ценности от разработки продукции до ее реализации и сервисного обслуживания на базе интеграции производственных процессов и бизнес-процессов верфи (см. требования ГОСТ Р 62264–4) с унифицированной структурой управления верфи, согласно требованиям ГОСТ Р ИСО\МЭК 15704–2022. При этом любая деятельность на предприятии рассматривается через призму формирования добавочной стоимости, операционной эффективности, а цифровизация позволяет купировать на предприятии деятельность, не приносящую добавленную стоимость;

– *корпоративный (отраслевой) подход*, который предполагает необходимость изучения тесной взаимосвязи различных уровней управления в составе интегрированной (бесшовной) информационной системы корпоративного взаимодействия «ЦКБ-проектант–завод-строитель–техническая служба обеспечения заказчика–борт объекта морской техники», а также взаимодействия организационных структур на предприятии с учетом отраслевой специфики выполнения контрактных обязательств перед заказчиком.

На рис. 1 и в таблице сопоставлены производственная система управления и система корпоративного управления, а также обозначены этапы развития цифровизации судостро-

ительного комплекса по производственным процессам и бизнес-процессам с учетом требований НТД РФ.

Цифровизацию промышленных предприятий отражает главным образом цифровизация конструкторско-технологической подготовки производства и собственного процесса производства инновационных продуктов. Существует потребность детализации видения цифрового изменения методов управления и организации процессов промышленного предприятия. Современные информационные технологии базируются на использовании технических средств, обеспечивающих реальную возможность создания интегрированных автоматизированных систем управления предприятием нового поколения. Эти средства включают [1]:

- распределенные цифровые микропроцессорные системы динамического управления первого уровня (интернет-вещей);
- стандартные языки программирования систем реального времени (4GL) и конфигурируемые системы программирования;
- стандартные высокоскоростные телекоммуникационные системы;
- высокоэффективные механизмы защиты информации;
- разработки в области систем управления большими данными.

Особые компетенции, из которых может зародиться конкурентное преимущество, связывают не столько с ресурсами (человеческими, технологическими, финансовыми и т. д.), сколько со знаниями, нацеленными на создание добавочной стоимости на верфи при выпуске готовой продукции. На первое место выходят возможности использования в определенном конкурентном контексте внутренних ресурсов компетенции персонала верфи для достижения

Сопоставление этапов развития цифровизации судостроительного комплекса по производственным процессам и бизнес-процессам в рамках требований НТД РФ

№ пп.	Описание уровней цифровой зрелости в группе II промышленных предприятий	Подход технологический	Подход процессный	Подход корпоративный
1.	Компьютеризация процессов Полное отсутствие цифровизации (хаотичный)	Маркетинговые исследования. Материалы ТТЗ на выполнение процессов цифровизации предметной области. Аванпроект/техническое предложение Уровень зрелости применяемых технологий: УГТ 1 – УГТ 3, УГП 1 – УГП 3	Производственный процесс и (или) бизнес-процесс существует	Уровень 0. Неполный процесс Процесс не реализован или реализуется частично, не достигая своего назначения
2.	Лоскутная автоматизация Цифровизация не формализована и не определена. Практическое применение и отражение на результате бизнес-показателей отсутствуют. Процесс цифровизации слабо контролируемый, непредсказуемый и носит реактивный подход управления им (действия по мере необходимости)	Проектирование процессов цифровизации системы управления, расчет финансовых показателей, выбор поставщиков, исполнителей ПО, выбор технологии реализации. Технический проект, КД на систему. Уровень зрелости применяемых технологий: УГТ 4 – УГТ 6, УГП 4 – УГП 6	Формирование в рамках корпоративной НТД детального производственного процесса и (или) бизнес-процесса, а также другой деятельности (основное и вспомогательное производство) по горизонтам планирования с помощью вычислительной и оргтехники	Уровень 1. Осуществленный процесс Процесс управления полностью сформирован, реализован в соответствии с назначением частично или полностью в производственной среде на базе НТД РФ
3.	Базовая автоматизация Мероприятия по цифровизации проводятся с непостоянной периодичностью посредством реализации проектов по автоматизации отдельных процессов. Применение информационных технологий для поддержания существующих бизнес-процессов не вносит изменения цифрового представления	Испытание макетов и образцов системы согласно рабочей и технической документации в режиме цифрового представления предметной области частично или полностью завершено. Уровень зрелости применяемых технологий: УГТ 5 – УГТ 6, УГП 5 – УГП 6	Осуществляется детальный производственный процесс и (или) бизнес-процесс производства (Основной, вспомогательный процессы для каждого объекта/территории по времени – среднесрочный)	Уровень 2. Управляемый процесс Описанный выше процесс на данном уровне выполняется управляемым образом (планируется, регулируется и проводится его мониторинг), в автоматизированном режиме
	Цифровизация на соответствие требованиями НТД (стратегический). Мероприятия систематические, но не полностью формализованные	Завершены сертификационные работы и испытание автоматизированной системы, предназначенной для серийного применения в цифровой среде судостроительного комплекса. Уровень зрелости применяемых технологий: УГТ 7 – УГТ 7, УГП 7 – УГП 8	Унифицированный производственный процесс и (или) бизнес-процесс производства осуществляется по каждому судовому заказу верфи во времени (среднесрочный) с достижением предусмотренных результатов	Уровень 3. Установленный процесс Описанный выше управляемый процесс на данном уровне осуществляется с использованием определенного способа, который позволяет достичь выходов (исполнение, требований контракта, заказчика, сформирована прибавочная стоимость)
	Оптимизация на базе цифровизации процессов (движимый данными) Стратегия цифровизации формализована Мероприятия хорошо управляемы, документально прописаны определенные процессы	Завершены подготовка и освоение процессов в производственных условиях автоматизированной системы управления после ее цифровизации. Уровень зрелости применяемых технологий в составе системы управления: УГТ 5 – УГТ 8, УГП 7 – УГП 9	Бизнес-план верфи по производственной программе сформирован по времени на длительную перспективу в архитектуре оцифрованных бизнес-процессов.	Уровень 4. Предсказуемый процесс Описанные выше установленные бизнес-процессы верфи на данном уровне осуществляются в определенных пределах для достижения выходов. Достигнут предусмотренный уровень операционной эффективности
	Системная цифровизация Мероприятия по цифровизации процессов управления постоянно улучшаются. Создается дата-ориентированная система управления данными, все решения проводятся на основе данных, а не на интуиции или личном опыте руководителей	Осуществляется трансфер технологий в составе компонентов системы управления на другие промышленные предприятия судостроительной отрасли. Уровень зрелости применяемых технологий в составе системы управления: УГТ 8 – УГТ 9, УГП 9 – УГП 10	Сформирован бизнес-план (финансово-хозяйственный план для генерации и удовлетворения запроса заказчиков) на каждое судостроительное предприятие по времени на длительную перспективу	Уровень 5. Оптимизирующий процесс Описанный выше предсказуемый бизнес-процесс на данном уровне непрерывно улучшается для достижения соответствующих текущих и планируемых бизнес-целей производственного комплекса и корпорации АО «ОСК» в целом
	Ссылка на НТД РФ	В рамках требований ГОСТ Р 58048–2017	В рамках требований ГОСТ Р 62264–3,–4–2012	В рамках требований ГОСТ Р ИСО/МЭК 15504–2

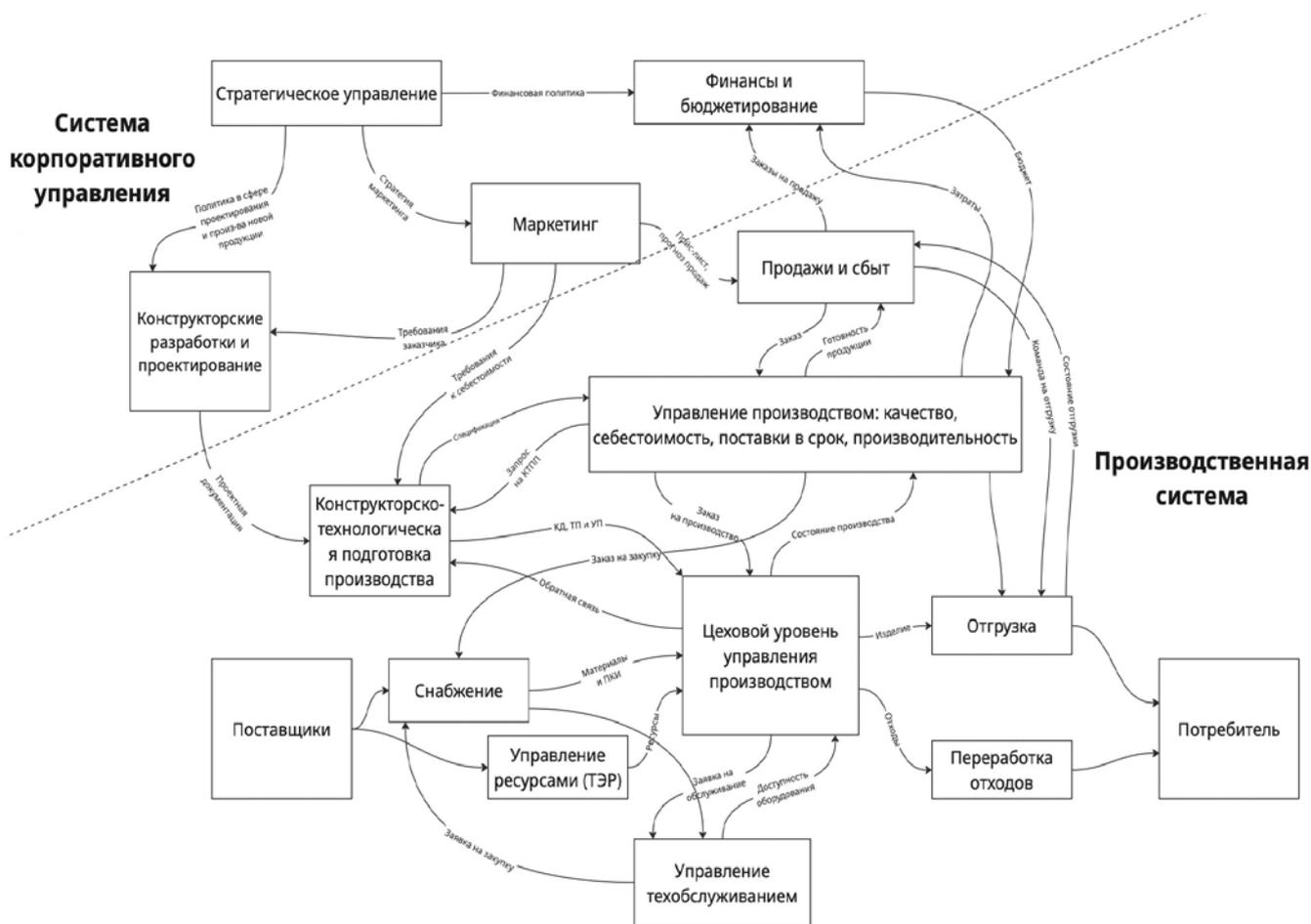


Рис. 1. Укрупненная эталонная модель промышленного предприятия [1]

конкурентного преимущества на определенном сегменте производства морской техники военного и гражданского назначения.

Руководством АО «ОСК» утверждена в 2021 г. стратегия цифровой трансформации АО «ОСК» до 2030 г. [3], которая должна быть уточнена в 2026 г. Требуется, используя представленную методологию этапной цифровизации производственных и бизнес-процессов разработать концепцию их цифровизации для предприятий Группы ОСК до 2036 г., на базе которой следует осуществить цифровую трансформацию судостроительного комплекса в рамках действующих требований НТД РФ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Новые информационные технологии имеют значительный потенциал для снижения издержек производства. Использование информационных технологий основано на цифровизации производственных процессов и бизнес-процессов судостроительного комплекса.

2. Предложены этапы развития цифровизации судостроительного комплекса, основанные на требованиях НТД РФ, на основе технологического, процессного и корпоративного подходов в рамках требований НТД РФ.

3. Предлагается использовать предложенную методологию оцен-

ки уровней цифровизации судостроительного производства при разработке Стратегии цифровизации АО «ОСК» до 2036 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Балахонова И. В. Оценка цифровой зрелости как первый шаг цифровой трансформации процессов промышленного предприятия: монография. – Пенза: Изд-во ПГУ, 2021. – 276 с.
2. Богданов А. Е., Будниченко М. А. Индустриальные модели создания и технического обслуживания морской техники. – СПб.: ФГУП «Крыловский государственный научный центр». 2020. – 639 с.
3. Стратегия цифровой трансформации АО «Объединенная судостроительная корпорация» до 2030 года. ■

Роторно-лопастные неполноповоротные гидромоторы широко применяются в качестве приводов рулевых машин (РМ) и успокоителей качки (УК) в зарубежном судостроении. Однако до последних десятилетий в отечественном судостроении они не были широко представлены в связи с отсутствием технологической базы для их производства, а также необходимости в приводах такого типа в связи с закрытием потребности в приводах для судов классической конструкции за счет альтернативных вариантов приводов, состоящих из пары цилиндров (поршневых), оптимальных для обеспече-

ния малых крутящих моментов на баллере рулей до 160 кН·м, либо плунжерных приводов для крутящих моментов свыше 160 кН·м. В последние годы получила широкое распространение постройка судов по «адаптированным» европейским проектам. Данные проекты отличаются уменьшенными размерами румпельных помещений, а также уменьшенным расстоянием между линией ахтерштевня и фундаментом рулевого привода. Кроме того, в этих проектах предусматривалось применение руля Беккера с соответственно увеличенной характеристикой угла перекладки руля до 45°, а в некоторых проектах – до 65°. При этом имеющиеся кинематические ограничения по углу перекладки в поршневых и плунжерных приводах, а также сравнительно большие габаритные размеры не позволяют их применять в проектах судов, создаваемых под «евростандарт».

Подобная картина наблюдается в последних трендах проектирования успокоителей качки. Прослеживается стремление увеличить угол перекладки пера успокоителя со стандартных 30° до 65°, что, в свою очередь, позволяет повысить эффективность при его работе на малых скоростях, а при определенных конструктивных решениях и обеспечить их работоспособность при полном отсутствии хода. Классическая для успокоителей качки (УК) шарнирно-рычажная схема с поршневым или плунжерным приводом, вынесенным на верхнюю плоскость ниши и располагаемым параллельно оси заваливания, не может обеспечить углы перекладки больше, чем 45°, а также требует использования крайне сложного в изготовлении и выполняемого исключительно литьем корпуса подшипника баллера со смещенными осями заваливания и перекладки, а также специальными уплотняемыми окнами для сборки и обслуживания в забортной части. Применение роторно-лопастного привода в заваливающихся УК, при его установке соосно с баллером, позволяет одновременно и упростить металлоконструкцию подшипника баллера, который конструктивно обретает вид симметричной крестовины, и обеспечить увеличение угла перекладки до требуемых 65° (рис. 4).

Роторно-лопастные приводы рулевых машин и УК имеют схожую конструкцию, изображенную на рис. 1–3, при этом привод УК имеет большую вариативность способов соединения ротора силового привода с баллером, а также методов крепления привода к судовым фундаментам.

Отличительной чертой привода УК является его относительная внутренняя разгруженность от приходящих на перо внешних осевых и радиальных усилий и общие меньшие значения абсолютных усилий, возникающих в конструкции (по сравнению с рулевыми машинами, имеющими аналогичный крутящий момент). Это позволяет применять упрощенную подшипниковую схему в приводе, либо с совмещенным радиально-осевым подшипником скольжения (рис. 2), либо вообще без осевых (опорных) подшипников (рис. 3).

Это обеспечивается за счет комплекса конструктивных мер, которые применяются в УК, таких как использование схемы «баллер в баллере», где внешний вал воспринимает изгибные нагрузки от пера, а внутренний передает чистый

РОТОРНО-ЛОПАСТНЫЕ ПРИВОДЫ РУЛЕВЫХ МАШИН И УСПОКОИТЕЛЕЙ КАЧКИ. КРИТЕРИИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ

В.Ю. Ситников, начальник сектора – зам. гл. конструктора,
Ю.А. Лебедев, зам. гл. инженера – гл. конструктор,
ЗАО «ЦНИИ СМ»,
контакт. тел. (812) 640 1051

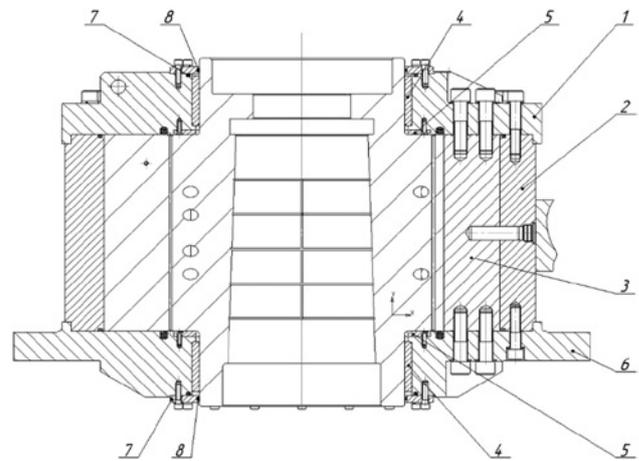


Рис. 1. Роторно-лопастной привод рулевой машины
1 – крышка статора; 2 – корпус статора; 3 – упор статора; 4 – радиальный подшипник; 5 – опорный подшипник; 6 – основание; 7 – фланец; 8 – грязесъемник

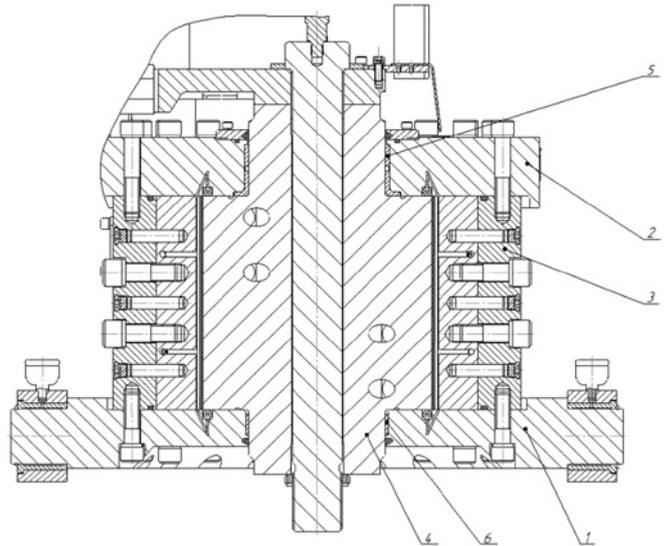


Рис. 2. Роторно-лопастной привод успокоителя качки
1 – основание статора; 2 – крышка статора; 3 – корпус статора; 4 – ротор; 5 – радиально-опорный подшипник; 6 – радиальный подшипник

крутящий момент, и выполнение фундамента привода с шарнирно-кулачковой развязкой (рис. 2).

Еще одной особенностью привода УК являются высокие угловые скорости – до 35 град./с, при том, что максимальная угловая скорость при перекладке у рулевой машины составляет от 2 до 5 град./с. То есть характеристика расхода насосного агрегата УК выше в 17,5 раз, поэтому наличие любых утечек между рабочими камерами в приводе серьезно влияет на общую энергоэффективность силовой установки.

Высокие угловые скорости также накладывают дополнительные ограничения на применяемые подшипники скольже-

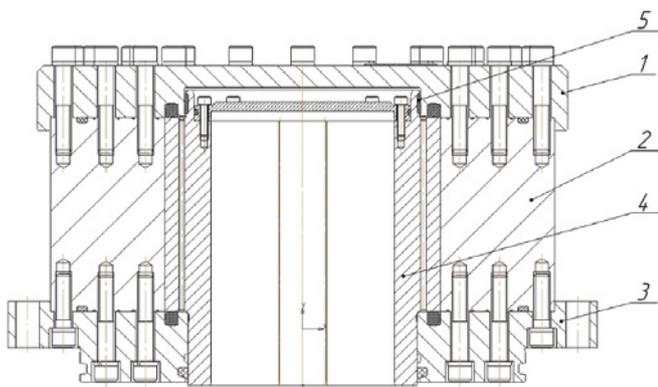


Рис. 3. Роторно-лопастной привод успокоителя качки
1 – крышка статора; 2 – корпус статора; 3 – основание статора; 4 – ротор; 5 – радиальный подшипник

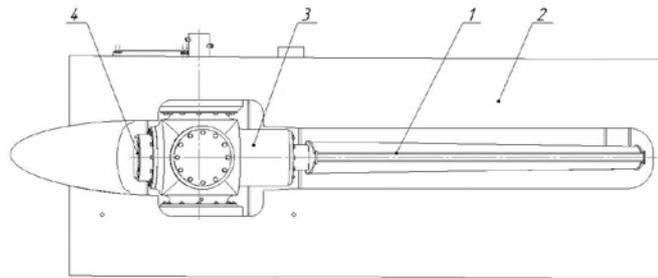


Рис. 4. Успокоитель качки с заваливающимися рулями разработки ЗАО «ЦНИИ СМ»
1 – перо; 2 – ниша успокоителя; 3 – подшипник баллера; 4 – роторно-лопастной привод

ния в связи с возросшими удельными нагрузками. По сравнению с рулевой машиной с аналогичным крутящим моментом подшипники в УК имеют увеличенные габариты и, соответственно, увеличенную контактную площадь, в связи с чем в отличие от роторных приводов рулевых машин целесообразно их устанавливать не в самом приводе, а выполнять отдельным узлом, таким, как подшипник баллера УК с заваливающимися рулями (рис. 4), или в опоре привода, где внешний вал (баллер изгиба) передает изгибные нагрузки от пера на опору, а внутренний (баллер поворота) – чистый крутящий момент на привод (схема «баллер в баллере»).

В остальном приводы рулевых машин и УК имеют схожую конструкцию, поэтому в дальнейшем будем рассматривать в основном силовой привод рулевой машины.

Одной из важных задач при проектировании роторно-лопастного силового привода рулевой машины или УК является определение оптимальных параметров привода, как массогабаритных, так и энергетических, на основе исходных технических требований, предъявляемых к рулевой машине.

Габариты роторно-лопастного привода определяются следующими исходными требованиями в зависимости от типа судна:

- требуемым крутящим моментом на баллере рулевого устройства;
- диаметром головки баллера, от которого зависит минимальный внешний диаметр ротора;
- типом соединения ротора с баллером руля (гидропрессовый, конусный, цилиндрический со шпонками и пр.).

Дополнительно могут накладываться требования к габаритным ограничениям помещения, например, по высоте или по присоединительным размерам привода.

Одним из наиболее эффективных конструктивных решений с точки зрения массогабаритной характеристики привода является применение трех или четырех пар рабочих камер в конструкции привода (применяя ротор с тремя или четырьмя лопатками), что позволяет при схожем габарите (относительно привода с двумя камерами) развивать на 30–50% больший крутящий момент. При этом необходимая мощность насос-

ной станции рулевой машины увеличивается на 40–60% не только из-за увеличенного расхода, но и за счет возникающих повышенных (на 30–40%) утечек между камерами силового привода вследствие увеличения количества камер и уменьшения толщины лопаток ротора и упоров корпуса. Последние не позволяют установить более одного уплотнения в ротор и упор, а также выполнить качественное обжатие крышки и основания привода из-за отсутствия возможности размещения достаточного количества крепежа. Однако приводы такого типа конструктивно не могут выполнять перекачку на угол более 45°, что ограничивает их применение в качестве приводов УК (с углами перекачки более 60°) и в качестве приводов рулевых машин на кораблях с требуемыми углами перекачки 65° и 70°. При этом применение приводов с тремя и четырьмя парами рабочих камер имеет следующие особенности:

- увеличенные нагрузки на крышку, основание и корпус привода за счет увеличившихся площадей, воспринимающих давление рабочей жидкости;
- из-за сужения корпусных упоров выполнять их можно лишь несъемными, изготовленными заодно с корпусом либо литьем, либо посредством механической обработки совместно с корпусом, что значительно увеличивает трудоемкость и стоимость изготовления, а также накладывает повышенные требования к точности изготовления деталей;
- усложняется изготовление из-за увеличения количества плоскостей, требующих взаимного согласования;
- усложняется, а в некоторых случаях становится невозможным выполнение внутреннего сверления в роторе для обеспечения связи совместно работающих гидравлических камер привода;
- усложняется, а в некоторых случаях становится невозможной установка внутренних клапанов системы гидравлического поджима уплотнений;
- большая чувствительность к перекосам ротора относительно статора из-за появления дополнительных возможных точек опоры.

Поэтому с целью общей унификации разрабатываемых роторно-лопастных приводов наиболее рационально применять приводы с двумя парами рабочих камер (две лопатки у ротора) (рис. 5).

Роторный привод в общем состоит из двух основных частей – подвижного ротора, соединенного с баллером, и неподвижного статора, устанавливаемого на судовой фундамент (рис. 1). На примере роторной рулевой машины РРМ-630 масса составных частей привода распределена следующим образом: масса статора составляет 60% общей массы, а масса ротора – около 30%.

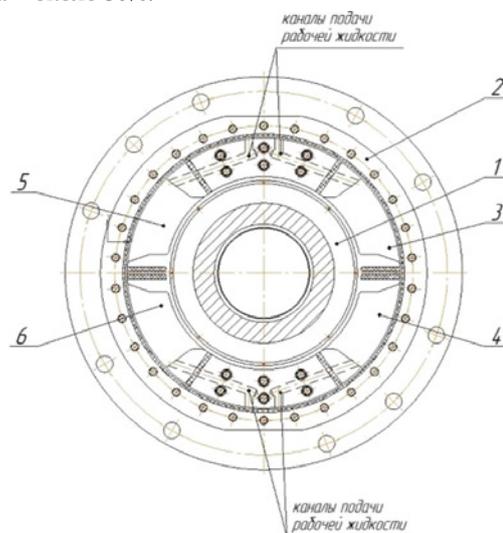


Рис. 5. Роторно-лопастной привод с двумя парами рабочих камер (в разрезе по горизонтальной плоскости)
1 – ротор, 2 – статор, 3–6 – рабочие камеры привода

Конструктивное исполнение привода первоначально определяется конструкцией ротора, которая, в свою очередь, определяется совокупностью следующих параметров:

а) минимальным диаметром ступицы, определяемым в соответствии с действующими стандартами и требованиями Российского морского регистра судоходства;

б) необходимой площадью опорного подшипника, воспринимающего осевые нагрузки в рулевом устройстве (его внешним диаметром), который напрямую определяет внутренний диаметр рабочей камеры привода;

в) внешним диаметром рабочих камер привода;

г) высотой рабочих камер привода;

д) необходимой контактной длиной соединения ротор–баллер.

После разработки конструктивного исполнения ротора можно определить необходимые параметры статора, такие как высота корпуса, его толщина, тип закрепления статора на судовом фундаменте и др.

При проектировании конструктивного исполнения ротора необходимо учесть, что параметры «а» и «д» жестко привязаны к рулевому устройству корабля и численно составляют, как правило, 1,4–1,8 диаметра головы баллера – для диаметра ступицы и 1,5–2 диаметра головы баллера – для контактной длины соединения ротор–баллер (в случае гидропрессовой посадки).

Поэтому оптимизировать конструкцию привода можно путем выбора способа размещения опорного подшипника, а затем определения оптимальных параметров рабочей камеры путем подбора высоты и внешнего диаметра.

Существуют следующие варианты размещения опорных подшипников:

а) встроенные в крышку и основание статора (PM Rolls-Royce (Frodenbo), Van der Velden, а также некоторые отечественные PM): опирание происходит поверхностями лопаток ротора, восприятие нагрузок – двухстороннее (рис. 1);

б) вынесенные на отдельный фланец, крепящийся к основанию статора привода (PM Blohm and Voss, а также некоторые отечественные PM): опирание происходит торцевой частью ротора, восприятие нагрузок – одностороннее (рис. 6);

в) вынесенные на крышку статора (PM SKF): опирание происходит отдельным фланцем, закрепленным на верхней торцевой площадке ротора (рис. 7).

При этом в мировой практике на данный момент реализуются следующие концепции геометрического построения роторного привода:

- *первая* – выполнять привод максимально низким и широким с отношением диаметра корпуса к высоте по крышкам от 1:0,35 до 1:0,45. Таким путем идет фирма Blohm and Voss (концерн SKF);

- *вторая* – выполнять привод с соотношением от 1:0,65 до 1:0,8. Таким путем идут Hatlара, Van der Velden и Rolls-Royce.

Каждая из этих концепций имеет свои преимущества и недостатки, но при ограниченности технологических средств на отечественных производствах наиболее оптимальным будет выбор второго варианта концепции, как наименее требовательного к производственному оборудованию.

Наиболее эффективными вариантами размещения подшипников с точки зрения снижения массогабаритных показателей рулевой машины, являются варианты с вынесенным подшипником (варианты «б» и «в»), при этом оба этих варианта имеют следующие недостатки, а именно:

- необходимость высокой точности изготовления совместно обрабатываемых сопрягаемых деталей (фланца с подшипником, самого подшипника и основания (или крышки) статора);
- необходимость дополнительного силового крепежа фланца;
- необходимость дополнительных уплотнительных элементов во фланцах;

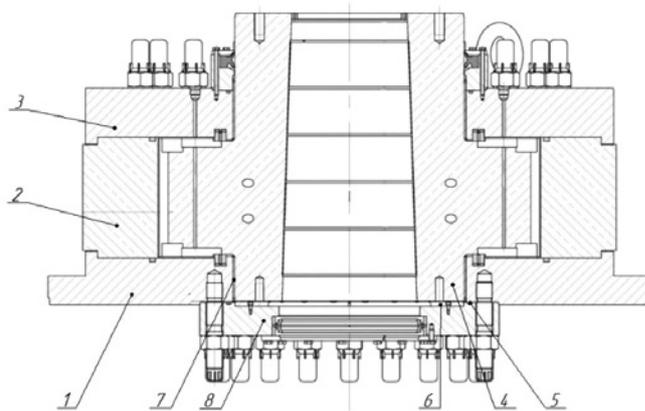


Рис. 6. Размещение опорного подшипника на нижнем фланце

1 – основание статора; 2 – корпус статора; 3 – крышка статора; 4 – ротор; 5 – уплотнительное кольцо; 6 – опорный подшипник; 7 – радиальный подшипник; 8 – фланец

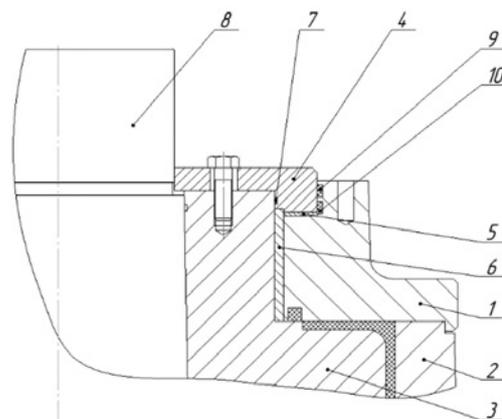


Рис. 7. Размещение опорного подшипника на крышке статора

1 – крышка статора; 2 – корпус статора; 3 – ротор; 4 – фланец; 5 – опорный подшипник; 6 – радиальный подшипник; 7 – уплотнительное кольцо; 8 – баллер; 9 – грязесъемник; 10 – уплотнение

– уменьшенное плечо приложения усилия, создающего крутящий момент на баллере, что обуславливает выполнение рабочих камер с большей площадью сечения.

Одним из преимуществ размещения подшипника на выносных элементах статора является возможность их замены при необходимости в условиях корабля, однако данное преимущество нивелируется общей низкой ремонтопригодностью роторных силовых приводов, как пример – невозможность замены уплотнений без снятия привода с баллера рулевого устройства и его полной разборки.

Исходя из этого, наиболее оптимальным вариантом является размещение опорных подшипников в крышке и основании статора, что обеспечивает простоту их совместной обработки (с крышкой и основанием), позволяет приводу воспринимать направленные вверх осевые нагрузки, в том числе и ударные, при перекладке руля. При этом обеспечивается оптимальное плечо приложения нагрузки, следовательно, и оптимальные параметры рабочих камер.

С точки зрения массогабаритных показателей привода в целом, размещение подшипника на крышке статора по варианту «в» позволяет получить преимущество по массе и габаритам около 12–15%, а на вынесенном фланце в основании статора по варианту «б» – около 8–10% по сравнению с вариантом со встраиваемыми подшипниками.

Высота рабочих камер привода определяется высотой лопаток ротора, которая в общем случае составляет от 0,55 до 0,62 габаритной высоты ротора.

Основная рабочая характеристика роторно-лопастного привода – развиваемый им крутящий момент M_n , кН·м, определяемый по формуле

$$M_n = k \cdot \Delta P_n \cdot \eta_n, \quad (1)$$

где k – геометрический коэффициент привода, см³; ΔP_n – перепад давления между рабочими камерами привода (на лопатке ротора), МПа; η_n – механический КПД привода.

Основная геометрическая характеристика роторно-лопастного привода – его геометрический коэффициент k , являющийся произведением геометрических размеров рабочей камеры, которые определяются геометрией лопаток ротора, на плечо приложения нагрузки (среднюю точку лопатки ротора) и на количество пар лопаток ротора, который определяется по формуле

$$k = (D-d) \cdot h \cdot \left(\frac{d}{2} + \frac{D-d}{4} \right), \quad (2)$$

где D – внутренний диаметр корпуса, см; d – внешний диаметр ротора (внутренний диаметр камеры), см; h – высота лопатки силового привода, см.

Зарубежный и отечественный опыт проектирования роторных рулевых машин говорит о том, что эффективное рабочее давление в гидросистеме с роторным приводом составляет от 8 до 10 МПа, причем можно достичь сбалансированных массогабаритных и энергетических характеристик, что подтверждается расчетами и последующими испытаниями опытных образцов изделий. При этом перепад давления ΔP_n составит от 7 до 9 МПа.

Внутренний диаметр камеры d определяется конструктивно суммой размеров опорного подшипника, необходимых дренажных канавок и выбранного кольцевого уплотнения. Размеры опорного подшипника определяются, исходя из допускаемых удельных давлений материала опорного подшипника, зависящих от величины массы рулевого устройства (с учетом возникающих предельных осевых нагрузок).

Внешний диаметр камеры D можно определить обратным вычислением, так как уже известны перепад давления, высота лопатки и требуемый крутящий момент.

Учитывая вышесказанное, можно с приблизительной точностью определить геометрические параметры ротора роторно-лопастного привода.

При проектировании статора привода необходимо учесть особенность роторно-лопастного привода – наличие упругих деформаций (перемещений) в крышке, корпусе и основании статора при его работе, которые могут достигать абсолютных значений 0,2–0,4 мм при сохранении требований к прочности (в том числе усталостной). При таких значениях перемещений уплотнения герметизирующие рабочие камеры статора перестают эффективно уплотнять зазор между рабочими поверхностями ротора и статора, создавая зоны повышенных утечек между камерами, тем самым увеличивая показатель необходимой подачи (расхода) рабочей жидкости и, соответственно, мощности насосной станции, что снижает реальный КПД энергоустановки рулевой машины. Перемещения в крышке и основании статора влияют на работу опорных и радиальных подшипников, меняя геометрические характеристики прилегания ответных поверхностей ротора привода, вызывая локальный повышенный износ и повреждения (задиры и т.п.), а в худшем случае привода к закусыванию подшипника (особенно это касается радиальных подшипников), заеданию при перекладке и полному разрушению подшипника.

Упругие деформации и соответствующие им перемещения в корпусе статора силового привода («раздувание») происходят в напорных камерах в зоне условной «средней части» корпуса (рис. 8 и рис. 9). При этом уплотнения, установленные в роторе силового привода, из-за своей жесткости не могут эффективно уплотнить образовавшийся зазор, что и приводит к образованию утечек между напорной и сливной камерами привода.

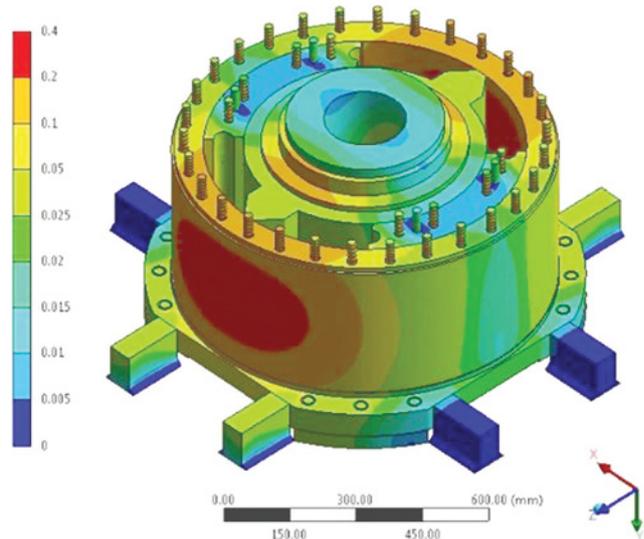


Рис. 8. Перемещения в конструкции роторно-лопастного привода

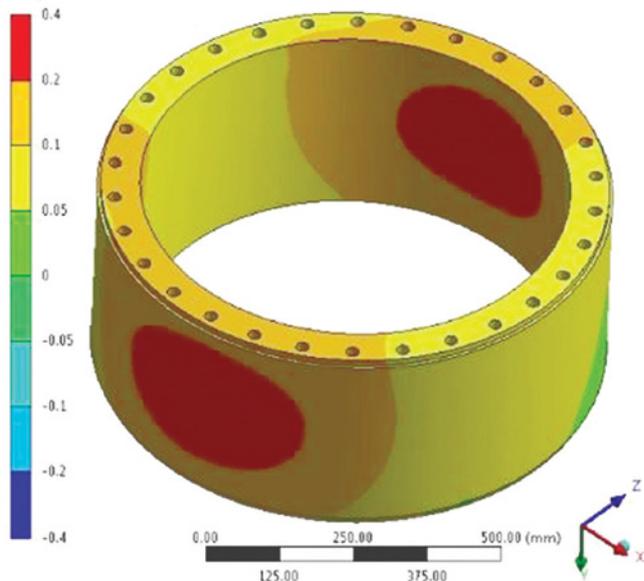


Рис. 9. Перемещения в корпусе статора роторно-лопастного привода

Перемещения в корпусе зависят:

- от рабочего давления в приводе рулевой машины;
- от толщины стенки корпуса;
- от способа выполнения упоров в корпусе.

Роторный привод имеет прямую зависимость собственных габаритов от рабочего давления в системе: чем выше рабочее давление, тем более компактен привод. Однако в этом случае имеются конструктивные ограничения по рабочему давлению – при его высоких значениях (свыше 16 МПа) воспринимаемый рулевой машиной крутящий момент создает в конструкции привода РМ напряжения, которые значительно превышают возможности имеющихся материалов (около 500 МПа при коэффициенте запаса 1,0), при этом возникающие перемещения в элементах конструкции статора являются максимальными. Поэтому, как было определено ранее, за максимальное рабочее давление в системе стоит принять значение 10 МПа.

Единственным эффективным способом уменьшения перемещений в корпусе является наращивание его толщины (рис. 10), при этом необходимо учитывать, что масса корпуса составляет около 30 % общей массы привода (например, для роторной машины РРМ-160 масса корпуса с упорами составляет 1200 кг при общей массе привода 3250 кг).

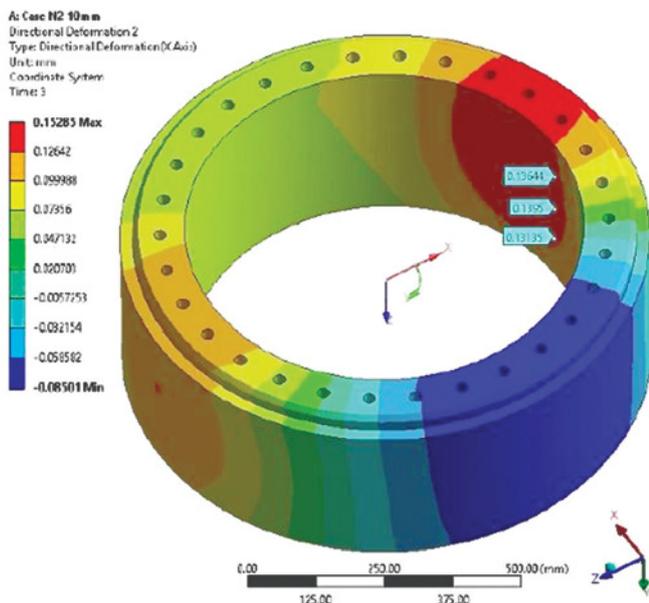


Рис. 10. Изменение значений перемещений в корпусе статора роторно-лопастного привода при увеличении его толщины

Нарращивание толщины стенки корпуса нелинейно влияет на перемещения в корпусе, поэтому при проектировании необходимо установить целевое значение допустимых перемещений, которое зависит от следующего:

- номинального и максимального зазора в соединении деталей, образующих рабочую гидравлическую камеру (ротор/корпус/крышка или основание), который допускает при эксплуатации уплотнение каждой конкретной конструкции и материала;
- параметра зазора, гарантирующего отсутствие касаний лопаток ротора о статор при его максимальной деформации и при предельно допустимом перекосе ротора в статоре по допускам подшипников;
- целевого КПД энергоустановки рулевой машины.

Целевые показатели можно определить следующим образом:

- известный паспортный показатель утечек в приводе рулевой машины зарубежного производства составляет от 10 до 15% от номинального расхода насосной станции, что с учетом собственного КПД насосного агрегата (ориентировочно от 0,9 до 0,92) дает реальный КПД энергоустановки от 75 до 82%. Поэтому реально достижимым целевым показателем КПД энергоустановки можно считать 0,85. Данное значение можно применять в расчетах силового привода при определении необходимого расхода насоса

Зависимость перемещений в корпусе δ от толщины стенки S



Рис. 11. Диаграмма зависимости перемещений в корпусе относительно его толщины

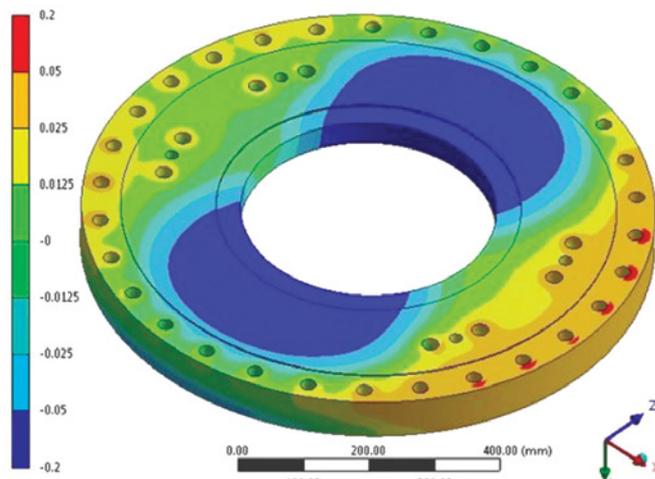


Рис. 12. Перемещения в крышке статора роторно-лопастного привода

и необходимой мощности электродвигателя питающего насосного агрегата;

- реально достижимые значения перемещений в корпусе составляют от 0,07 до 0,12 мм при максимальном рабочем давлении 10 МПа, при этом толщина стенки будет находиться в эффективной зоне в соответствии с диаграммой (рис. 11);
- Рассматривая крышку и основание статора с точки зрения перемещений, необходимо отметить, что и крышка, и основание имеют схожее распределение нагрузок и, следовательно, перемещений, поэтому далее будет рассматриваться только крышка статора роторно-лопастного привода.

Перемещение в крышке статора локализуется в «горловине» крышки со стороны рабочих камер привода (рис. 12).

При этом максимальные перемещения в крышке не должны превышать половину минимального диаметального зазора между радиальным подшипником и ротором во избежание заклинивания последнего в статоре. Численно целевые значения перемещений в крышке должны составлять в общем случае не более 0,035 мм, при этом данное значение может быть увеличено при применении материалов подшипника, допускающих больший зазор (с учетом теплового расширения материалов).

В отличие от корпуса помимо наращивания общей толщины, крышку можно усилить, применив приварные ребра жесткости с утолщением лишь в зоне высоких значений перемещения. Такие конструктивные решения позволяют достичь целевых показателей значения перемещений (рис. 13):

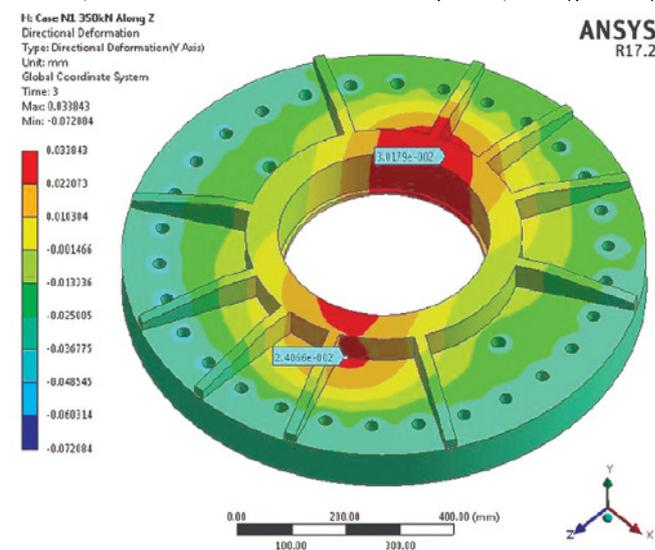


Рис. 13. Перемещения в усиленной крышке статора роторно-лопастного привода

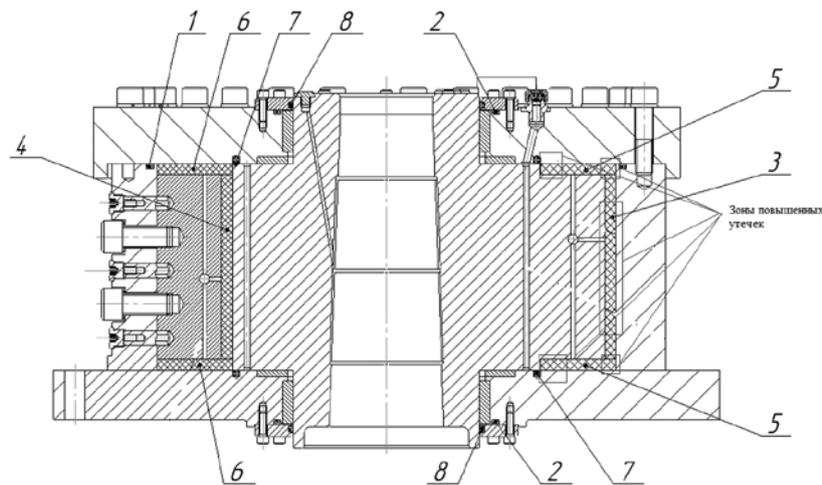


Рис. 14. Общая конфигурация уплотнительных элементов роторно-лопастного привода

1 – уплотнение корпуса, 2 – уплотнение крышки, 3 – радиальное уплотнение лопаток ротора, 4 – радиальное уплотнение упоров, 5 – торцевое уплотнение лопаток ротора, 6 – торцевое уплотнение упоров, 7 – уплотнение статора, 8 – грязеъемник с уплотнением

Рассмотрим влияние перемещений в конструкции статора на утечки между рабочими камерами привода. Общая конфигурация уплотнительных элементов в приводе показана на рис. 14. Перемещения, возникающие в элементах статора под нагрузкой, создают зоны повышенных утечек, так как уплотнения, установленные в лопатках ротора и упорах корпуса статора, из-за своих конструктивных особенностей, а также жесткости применяемых материалов не способны компенсировать зазоры, возникающие из-за упругих деформаций элементов статора. Применение менее жестких материалов, таких как резиновые смеси различных типов и т.д., снижает общий ресурс привода, так как резиновые смеси имеют меньшую износостойкость, а, следовательно, и ресурс. Использование материалов с высокой износостойкостью, имеющих повышенную жесткость, таких как ПЭТ или РОМ-С, наоборот, приводит к увеличению утечек.

В современных зарубежных образцах наиболее распространено применение уплотнительных элементов либо полностью из РОМ-С, либо из полиуретана с вставками повышенной жесткости из ПЭТ, РОМ-С и полиамида. Дополнительно прибегают к поджиму уплотнения упругим элементом (жестким резиновым кольцом) или гидравлическому поджиму рабочим давлением. При этом поджим лишь относительно снижает значение утечек, так как они в большей степени зависят от типа уплотнения, жесткости его материала, качества изготовления контактных поверхностей, наличия перекосов в соединении ротор-статор.

Таким образом, сочетая методы уменьшения перемещений в корпусе статора роторно-лопастного привода с применением материалов, имеющих оптимальное соотношение жесткости и износостойкости, можно добиться оптимальных показателей утечек либо максимально сократить их, в случае необходимости, путем неоправданного повышения массы привода.

С учетом вышеизложенного можно сделать следующий вывод: достижение оптимальных массогабаритных и энергетических показателей роторно-лопастного привода в составе рулевой машины или успокоителя качки возможно лишь при выполнении в процессе проектирования определенных требований по выбору:

- 1) подшипникового узла статора привода;
- 2) рабочего давления в гидросистеме;
- 3) геометрии роторно-лопастного привода;

- 4) толщин крышки, корпуса и основания статора;
- 5) уплотнений, устанавливаемых в лопатки ротора и упоры статора.

Соблюдение этих условий гарантирует эффективность конструкции привода с точки зрения целевых показателей по массе, габаритам и требуемой мощности насосного гидравлического агрегата.

ЛИТЕРАТУРА

1. Российский морской регистр судоходства. Правила классификации и постройки морских судов. – Ч. III: Устройства, оборудование и снабжение; ч. XIII: Материалы. – СПб.: ФАУ «Российский морской регистр судоходства», 2023.
2. Бахта Т.М. Объемные насосы и гидравлические двигатели гидросистем. – М.: Машиностроение, 1974.
3. Марутов В.А., Павловский С.А. Гидроцилиндры. – М.: Машиностроение, 1966.
4. Чернин И. М., Кузьмин А. В., Ицкович Г. М. Расчеты деталей машин. – Минск: Высшая школа, 1974.
5. Лебедев Ю.А., Ситников В.Ю. Проблемы проектирования рулевых машин роторного типа // Морской вестник. – 2017. – №3 (63).
6. Лебедев Ю.А. Анализ особенностей приводов рулевых машин роторного типа // Морской вестник. – 2023. – №3 (87).
7. Биргер И. А., Шорр Б. Ф., Шнейдерович Р. М. Расчет на прочность деталей машин. – М.: Машиностроение, 1966.
8. Беляев Н. М. Соппротивление материалов. – М.: Наука, 1954.
9. ЦАКИ.364344.064 ПЗ Машины рулевые электрогидравлические роторные (лопастные) для судов всех классов и назначений: Пояснительная записка. – СПб.: ДАОЗТ «ЦНИИ СМ», 1996.
10. ЦАКИ.364344.098 ПЗ Создание роторных рулевых машин типа 100, 400, 800: Пояснительная записка. – СПб.: ЗАО «ЦНИИ СМ», 2023.
11. ЦАКИ.364344.098 РР Машина рулевая роторная РРМ-630. Расчеты – СПб.: ЗАО «ЦНИИ СМ», 2024.
12. ОСТ 5Р.2522–93. Рули судовые. Типовые технологические процессы монтажа. Методика расчета параметров насадки деталей. – СПб.: НИИ «Лот», ФГУП «Крыловский государственный научный центр», 1993.
13. Каталог фирмы Van der Velden «Commander steering gear», 2012.
14. Каталог фирмы SKF «Rotary vane steering gear V series», 2015.
15. Каталог фирмы Hydroster (Remontowa) «Rotary vane steering gears MSV series», 2015.
16. Каталог фирмы Rolls-Royce «Steering and stabilization», 2008.
17. Каталог фирмы Hatlapa (Macgregor) «Steering gear Hatlapa Rotary vane TRITON», 2015. ■

Судовые поршневые компрессоры (ПК) демонстрируют высокий процент отказов в реальных эксплуатационных условиях. Возникновение неисправности приводит к длительным простоям и значительным экономическим потерям [1]. Поскольку цилиндропоршневая группа (ЦПГ) и подшипники являются критически важными компонентами, их техническое состояние напрямую определяет эффективность и безопасность работы всей системы [2]. Современная диагностика неисправностей этих узлов основана в основном на анализе нелинейных и нестационарных сигналов вибрации, давления и температуры. Этот процесс обычно включает три последовательных этапа: предварительную обработку сигнала, извлечение признаков и идентификацию типа неисправности. Однако сложные условия эксплуатации на судне (вибрация корпуса, переменная нагрузка, влияние окружающей среды) и изменчивые пути передачи сигналов накладывают существенные ограничения на существующие методы, приводя к таким проблемам, как наложение мод, потеря диагностической информации, неэффективное выделение признаков и недостаточная точность идентификации. Эти вызовы обуславливают необходимость разработки усовершенствованных методов диагностики, обладающих повышенной устойчивостью и точностью.

Данное исследование фокусируется на двух ключевых этапах диагностики: предварительной обработке сигнала и идентификации неисправности. Качественная предобработка позволяет декомпозировать сложные сигналы, сохраняя при этом информативные признаки дефектов, что является фундаментальным условием для достижения высокой общей точности диагностики.

К традиционным методам предварительной обработки сигналов относятся преобразование Фурье (далее *FT* – *Fourier Transform*), вейвлет-преобразование (*WT* – *Wavelet Transform*) и эмпирическая модовая декомпозиция (*EMD* – *Empirical Mode Decomposition* или *или*) [3]. В то время как *FT* не справляется с нестационарными сигналами, метод *WT* имеет проблемы неоднозначности выбора материнского вейвлета, что приводит к неточностям при разложении. Стоит отметить, что, хотя *EMD* получила распространение в промышленности, ее присущие ограничения – отсутствие строгого математического обоснования и выраженное наложение мод – снижают надежность метода [4]. Для решения этих проблем авторы в [5] предложили ансамблевую *EMD* (далее *Ensemble EEMD* – *Empirical Mode*

ДИАГНОСТИКА НЕИСПРАВНОСТЕЙ СУДОВОГО ПОРШНЕВОГО КОМПРЕССОРА НА ОСНОВЕ УЛУЧШЕННОЙ ВАРИАЦИОННОЙ МОДОВОЙ ДЕКОМПОЗИЦИИ И УСТРОЙСТВА С УПРАВЛЯЕМЫМИ РЕКУРРЕНТНЫМИ БЛОКАМИ

Л.Г. Кузнецов, д-р техн. наук, проф., ген. конструктор,

Р.Р. Хотский, зам. начальника 808 ВП МО РФ,

А.В. Бураков, начальник ЦКБ,

АО «Компрессор»,

А.В. Махшинов, д-р техн. наук, проф. ГУМРФ им. адм. С.О. Макарова, контакт. тел. (812) 295 5034, (812) 2955090, + 7 (921) 325 2493

Decomposition), однако ее зависимость от добавления белого шума влечет за собой высокие вычислительные затраты и сложность выбора параметров. Последующие улучшения, такие как комбинированная множественная декомпозиция на эмпирические моды (*CEEMD* – *Complementary Ensemble Empirical Mode Decomposition*) [6] и множественная эмпирическая модовая декомпозиция сигналов с адаптивным шумом (*CEEMDAN* – *Complete Ensemble Empirical Mode Decomposition with Adaptive Noise*) [7], по-прежнему демонстрируют остаточное наложение мод.

В противоположность этому, метод вариационной модовой декомпозиции (*VMD* – *Variational Mode Decomposition*) построен на строгой математической основе, формулируя и решая задачу условной вариационной оптимизации. Он эффективно преодолевает проблему наложения мод и показывает превосходные возможности по декомпозиции нелинейных сигналов [8]. Однако производительность *VMD* критически зависит от двух параметров: штрафного коэффициента λ , контролирующего ширину полосы мод, и количества мод K , определяющего детальность разложения. К современным подходам к оптимизации этих параметров относятся метод роя частиц (*PSO* – *Particle Swarm Optimization*) [9], и генетические алгоритмы (*GA* – *Genetic Algorithms*) [10]. Примечательно, что алгоритм оптимизации «плодовой мушки» (*FOA* – *Fruit fly Optimization Algorithm*) [11] стал конкурентоспособной альтернативой благодаря простоте реализации, быстрой сходимости и высокой точности. Тем не менее классический *FOA* имеет внутренние ограничения в балансировании глобального поиска и локальной оптимизации, главным образом из-за фиксированного размера шага и склонности к преждевременной сходимости [12].

Более того, будучи ограниченным фиксированным шагом и неоптимальной настройкой функции концентрации, традиционные алгоритмы *FOA* часто демонстрируют преждевременную сходимость и дисбаланс между глобальными и локальными поисковыми возможностями [11, 12]. Эти нерешенные проблемы подчеркивают необходимость дальнейших исследований в области адаптивной оптимизации параметров *VMD*.

Этап идентификации неисправностей занимает ключевую позицию в диагностике узлов судового компрессора. Среди традиционных методов классификации подходы машинного обучения часто игнорируют временные зависимости, присущие последовательностям данных вибрации и давления, что снижает способность к извлечению информации и приводит к потере критически важных диагностических признаков. Для преодоления этих ограничений в диагностике стали применяться рекуррентные нейронные сети (*RNN* – *Recurrent Neural Networks*). Например, авторы в [13] разработали алгоритм на основе *RNN* для диагностирования технического состояния авиационных газотурбинных двигателей, а авторы в [14] применили глубокие нейронные сети (*DNN* – *Deep Neural Networks*) для диагностики механизмов с проведением сравнительного анализа с *RNN*. Тем не менее при обработке длинных временных последовательностей стандартные архитектуры *RNN* демонстрируют выраженные проблемы затухающих или взрывающихся градиентов в процессе обратного распространения ошибки, что обусловлено их упрощенной структурой скрытого слоя.

Более современным решением стали сети долговременной памяти с выборочным забыванием (*LSTM* – *Long Short-Term Memory*) [15], призванные смягчить эти проблемы. *LSTM* демонс-

трирует улучшенную способность к обучению нелинейным временным зависимостям, однако ее архитектурная сложность, включающая несколько вентиляльных механизмов, вносит вычислительную избыточность. Это ограничение стимулировало развитие управляемых рекуррентных блоков (*GRU – Gated Recurrent Unit*) [16]. Архитектура *GRU* стратегически объединяет вентили забывания и ввода *LSTM* в единый вентиль обновления, а также интегрирует ячейки памяти со скрытыми состояниями посредством операций вентиля сброса. В результате *GRU* демонстрирует сопоставимую производительность при преимуществах в виде упрощенной топологии, прозрачного взаимодействия параметров и повышенной пригодности для практического применения. Однако практическое использование *GRU* в диагностике судовых ПК остается недостаточно изученным, что требует дополнительной эмпирической валидации и оптимизации под конкретные условия эксплуатации.

Таким образом, стратегии диагностики неисправностей судовых ПК, основанные на анализе вибрации, давления и температуры, продолжают сталкиваться со следующими критическими проблемами:

1. *Проблемы математической устойчивости и наложения мод у традиционных алгоритмов декомпозиции.* Классические алгоритмы, подобные *EMD*, обладают низкой математической устойчивостью и склонны к наложению мод при разложении сигналов. Это приводит к возникновению остаточных помех в декомпозированных компонентах. Даже усовершенствованные методы, такие как *CEEMD* и *CEEMDAN*, не полностью устраняют проблему наложения мод, что негативно влияет на точность выделения признаков и последующей диагностики неисправностей.

2. *Недостатки оптимизации параметров VMD.* При использовании *VMD* существующие методы оптимизации параметров, такие как *PSO*, *GA* и классический *FOA*, страдают от проблем фиксированного шага поиска и склонности к преждевременной сходимости. Это приводит к субоптимальному подбору параметров и, как следствие, снижает точность декомпозиции.

3. *Проблема градиентов и вычислительная сложность в сетях распознавания неисправностей.* Хотя традиционные *RNN* и сети *LSTM* способны эффективно улавливать временные зависимости в сигналах, при обработке длинных временных рядов они сталкиваются с проблемами затухания/взрыва градиентов и высокой вычислительной сложности. Это затрудняет их развертывание в реальных инженерных сис-

темах и ограничивает широкое применение.

В данной работе для решения указанных проблем предлагается стратегия диагностики *e-VMD-GRU*, и делаются следующие основные вклады:

1. Оптимизация параметров *e-VMD* с помощью улучшенного алгоритма оптимизации «плодовой мушки» (*IFOA – Improved Fruit fly Optimization Algorithm*). Для преодоления недостатков существующих методов оптимизации параметров *VMD* вводится *IFOA*. Благодаря механизмам динамической регулировки шага и оптимизации функции концентрации, *IFOA* эффективно повышает скорость и точность подбора параметров *VMD*, улучшает баланс между глобальным и локальным поиском, что делает выбор параметров α и K более точным и стабильным.

2. Механизм двойного отбора собственных модовых функций (*IMF – Intrinsic Mode Functions*). Для решения проблемы избыточности при традиционном отборе *IMF* предлагается стратегия двойного отбора на основе корреляционного коэффициента и многомерной энтропии. Этот метод не только сокращает количество избыточных *IMF*, но и гарантирует, что выбранные компоненты эффективно сохраняют признаки, связанные с неисправностью, что повышает релевантность и разнообразие признаков и, как следствие, точность классификации.

3. Идентификация неисправностей с использованием упрощенной сети *GRU*. Для решения проблем градиентов и вычислительной сложности в сетях *RNN* и *LSTM* в работе применяется сеть на основе *GRU*. Упрощенная архитектура *GRU* значительно снижает сложность и вычислительные затраты сети при сохранении способности к захвату временных признаков. Предлагаемая сеть делает диагностическую стратегию более пригодной для развертывания и эффективной в реальных инженерных приложениях.

УСОВЕРШЕНСТВОВАННАЯ ВАРИАЦИОННАЯ МОДОВАЯ ДЕКОМПОЗИЦИЯ

Основная идея метода *VMD* заключается в формулировке и решении задачи условной вариационной оптимизации, заключается в формулировке и решении задачи условной вариационной оптимизации. Целью является разложение исходного сигнала $s(t)$ на K *IMF* $u_k(t)$ с компактным спектром вокруг соответствующих центральных частот ω_k . Задача формулируется как поиск набора мод, минимизирующих сумму оцененных полос пропускания всех мод при условии точного восстановления исходного сигнала:

$$\min_{\{u_k, \omega_k\}} \sum_{k=1}^K \partial_t \left[\left(\delta(t) + \frac{j}{\pi t} \right) * u_k(t) \right] e^{-j\omega_k t^2} \quad (1)$$

при условии $\sum_{k=1}^K u_k(t) = s(t)$,

где d_t – частная производная по времени; $u_k(t)$ – k -я мода, полученная в результате декомпозиции; ω_k – центральная частота k -й моды; $\delta(t)$ – дельта-функция Дирака; * – обозначает свертку.

Затем данная задача с ограничениями преобразуется в безусловную вариационную задачу путем введения штрафного коэффициента α и множителя Лагранжа λ . Расширенный лагранжиан имеет следующий вид:

$$L = (\{u_k\}, \{\omega_k\}, \alpha) = \alpha \sum_{k=1}^K \partial_t \left[\left(\delta(t) + \frac{j}{\pi t} \right) * u_k(t) \right] e^{-j\omega_k t^2} + \lambda(t) \left(s(t) - \sum_{k=1}^K u_k(t) \right) \quad (2)$$

где α – штрафной коэффициент, контролирующий ширину полосы частот каждой моды и точность восстановления; $\lambda(t)$ – множитель Лагранжа; $\langle \dots \rangle$ – скалярное произведение.

На основе этой теоретической основы и практических аспектов применения, шаги реализации алгоритма *VMD* могут быть кратко описаны следующим образом.

Шаг 1: Загрузить вибрационные (или пьезометрические) сигналы от узлов компрессора для обработки.

Шаг 2: Инициализировать $u_k(\omega)$, ω_k , $\lambda(\omega)$, установить счетчик итераций $n = 0$.

Шаг 3: Начать итерационный цикл: $n = n + 1$.

Шаг 4: Для текущей итерации n обновить три переменные $u_k(\omega)$, ω_k и $\lambda(\omega)$ в спектральной области:

$$u_k^{n+1}(\omega) = \frac{x(\omega) - \sum_{k=1}^K u_k^{n+1}(\omega) + \sum_{k=k+1}^K u_k^n(\omega)}{1 + 2\alpha(\omega - \omega_k^n)^2} \quad (3)$$

$$\omega_k^{n+1} = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} \omega |u_k^{n+1}(\omega)|^2 d\omega}{\int_{-\infty}^{\infty} |u_k^{n+1}(\omega)|^2 d\omega} \quad (4)$$

$$\lambda^{n+1}(\omega) = \lambda^n(\omega) + \tau \left(x(\omega) - \sum_{k=k+1}^K u_k^{n+1}(\omega) \right) \quad (5)$$

Шаг 5: Завершить итерационный цикл при выполнении заданного условия останова (например, достижение заданной точности ϵ):

$$\sum_{k=1}^K \frac{u_k^{n+1}(\omega) - u_k^n(\omega)}{u_k^n(\omega)} < \epsilon \quad (6)$$

или вернуться к Шагу 3, если условие не выполнено.

В приведенных формулах $s(\omega)$ – преобразование Фурье исходного сигнала $s(t)$; $u_k(\omega)$ – преобразование Фурье k -й моды $u_k(t)$; $\lambda(\omega)$ – преобразование Фурье множителя Лагранжа $\lambda(t)$.

Далее для решения задачи оптимизации параметров алгоритма *VMD* пред-

лагается улучшенный алгоритм оптимизации «плодовой мушки» *IFOA*.

В рамках развития метаэвристических методов оптимизации, черпающих вдохновение в живой природе, был предложен алгоритм *FOA* [11]. В популярном изложении *FOA* имитирует стратегию поиска пищи плодовой мушкой (дрозофилой), которая вначале использует острое обоняние для случайной разведки местности, а затем зрение для точного перемещения к найденному лучшему источнику пищи. Эта биологическая метафора легла в основу итеративного процесса поиска глобального оптимума.

Классический алгоритм *FOA* формализуется следующим образом: на этапе инициализации задаются параметры: *Sizepop* (размер популяции мух) и *Maxgen* (максимальное число итераций), а также случайные координаты начального положения роя ($X_{axis}^{(i)}, Y_{axis}^{(i)}$). Затем для каждой особи i в популяции на итерации t выполняется обонятельный поиск, моделируемый случайным смещением от текущего центра роя:

$$\begin{aligned} X_i^{(t)} &= X_{axis} + \text{Random Value}, \\ Y_i^{(t)} &= Y_{axis} + \text{Random Value}, \end{aligned} \quad (7)$$

где *Random Value* – случайная величина, обычно из фиксированного диапазона.

Далее для каждой новой позиции вычисляется расстояние до начала координат и обратная величина, интерпретируемая как начальная оценка концентрации запаха

$$D_i^{(t)} = \sqrt{(X_i^{(t)})^2 + (Y_i^{(t)})^2}; \quad S_i^{(t)} = \frac{1}{D_i^{(t)}}, \quad (8)$$

где $D_i^{(t)}$ – расстояние от текущего положения особи до начала координат (0, 0) в двумерном пространстве поиска; $S_i^{(t)}$ – обратная величина расстояния, интерпретируемая как первичная оценка концентрации запаха. Логика биологической метафоры: чем ближе муха к основному «источнику пищи» (началу координат), тем сильнее запах (S_i стремится к бесконечности при $D_i \rightarrow 0$).

Значение $S_i^{(t)}$ подставляется в целевую функцию (функцию пригодности, *Smell*), которую необходимо максимизировать или минимизировать. После оценки всех особей, осуществляется визуальный поиск: определяется особь с наилучшим значением *Smell* (например, максимальной концентрацией), и вся популяция перемещается в ее позицию

$$\begin{aligned} [bestSmell, bestIndex] &= \max(\text{Smell}); \\ X_{axis} &= X(bestIndex); \\ Y_{axis} &= Y(bestIndex). \end{aligned} \quad (9)$$

Этот цикл повторяется. Ключевые недостатки данной базовой версии заключаются в использовании фиксированного случайного шага (*Random Value*), что плохо балансирует глобальный и ло-

кальный поиск, и в механизме движения всего роя к одной точке, ведущем к быстрой потере разнообразия популяции и высокой вероятности преждевременной сходимости к локальному оптимуму.

Для преодоления этого ограничения в данной работе вводится динамический коэффициент шага β , который преобразует фиксированный шаг в переменный, адаптивно меняющийся в процессе итераций. Обновление переменного шага $L(g)$ на итерации g задается следующим выражением:

$$L(g) = e_0 * \beta(g); \quad \beta(g) = c \left(1 - \frac{g}{G_{max}} \right)^\alpha, \quad (10)$$

где e_0 – начальный (базовый) размер шага; g – номер текущей итерации; G_{max} – максимальное число итераций; c и α – параметры настройки, регулирующие смещение и скорость уменьшения коэффициента β .

После внедрения коэффициента β в *IFOA*, размер шага демонстрирует нелинейную тенденцию к уменьшению по мере роста числа итераций. Это означает, что на начальном этапе поиска используется относительно большой шаг, что позволяет эффективно исследовать глобальное пространство решений. На поздних итерациях шаг уменьшается, обеспечивая точную локализацию и уточнение решения в локальных областях.

ПРОЦЕДУРА ОПТИМИЗАЦИИ ФУНКЦИИ КОНЦЕНТРАЦИИ (SMELL)

Анализ стандартной формулы *FOA* для расчета дистанции и значения концентрации *Smell* выявил две основные проблемы:

проблема 1. Используемая в классическом *FOA* функция определения концентрации демонстрирует значительные колебания значения на начальном этапе поиска. Это увеличивает риск попадания в локальный оптимум. Кроме того, связь между изменением шага L и определяемым значением является обратной функцией, что затрудняет контроль над этим изменением;

проблема 2. определяемое значение концентрации в классическом подходе всегда положительно, что ограничивает полноту анализа пространства поиска.

Для решения этих проблем в *IFOA* оригинальная функция модифицируется путем введения знаковой функции *sgn*:

$$D_i^{(t)} = L(g) \text{sgn}(\text{rand}() - 0,5),$$

где *sgn*(x) – знаковая функция. Она возвращает -1 , если $x < 0$; 0 , если $x = 0$; 1 , если $x > 0$. На практике для сохранения разнообразия популяции условие $x = 0$ встречается крайне редко; *rand*() – функция, возвращающая псевдослучайное вещественное число в диапазоне $[0, 1)$.

Эта модификация, во-первых, гарантирует, что направление изменения

координаты $D_i^{(t)}$ соответствует знаку улучшения целевой функции, а во-вторых, явно вводит возможность движения в отрицательном направлении по координатной оси, что расширяет область поиска и повышает устойчивость алгоритма к застреванию в локальных экстремумах. Таким образом, *IFOA* сохраняет концептуальную простоту исходного *FOA*, но за счет адаптивности и усовершенствованного механизма поиска демонстрирует существенно более высокую эффективность в задачах параметрической оптимизации, таких как настройка ключевых параметров K и α метода *VMD*.

В качестве заключения отметим установку оптимизации для *IFOA*, использованные в работе:

- начальный размер шага $e_0 = 2,0$;
- коэффициент регулировки шага $= 0,95$;
- максимальное число итераций $G_{max} = 200$;
- переходный параметр $c = 0,5$.

В процессе оптимизации размер шага динамически корректируется в соответствии с номером итерации, а в сочетании с оптимизацией на основе знаковой функции это позволяет избежать преждевременной сходимости.

При применении *IFOA* для настройки *e-VMD* диапазоны выбора параметров были установлены следующим образом: $\alpha \in [1000, 5000]$ и $K \in [3, 10]$. Эти диапазоны выбраны на основе баланса между детальностью декомпозиции сигнала и вычислительной сложностью. В результате работы алгоритма *IFOA* были получены оптимальные параметры: $\alpha = 3000$ и $K = 4$ для сигналов давления и температуры, и $K = 5$ для объема цилиндра ПК.

УПРАВЛЯЕМЫЙ РЕКУРРЕНТНЫЙ БЛОК

Блок *GRU* (рис. 1, в) представляет собой усовершенствованную архитектуру, развивающую идеи как классической *RNN* (рис. 1, а), так и сети *LSTM* (рис. 1, б). Основное теоретическое описание приведено ниже. На рис. 1, в детально изображена схема потока информации в *GRU*, где r_i обозначает вентиль сброса (reset gate), а z_i – вентиль обновления (update gate). Математическое описание работы *GRU* представлено далее.

Сначала сформированные наборы из t признаков векторов используются в качестве входной последовательности $x = (x_1, x_2, \dots, x_t)$ для вычисления сигналов двух управляющих вентиляей

$$z_i = \sigma(W^{(z)}x_i + U^{(z)}h_{i-1}), \quad (11)$$

$$r_i = \sigma(W^{(r)}x_i + U^{(r)}h_{i-1}). \quad (12)$$

В формулах (11) и (12) $W^{(z)}$, $U^{(z)}$, $W^{(r)}$, $U^{(r)}$ представляют собой обучаемые ве-

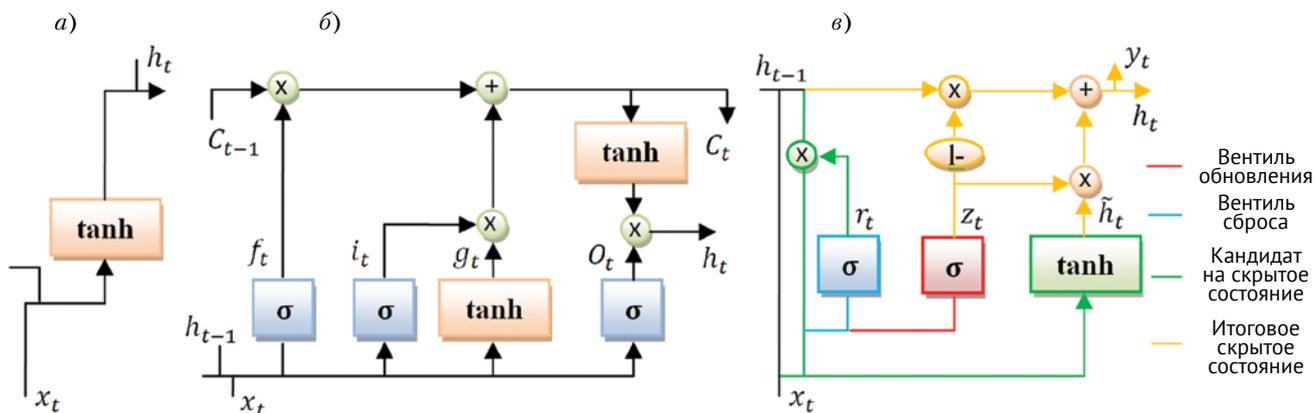


Рис. 1. Структура сетей: а – RNN, б – LSTM, в – GRU

совые матрицы, а σ – сигмоидальную функцию активации, обеспечивающую выход в интервале (0, 1). Таким образом, состояние каждого вентиля определяется информацией предыдущего скрытого состояния h_{t-1} и текущего входного вектора x_t .

Вентиль обновления z_t контролирует, какая доля информации из предыдущего состояния должна быть сохранена. Затем вычисляется кандидат на новое скрытое состояние \tilde{h}_t , в котором вентиль сброса r_t регулирует степень «забывания» предыдущего состояния:

$$\tilde{h}_t = \tanh(Wx_t + U(r_t \odot h_{t-1})), \quad (13)$$

где W, U – весовые матрицы; \tanh – гиперболический тангенс; \odot – обозначает поэлементное умножение (произведение Адамара).

Вентиль сброса позволяет сети эффективно игнорировать нерелевантную для текущего контекста информацию из прошлого.

Окончательно новое скрытое состояние h_t вычисляется как взвешенная сумма предыдущего состояния и кандидата, где весами выступает выход вентиля обновления z_t :

$$h_t = (1 - z_t) \odot h_{t-1} + z_t \odot \tilde{h}_t. \quad (14)$$

Итоговый выход слоя y_t , например, для задачи классификации, может быть получен как

$$y_t = \sigma(W^{(0)}h_t), \quad (15)$$

где $W^{(0)}$ – выходная весовая матрица.

В данной работе структура сети GRU включает два скрытых слоя по 128 нейронов в каждом, в качестве функции активации используется \tanh . Для оптимизации применен алгоритм Adam (Adaptive Moment Estimation – широко используемый метод оптимизации (оптимизатор) для обучения нейронных сетей) со скоростью обучения 0,001. Исходный набор данных был случайным образом разделен на обучающую, валидационную и тестовую выборки в соотношении 0,3:0,4:0,3

Структурная схема реализации методики e-VMD-GRU представлена на рис. 2.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для верификации предложенной методики e-VMD-GRU использовались тестовые сигналы, полученные в ходе монито-

ринга судового поршневого компрессора типа СКА60/200 на испытательном стенде завода изготовителя (рис. 3). В качестве исходных диагностических данных использовались синхронизированные с фазой рабочего цикла сиг-



Рис. 2. Структурная схема реализации e-VMD-GRU



Рис. 3. SKA60/200 на испытательном стенде

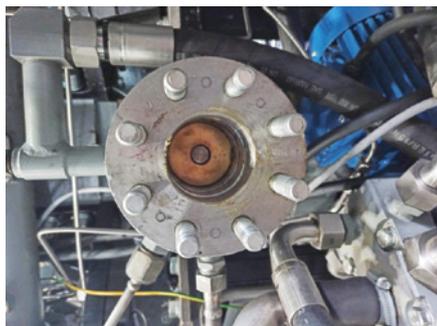


Рис. 4. Ступень SKA60/200 со снятой крышкой цилиндра

налы от датчиков давления и температуры, установленных в ступенях ЦПГ при имитации неисправности «увеличенное мертвое пространство» (рис. 4).

Экспериментальная база данных была сформирована на основе информации от 1000 объектов: 1 натурный компрессор и 999 объектов, созданных методом математического моделирования [17] данного дефекта с вариацией степени его выраженности. Исходный набор данных был случайным образом разделен на обучающую, валидационную и тестовую выборки в соотношении 0,3:0,4:0,3

Все алгоритмы были реализованы на языке Python. Исходные сегментированные сигналы предварительно нормировались. Ключевым этапом была адаптивная декомпозиция методом e -VMD, параметры которого (K и α) автоматически подбирались для каждого сигнала с помощью алгоритма IFOA. Для сигналов давления при данной неисправности оптимальными, определенными алгоритмом, оказались параметры $\sigma = 3000$ и $K = 4$. Это позволило четко разделить сигнал на моды, соответствующие основному рабочему циклу, процессам, связанным с расширением газа в увеличенном объеме (рис. 5).

Для последующей классификации из каждой выделенной моды формиро-

вался вектор диагностических признаков, включающий две категории:

1. Статистические признаки. Среднеквадратическое значение, характеризующее энергию сигнала моды, и эксцесс, чувствительный к появлению в сигнале редких, но значимых выбросов, которые могут сопровождать неисправность:

RMS_k для моды $u_k(t)$ вычисляется как:

$$RMS_k = \sqrt{\frac{1}{N} \sum u_k(t)^2},$$

где N – количество отсчетов.

Эксцесс

$$\gamma_{2k} = \frac{\frac{1}{N} \sum (u_k(t) - \mu_k)^4}{\sigma_k^4} - 3,$$

где μ_k – среднее значение моды, σ_k – ее стандартное отклонение.

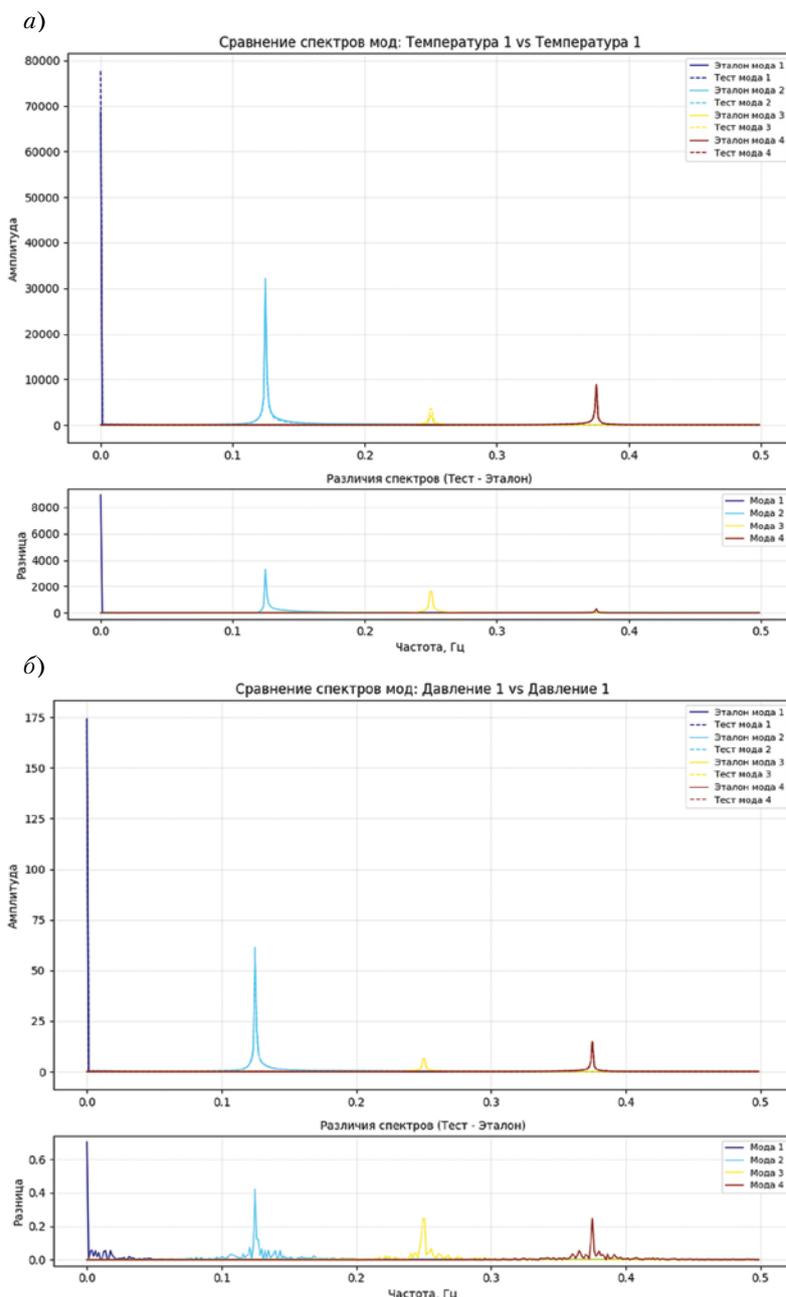


Рис. 5. Сравнение спектров мод технически исправного ПК со спектром мод при неисправности «увеличенное мертвое пространство» по показателям: а – давления, б – температуры

Сравнительные результаты диагностики неисправности «увеличенное мертвое пространство»

Методика	Точность	F1-мера	Время обучения, эпоха (сек)	Эпох до сходимости
<i>e-VMD-GRU</i> (предлагаемая методика)	95,2%	0,948	8,5	18
<i>VMD</i> (без <i>IFOA</i>) + <i>GRU</i>	91,0%	0,905	8,7	32
<i>1D-CNN</i>	90,3%	0,899	5,1	25
Сеть <i>LSTM</i>	90,1%	0,897	12,1	38
Сеть <i>RNN</i>	86,3%	0,858	7,9	52

Факт \ Прогноз	Дефект	Ошибка (условно «исправен»)	Факт \ Прогноз	Дефект	Ошибка (условно «исправен»)
Дефект	TP = 273	FN = 27	Неиспр.1	TP = 271	FN = 29
<i>VMD (без IFOA) + GRU</i>			<i>1D-CNN</i>		
Факт \ Прогноз	Дефект	Ошибка (условно «исправен»)	Факт \ Прогноз	Дефект	Ошибка (условно «исправен»)
Дефект	TP = 270	FN = 30	Неиспр.1	TP = 259	FN = 41
<i>LSTM</i>			<i>RNN</i>		
Факт \ Прогноз	Дефект	Ошибка (условно «исправен»)	Факт \ Прогноз	Дефект	Ошибка (условно «исправен»)
Дефект	TP = 286	FN = 14	<i>e-VMD-GRU</i>		

Рис. 6. Матрицы путаницы сравниваемых методов

CNN, *LSTM*, *RNN*) показали более низкие результаты, что указывает на критическую роль этапа интеллектуальной декомпозиции в обеспечении качества признаков для классификации.

Для углубленной оценки диагностической способности и надежности каждого алгоритма был проведен анализ матриц путаницы (Confusion Matrix). Поскольку в данном исследовании использовались данные исключительно неисправного состояния («увеличенное мертвое пространство») с варьируемой степенью выраженности дефекта, задача классификации носила характер контрольной проверки. Ее цель – определить, насколько устойчиво модель идентифицирует присутствие заданного дефекта во всех его вариациях, не допуская ложных трактовок.

В рамках такой постановки все объекты тестовой выборки (300 образцов) принадлежат к одному истинному классу – «Дефект присутствует». Следовательно, идеальный классификатор должен отнести все 300 образцов к категории «True Positive» (TP). Количество ошибочно классифицированных образцов «False Negative» (далее FN) отражает степень, в которой модель не идентифицировала дефект в его измененной форме, что в реальных условиях привело бы к его пропуску.

На основе общей точности, представленной в таблице, были реконструированы матрицы путаницы для всех сравниваемых методов (рис. 6).

Анализ матриц путаницы однозначно демонстрирует превосходство предложенной методики *e-VMD-GRU*. Она допустила минимальное количество ошибок (FN = 14), что свидетельствует о ее высокой устойчивости к вариациям в выраженности одного и того же дефекта. Это является прямым следствием эффективной адаптивной декомпозиции сигнала (*e-VMD* с *IFOA*), которая выделяет инвариантные информативные признаки.

Остальные методы показали значительно более высокий уровень ошибок (FN от 27 до 41). Наиболее низкий результат у классической *RNN* подтверждает ее склонность к проблемам с долгосрочными зависимостями и неэффективность при работе с сырыми или неоптимально обработанными сигналами. *LSTM*, несмотря на свою сложность, также уступает *GRU* в данной задаче, что подчеркивает важность не только архитектуры сети, но и качества входных данных.

Таким образом, матрицы путаницы подтверждают, что ключевым фактором успеха является не просто выбор сложной модели, а синергия этапов пре-

2. Многошкальные энтропийные признаки. Для количественной оценки сложности и нерегулярности временного ряда моды на разных масштабах времени вычислялась многошкальная энтропия (*Multiscale Sample Entropy*). Этот признак эффективен для анализа нестационарных сигналов, так как позволяет отличить детерминированные процессы (характерные для определенных неисправностей) от случайного шума. Высокое значение многошкальной энтропии на определенных масштабах может указывать на сложную, нерегулярную динамику, вызванную дефектом.

Полученные вектора признаков подавались на вход классификатора на основе *GRU*. Архитектура сети: два скрытых слоя по 128 нейронов, функция активации *tanh*. Для оптимизации использовался алгоритм *Adam* со скоростью обучения 0,001. Для объективного сравнения эффективности подхода *e-VMD-GRU* были реализованы и обучены на том же наборе данных четыре альтернативные методики:

1. *VMD + GRU* (*VMD* с теоретически подобранными параметрами $K = 6$, $\sigma = 2000$);

2. Сверточная нейронная сеть (*1D-CNN*) для обработки временных рядов;

3. Сеть *LSTM* (два слоя по 128 нейронов);

4. Классическая *RNN* (два слоя по 128 нейронов).

Архитектура *1D-CNN* была спроектирована для сравнимой сложности: два сверточных слоя (32 и 64 фильтра, ядро = 3), слой субдискретизации (пулинг), полносвязный слой на 64 нейрона и выходной слой.

Результаты тестирования всех моделей на независимой тестовой выборке представлены в таблице. Основными метриками являлись Точность (Accuracy) и F1-мера.

Результаты, представленные в таблице, наглядно демонстрируют превосходство предложенной методики *e-VMD-GRU* по сравнению с альтернативными подходами. Наивысшая точность (95,2%) и F1-мера (0,948) свидетельствуют о ее высокой диагностической способности при идентификации неисправности «увеличенное мертвое пространство». Быстрая сходимость (18 эпох) и умеренное время обучения (8,5 с/эпоха) подтверждают вычислительную эффективность подхода, что делает его перспективным для внедрения в системы реального времени. Преимущество *e-VMD-GRU* перед базовым *VMD* (без *IFOA*) + *GRU* (91,0%) подчеркивает важность оптимизации параметров декомпозиции с использованием *IFOA*. При этом методы на основе нейронных сетей без предварительной адаптивной обработки сигналов (*1D-*

доработки и классификации. Метод *e-VMD-GRU* обеспечивает максимальную надежность в идентификации дефекта, минимизируя риск его пропуска, что критически важно для предиктивных систем технического обслуживания в реальных эксплуатационных условиях.

ВЫВОДЫ

Проведенное исследование позволило разработать и экспериментально обосновать комбинированную методику диагностики неисправностей судового ПК, основанную на улучшенной вариационной модовой декомпозиции и сети с управляемыми рекуррентными блоками. Данный подход позволяет успешно решать актуальные проблемы традиционных методов, таких как наложение мод при обработке сигналов, неоптимальный подбор параметров декомпозиции, а также трудности, связанные с затуханием градиентов и высокой вычислительной сложностью сетей классификации. Методика интегрирует три ключевых усовершенствования: улучшенный алгоритм оптимизации «плодовой мушки» для автоматической настройки параметров *VMD*, механизм двойного отбора информативных мод на основе корреляционного анализа и многошкальной энтропии, а также классификатор на основе упрощенной и эффективной архитектуры *GRU*.

Применение *IFOA* для адаптивного выбора параметров *VMD* обеспечило четкое и устойчивое разделение исходных сигналов давления и температуры на информативные составляющие, что стало основой для последующей высокоточной идентификации дефектов. Экспериментальная проверка методики на реальных и смоделированных данных судового компрессора СКА60/200 с неисправностью «увеличенное мертвое пространство» подтвердила ее значительное преимущество. Предложенная методика *e-VMD-GRU* продемонстрировала наивысшую точность (95,2%) и значение F1-меры (0,948), превзойдя альтернативные подходы: *VMD* (без *IFOA*) с *GRU* (91,0%), одномерную сверточную сеть (90,3%), сеть *LSTM* (90,1%) и классическую *RNN* (86,3%).

Важным практическим результатом является вычислительная эффективность методики, характеризующаяся быстрой сходимостью (18 эпох) и приемлемым временем обучения, что открывает перспективы для ее внедрения в системы мониторинга и диагностики

реального времени. Анализ матриц ошибок дополнительно доказал, что высокая надежность метода (минимальное количество пропущенных дефектов) достигается за счет синергетического эффекта от качественной адаптивной предобработки сигналов и последующей классификации, а не только за счет сложности нейросетевой модели.

Таким образом, методика *e-VMD-GRU* представляет собой эффективный, сбалансированный и практико-ориентированный инструмент для диагностики критических узлов судовых поршневых компрессоров. Она вносит вклад в повышение надежности эксплуатации морской техники за счет раннего и точного выявления неисправностей, что позволяет минимизировать риски аварийных остановок и связанные с ними экономические потери. Результаты работы обосновывают целесообразность дальнейшего развития и внедрения данного подхода в системы предиктивного технического обслуживания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мосейко Е.С., Ольховик Е.О. Задачи оценки рисков и предупреждения отказов судовых механических систем // Вестник гос. ун-та морского и речного флота им. адм.С.О. Макарова. – 2022. – Т. 1. – № 6. – С. 93–944. – DOI 10.21821/2309-5180-2022-14-6-931-944. – EDN MBUNDL.
2. Манойлина С.З., Артемьев В.Н., Зайцев Н.А. Основные неисправности современных поршневых компрессоров и способы их устранения. – Тенденции развития технических средств и технологий в АПК: Мат–лы Междунар. науч.-практ. конфер., Воронеж, 20 февраля 2023 г. – Воронеж: Изд. Воронеж. гос. аграрного ун-та им. им. Петра I, 2023. – С. 182–188. – EDN ELOQAO.
3. Хотский П.Р., Макианов А.В., Бураков А.В., Тындыкарь Л.Н. Диагностика неисправностей судовых поршневых компрессоров с использованием преобразования Гильберта–Хуанга // Морской вестник. – 2025. – № 1(93). – С. 71–75. – EDN JVLHQR.
4. Lei Y. et al. A review on empirical mode decomposition in fault diagnosis of rotating machinery // Mechanical systems and signal processing. – 2013. – Т. 35. – №. 1–2. – P. 108–126.
5. Wu Z., Huang N.E. Ensemble empirical mode decomposition: a noise-assisted data analysis method // Advances in adaptive data analysis. – 2009. – Т. 1. – №. 1. – P. 1–41.
6. Yeh J.R., Shieh J. S., Huang N.E. Complementary ensemble empirical mode decomposition: A novel noise enhanced data analysis method // Advances in adaptive data analysis. – 2010. – Т. 2. – №. 2. – P. 135–156.
7. Torres M. E. et al. A complete ensemble empirical mode decomposition with adaptive

noise // 2011 IEEE international conference on acoustics, speech and signal processing (ICASSP). – IEEE, 2011. – С. 4144–4147.

8. Анализ технического состояния судового поршневого компрессора на основе // вариационной модовой декомпозиции и глубокого автоэнкодера / Хотский П.Р., Кузнецов Л. Г., Бураков А.В. [и др.] // Морской вестник. – 2025. – № 3(95). – С. 63–69. – EDN XQRMOC.
9. Sahani M., Dash P.K. Deep convolutional stack autoencoder of process adaptive VMD data with robust multikernel RVFLN for power quality events recognition // IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement. – 2021. – Т. 70. – P. 1–12.
10. Zhao S. et al. Detection of interturn short-circuit faults in DFIGs based on external leakage flux sensing and the VMD-RC-MDE analytical method // IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement. – 2022. – Т. 71. – P. 1–12.
11. Pan W.T. A new fruit fly optimization algorithm: taking the financial distress model as an example. – Knowledge-Based Systems. – 2012. – Т. 26. – P. 69–74.
12. Xu B. et al. Fault diagnosis of variable load bearing based on quantum chaotic fruit fly VMD and variational RVM // Shock and Vibration. – 2019. – Т. 2019. – №. 1. – P. 8213056.
13. Машишин О.Ф., Гусейнов Г., Засухин А.С. Методика диагностирования технического состояния авиационных газотурбинных двигателей с применением рекуррентных нейронных сетей (RNN) и длинно-краткосрочной памяти (LSTM) // Науч. вестник Московского гос. техн. ун-та гражданской авиации. – 2024. – Т. 27. – № 6. – С. 21–41. – DOI 10.26467/2079-0619-2024-27-6-21-41. – EDN UKADYJ.
14. Bauer W., Baranowski J. A. Comparison of Deep Recurrent Neural Networks and Bayesian Neural Networks for Detecting Electric Motor Damage Through Sound Signal Analysis // Energies. – 2025. – №18. – P.4997. -- <https://doi.org/10.3390/en18184997>.
15. Хотский П.Р., Бураков А.В., Макианов А.В., Тындыкарь Л.Н. Прогнозирование технического состояния поршневого компрессора на основе вариационной модовой декомпозиции и рекуррентной нейронной сети // Морской вестник. – 2025. – № 2(94). – С. 45–49. – EDN XDDJRI.
16. Ni Q., Ji J. C., Feng K. Data-driven prognostic scheme for bearings based on a novel health indicator and gated recurrent unit network // IEEE Transactions on Industrial Informatics. – 2022. – Т. 19. – №. 2. – С. 1301–1311.
17. Хотский П.Р., Бураков А.В., Кузнецов Л.Г. Разработка математической модели технического диагностирования поршневых компрессоров ракетно-космического комплекса // Омский науч. вестник. – Серия: Авиационно-ракетное и энергетическое машиностроение. – 2025. – Т.9. – №3. – С. 38–46. – DOI 10.25206/2588-0373-2025-9-3-38-46. – EDN EVJMLE. ■

ВВЕДЕНИЕ

Аэрация теплоносителей – критически важный процесс в теплоэнергетике и химическом производстве. Наличие растворенных газов (O_2 , CO_2) приводит к ускоренной коррозии и снижению ресурса оборудования. Из-за ограниченной доступности импортных деаэраторов актуальна разработка отечественных конструкций, сопоставимых по эффективности с зарубежными аналогами.

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Основная цель исследования – повышение эффективности отделения растворенных газов фазы у вертикального деаэратора до уровня 95–97% путем CFD-оптимизации конструктивных элементов.

В ходе исследования решались следующие задачи:

- 1) построение и верификация трехмерной CFD-модели в ANSYS Fluent;
- 2) анализ полей скорости, давления, температуры и объемной доли газа;
- 3) поиск зон рециркуляции и кавитационного риска;
- 4) разработка и численная оценка модификаций конструкции;
- 5) сопоставление эффективности и уровня гидравлического сопротивления с зарубежными аналогами.

МЕТОДИКА РАСЧЕТА

Объект исследования – вертикальный деаэратор $\varnothing 500 \times 1100$ мм с двумя перфорированными цилиндрами (рис. 1). Рабочее тело – 60-процентный водный раствор этиленгликоля; расход – $100 \text{ м}^3/\text{ч}$; температура – $82,5 \text{ }^\circ\text{C}$; рабочее давление – $1,6 \text{ МПа}$; входная объемная доля газ – $2,5\%$.

Расчетная область включает объем внутри корпуса деаэратора, ограниченный стандартными эллиптическими днищами, объем входного и выходного патрубка DN150, а также патрубка отвода газа.

Расчет выполнялся в трехмерной нестационарной постановке. Многофазность описана методом Volume of Fluid (VOF) для отслеживания границы раздела фаз. Модель турбулентности – $k-\omega$ SST; поверхностное натяжение принято равным $0,07 \text{ Н/м}$. Проведен анализ сходимости по сетке (5, 16, 22 млн.).

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА БАЗОВОГО ВАРИАНТА

Анализ поля скоростей показал формирование интенсивных струй в зоне перфорации с локальными скоростями до $3,9 \text{ м/с}$, что значительно превышает скорость всплытия мелких

РАСЧЕТ И ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ ДЕАЭРАТОРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ANSYS

*А. Е. Усов, руководитель бюро расчетов,
Г. С. Коленко, канд. техн. наук, инженер-расчетчик,
ООО «Винета»,
контакт. тел. (812) 493 5048, ktb58@vineta.ru*

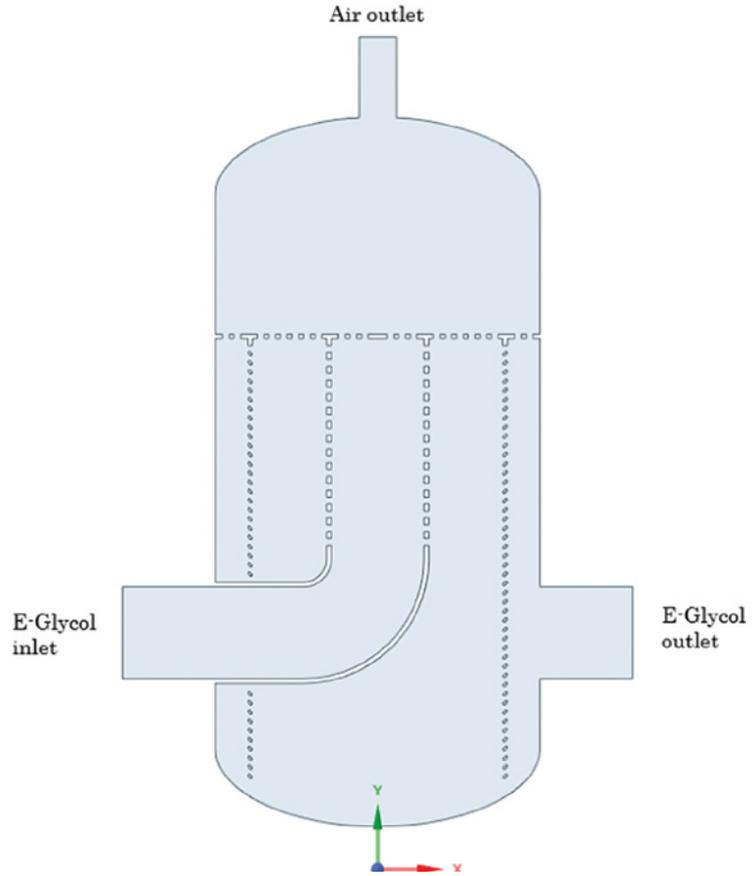


Рис. 1. Геометрическая модель и расчетная схема деаэратора (базовый вариант)

пузырей ($\sim 0,25 \text{ м/с}$ для $d \approx 0,5 \text{ мм}$). Эти струи способствуют гидродинамическому уносу пузырей к выходному патрубку и их дроблению.

Внутри корпуса обнаружены крупные зоны рециркуляции и низкого давления, которые функционируют как «ловушки» для пузырей – последние

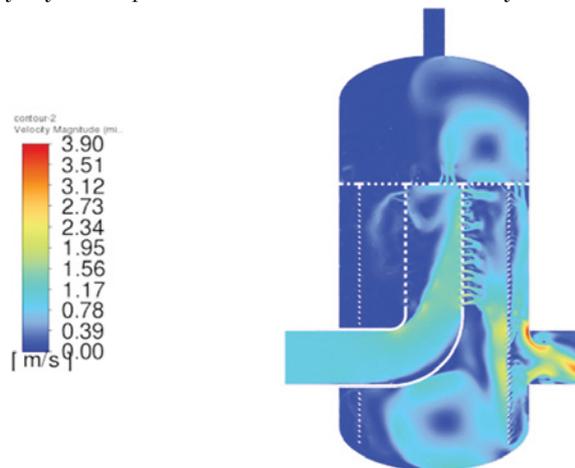


Рис. 2. Поле скорости в среднем сечении базового варианта деаэратора

циркулируют в этих областях длительное время без эффективного вывода (рис. 2). Контур распределения давления показывает, что существенная часть перепада давления локализована около выходного патрубка (≈ 4 кПа из общего ≈ 9 кПа), что снижает эффективность отвода газа.

Визуализация объемной доли газа показала отсутствие компактного газового колпака и наличие мелкодисперсного облака пузырей, уносимых к выходу. На выходе аппарата объемная доля газа составила 0,5%, что соответствует низкой эффективности сепарации ($\approx 80\%$ при 2,5% на входе):

$$E = \left(1 - \frac{C_{\text{вых}}}{C_{\text{вх}}}\right) \times 100\% = \left(1 - \frac{0,5}{2,5}\right) \times 100\% = 80\%.$$

Векторное поле скорости (рис. 3) наглядно демонстрирует наличие замкнутых вихревых структур.

МОДИФИКАЦИИ КОНСТРУКЦИИ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ СЕПАРАЦИИ

На основе CFD-анализа предложены две модификации: геометрия «Звезда» – просечно-вытяжная сетка, сваренная в 12-конечную звезду (рис. 4), и «Звезда-гибрид» – та же конструкция, но с внутренней набивкой из колец Палля.

Расчет показал следующие положительные эффекты модификации:

- 1) снижение локальных скоростей струй с 3,9 до $\approx 1,5$ м/с, что уменьшает гидродинамический унос пузырей;
- 2) уменьшение объема зон рециркуляции;
- 3) улучшение условий коалесценции (укрупнения пузырей) благодаря развитой поверхности насадок Палля в гибридном варианте;
- 4) снижение общего перепада давления на 50% (примерно с 9 кПа до $\approx 4,5$ кПа).

Результаты расчетов показали, что в модифицированном варианте формируется устойчивый компактный газовый купол в верхней зоне аппарата, а объемная доля газа у выходного патрубка снижается до $\approx 0,2\%$. Эффективность сепарации достигает $\approx 92\%$ при сохранении приемлемого гидравлического сопротивления.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Полученные результаты подтверждают, что оптимизация внутренней геометрии может существенно повысить эффективность перфорированных деаэраторов. Сочетание снижения

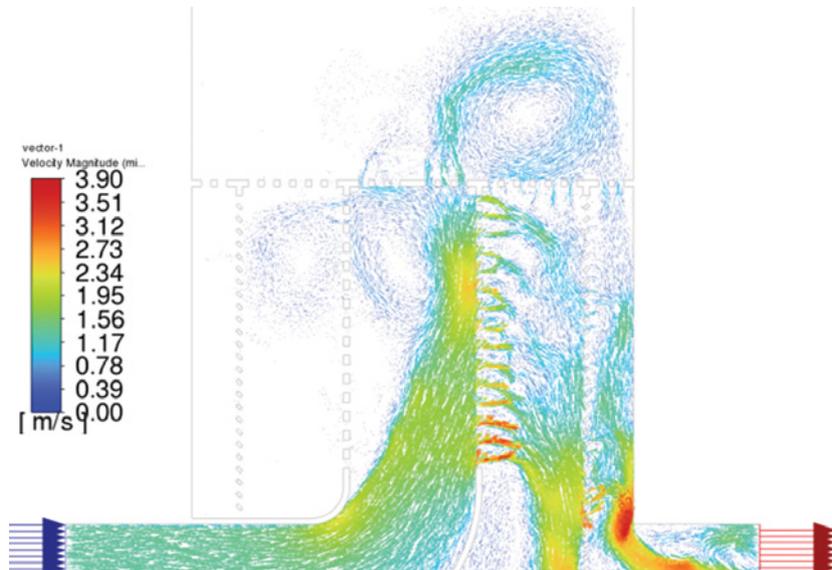


Рис. 3. Векторное поле скорости в среднем сечении базового варианта деаэратора

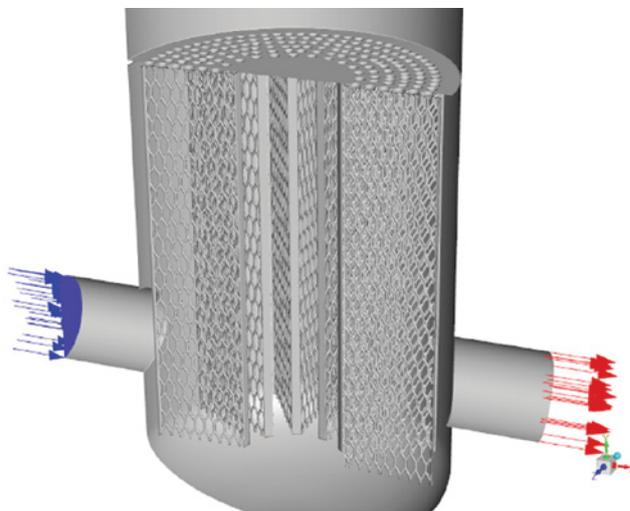


Рис. 4. Модифицированная геометрия деаэратора – вариант «Звезда»

локальных скоростей, уменьшения областей возвратного течения и внедрения насадок с развитой поверхностью способствуют как гравитационному отделению растворенного газа, так и коалесценции пузырей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Разработана и верифицирована трехмерная CFD-модель деаэратора, адекватно описывающая процессы в двухфазном течении.
2. Определены основные причины низкой эффективности базовой конструкции: гидродинамический унос и рециркуляционные «ловушки».
3. Предложенные модификации «Звезда» и «Звезда-гибрид» позволили повысить эффективность до $\sim 92\%$ и снизить перепад давления на 50%.
4. Рекомендуются экспериментальная проверка оптимизированного об-

разца и дальнейшее исследование работы при переменных нагрузках и для разных теплоносителей.

ЛИТЕРАТУРА

1. ANSYS Fluent Theory Guide, Release 2022 R1, ANSYS, Inc.
2. Иванов А. А., Павленко В. Н. Гидродинамика и теплообмен в энергетическом оборудовании. – М.: Изд-во МЭИ, 2018. – 472 с.
3. Smith J. M., Van Winkle M. Deaeration Efficiency in Thermal Systems: A CFD-Based Optimization Approach // Journal of Heat Transfer Engineering. – 2020. – Vol. 141. – Issue 3.
4. Versteeg H. K., Malalasekera W. An Introduction to Computational Fluid Dynamics: The Finite Volume Method. – Pearson Education Limited, 2007. – 517 p.
5. Crowe C. T. et al. Multiphase Flow Handbook. – 2nd ed. – CRC Press, 2016. – 1104 p. ■

В работе рассматривается возможность оценки пределов ползучести никелевых сплавов расчетным путем. Процесс ползучести рассматривается на примере сплавов ЭИ929 и ЭИ826, имеющих и не имеющих в своем составе кобальт.

РАБОЧАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ПОЛЗУЧЕСТИ ЖАРОПРОЧНОГО НИКЕЛЕВОГО СПЛАВА

Условиями проявления процесса ползучести являются относительно низкое напряжение внешнего воздействия и высокая температура. В настоящей работе к ним добавляется процесс окисления. При температурах выше 700 °С окисление идет достаточно интенсивно.

Так как по условиям задачи напряжение – ниже предела текучести материала, то материал еще может удлиняться, оставаясь в пределах пропорциональности, т.е. по линейному закону. Экспериментальные характеристики процесса это подтверждают.

В процессе испытаний или эксплуатации происходит окисление наружного слоя материала, ответственного за прочностные характеристики. В результате этого снижаются прочность и все составляющие ее элементы: пределы пропорциональности, текучести, упругости. Основные возможности удлиняться под действием внешней нагрузки материал имеет на этом этапе процесса. Поэтому сначала рассматривается возможность удлинения материала на величину 0,2% при внешнем воздействии, равном пределу пропорциональности. Дальнейшее увеличение этого напряжения до предела упругости приведет к невозвратной деформации.

Изменение прочностных характеристик материалов в результате окисления наружного слоя происходит за счет потери массы этого слоя без компенсации за счет внутренних слоев [1]. Поэтому расчетное исследование начинается с оценки потери массы в результате окисления. Все исследование ведется при температуре 900 °С с оценкой при температуре 800 и 1000 °С.

Как следует из работы [1], прочностные характеристики никелевых сплавов в значительной степени определяются их поверхностным слоем, который в свою очередь включает первый, наружный, и второй слои. Далее идет различной ширины диффузный слой и остальная часть сплава, которая в химический состав в процессе эксплуатации или испытаний остается неизменным – исходным. Толщина наружного слоя составляет около 5 – 15 мкм.

Процесс ползучести в настоящей работе рассмотрим на базе наружного слоя.

Для удобства рассмотрения наружный слой рассматривается как пластина площадью 1 м² и толщиной око-

ПОЛЗУЧЕСТЬ ЖАРОПРОЧНОГО НИКЕЛЕВОГО СПЛАВА: РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ, ПРОГНОЗНАЯ ОЦЕНКА

А.З. Багерман, канд. техн. наук,
руководитель секции «Судовые энергетические установки»
РосНТО судостроителей им. акад. А.Н. Крылова,
контакт. тел. (812) 710 4011, cpntokrylov@mail.ru

ло 12 мкм. При таких условиях масса пластины будет составлять 100 г.

При любых взаимодействиях со сплавом при температуре 900 °С на воздухе [1, 3] происходит процесс окисления поверхности сплава, который уменьшает массу наружного слоя и его работоспособность. Этот процесс охарактеризован в табл. 1. При этом, как и при испытаниях на жаростойкость, появляется «привес», который возникает из-за присоединения к сплаву кислорода в пропорции металл : кислород примерно как 2:1.

Здесь в п. 1 приведен химический состав сплава ЭИ929 [2]. Далее оценивается объем, занимаемый в сплаве его составляющими металлами, и относительная величина их поверхности $f_{отн}$, по которой металл может контактировать с кислородом. В п. 5 приведены скорости повреждения отдельных металлов

(г/м²ч) в результате окисления при температуре 900 °С.

Результаты, приведенные в табл. 1, получены при испытаниях на стенде в газовом потоке при относительно короткой экспозиции – несколько часов [3]. Затем они уточнялись при других испытаниях. Потери массы металлов оценивались с помощью следующей зависимости:

$$\Delta q = W_o \cdot \Delta t \cdot K_{зо} \cdot f_{отн}, \quad (1)$$

где W_o – потери металла в результате окисления, г/м²ч (приведены в табл. 2), Δt – продолжительность испытаний, эксплуатации, ч, в рассматриваемых примерах – 100 часов, $K_{зо}$ – эффективность окисления, $f_{отн}$ – относительная величина поверхности контакта с кислородом рассматриваемого металла в долях от 1 м².

Скорость окисления, приведенная в табл. 2, была получена при кратковременных испытаниях – несколько часов. При

Таблица 1
Процесс окисления наружного слоя сплава ЭИ929 при температуре 900 °С

№ пп.	Параметр	Ni	Cr	Cj	Mo	W	Ti	Al	Fe	Σ
1	Состав сплава q , г	54,3	10,5	14,0	5,0	5,5	1,7	4,0	5,0	100
2	Удельный объем металла, г/см ³	0,12	0,14	0,112	0,097	0,052	0,40	0,37	0,126	
3	Объем металла в сплаве, см ³	6,5	1,4	1,57	0,48	0,28	0,68	1,48	0,63	13,02
4	Относительный объем металлов $v_{отн} : f_{отн}$	0,50	0,107	0,12	0,03	0,02	0,05	0,11	0,048	
5	Скорость окисления металлов wo , г/м ² ч	1,9	2,8	2,5	2,95	4,25	2,0	2,4	1,4	
6	Потери массы металлов Δq , г	11,4	3,59	3,50	1,06	1,02	1,20	3,1	0,75	25,7
7	Новый состав металлов q_o , г	42,9	6,91	10,4	3,94	4,48	0,50	0,90	4,25	74,3
8	Новый относительный состав наружного слоя, %	57,7	9,3	14,0	5,5	6,0	0,67	1,2	5,7	99,9
9	Модули σ_{100y} , МПа/г	0,21	0,21	4,5	8,0	5,0	8,0	5,5	4,0	
10	$\sigma_{100} = \sigma_{100y} \cdot q_o$, МПа, до «прожига»	11,4	2,2	63,0	40,0	27,5	13,6	22,0	20,0	200,0
11	$\sigma_{100} = \sigma_{100y} \cdot q_o$, МПа, после «прожига»	12,1	1,9	63,0	44,0	30,0	5,3	6,6	22,8	186,0

Таблица 2
Скорости окисления металлов, г/м²ч

T, °C	Ni	Cr	Co	Mo	W	Ti	Al	Fe
800	1,19	1,41	1,26	2,13	2,5	1,4	1,4	1,2
900	1,9	2,8	2,5	2,95	4,25	2,0	2,4	1,4
950	2,4	3,4	3,25	3,47	5,3	2,37	2,93	1,4
1000	2,9	4,0	4,0	4,0	6,4	2,75	3,46	1,4

длительных испытаниях на поверхности сплава образуется окисная пленка, которая препятствует окислению и снижает среднюю скорость разрушения металла. Этот эффект оценивается с помощью $K_{зо}$, который показывает относительную величину скорости окисления по сравнению с показанной в табл. 2 при рассматриваемых условиях (100, 500 часов).

Сумма Δq , является величиной общего потерь наружного слоя сплава в результате окисления в течение заданного количества часов, например 100, как в табл. 1. Оценка потери массы Δq в табл. 1 была выполнена при $K_{зо} = 0,12$. То есть средняя «эффективность» окисления за 100 часов составляла 12% от представленной в табл. 2.

Основанием к этому послужила реконструкция испытаний сплава IN738LS.

РЕКОНСТРУКЦИЯ ИСПЫТАНИЙ ПО ВЛИЯНИЮ ОКИСЛЕНИЯ НА ПРОЧНОСТЬ СПЛАВА [4]

Испытывались две партии одинаковых образцов из сплава IN738LS на длительную прочность при температурах 700, 800, 900, 1000 °С в атмосфере воздуха. Одна партия испытывалась сразу после изготовления, другая – после предварительной выдержки в атмосфере воздуха при температуре 1000 °С в течение 200 часов (далее – после «прожига»). После «прожига» образцы испытывались при напряжениях, имевших место в первой партии при соответствующей температуре. В результате было получено снижение длительной прочности сплава при 700 °С и 800 °С на 100%, при 900 °С – на 93%, при 1000 °С – на 61 %.

Результаты испытаний показали, что «прожиг» приводит к снижению прочности сплава. Условия испытаний были характерными для возникновения ползучести. Следовательно, при испытаниях или расчетах пределов ползучести надо иметь в виду изменения и прочностных характеристик материала.

При расчетной реконструкции этих испытаний оценка потерь массы была выполнена при $K_{зо} = 0,10$, что привело к полному совпадению с опытными данными. За 200 часов пребывания при температуре 1000 °С потери массы наружным слоем составили около 30 %.

Сравнение результатов при испытаниях – см. табл. 1 – со справочными данными показали правильность принятого выбора коэффициента «эффективности» окисления $K_{зо}$.

По результатам обработки опытных данных [2] и расчетов потерь массы различными жаропрочными никелевыми сплавами было получено соотношение Δq и $\Delta \sigma_{\text{пл}}$:

$$\Delta \sigma_{\text{пл}} = 2,64 \cdot \Delta q. \quad (2)$$

Это позволило оценить значение $\Delta \sigma_{\text{пл}}$ после 100 часов испытаний с окис-

лением и величину $\sigma_{\text{пл}}$ как

$$\sigma_{\text{пл}} = \sigma_{\text{пл}} - \Delta \sigma_{\text{пл}}$$

если материал за 100 часов удлинится на $\Delta l = 0,2\%$ при напряжении $\sigma_{\text{пл}} = \sigma_{0,2/100}$.

В исходном состоянии удлинение, равное 0,2%, может быть получено при напряжении, близком к исходному значению $\sigma_{\text{пл}}$. Но по условию оценки предела ползучести это напряжение должно быть меньше исходного, и удлинение на 0,2% должно произойти за 100 часов, причем оно должно быть упругим. Такое условие может быть выполнено за счет снижения сопротивления материала внешнему воздействию, в рассматриваемом случае – за счет потери части массы наружного слоя сплава и изменения его химического состава. При упругом характере удлинения получается линейная связь между действующим напряжением и удлинением.

Испытания в течение 100 часов приводят к снижению сопротивления материала внешнему воздействию $\sigma_{\text{пл}}$, что означает выполнение условия для оценки предела ползучести в режиме упругого удлинения $\sigma_{0,2/100}$.

При длительности процесса в 100 часов и $K_{зо} = 0,12$ подтвердились оценки $\sigma_{0,2/100}$ сплавов ЭИ929, ЭИ826, ЖСЗ-ДК, ЭИ894, ЖС6. Для сплава ЖС6-КП лучшее решение оказалось при $K_{зо} = 0,10$. При $K_{зо} = 0,10 - 0,12$ оценка $\sigma_{0,2/100}$ оказалась близкой к справочным данным при всех рассмотренных температурах: 800, 900, 950, 1000 °С. При длительности испытаний 500 часов средняя эффективность повреждений металлов от окисления снизилась и составила $K_{зо} = 0,02 - 0,03$ при всех рассмотренных температурах 800, 900, 950, 1000 °С, что нашло подтверждение при расчетах $\sigma_{0,2/500}$ сплавов ЖСЗ-ДК, ЭИ826, ЭИ894, ЭИ929.

ОЦЕНКА ПРЕДЕЛА ДЛИТЕЛЬНОЙ ПРОЧНОСТИ СПЛАВА ДО И ПОСЛЕ ИСПЫТАНИЙ

Для этого использовались модули длительной прочности [5, 6] из табл. 1, п. 9, 10, 11, которые представляют удельные величины длительной прочности каждого металла, отнесенные к одному грамму. Произведения удельного модуля на количество металла в сплаве дает долю прочности, которую несет этот металл – см. п. 10, 11. Сумма этих «долей» соответствует прочности всего сплава.

Как следует из табл. 1 и табл. 3, в результате «прожига» прочность сплавов уменьшилась. При температуре 900 °С снижение прочности составляет до около 50 % [2].

Оценка пределов ползучести в примере в табл. 1 выполнена следующим образом: поскольку $\Delta q = 25,7\%$, следовательно, $\Delta \sigma_{\text{пл}} = 67,8\%$. Новое значение $\sigma_{\text{пл-о}} = (1,0 - 0,678) \cdot \sigma_{\text{пл}} = 0,32 \sigma_{\text{пл}}$.

Для сплава ЭИ 929 [2] при 900 °С $\sigma_{0,2} = (400 - 450)$ МПа, $\sigma_{\text{пл}} = (350 - 400)$ МПа.

Следовательно, $\sigma_{\text{наг}} = \sigma_{\text{пл-о}} = \sigma_{0,2/100} = 0,32 \cdot 370,0 = 119$ МПа по общей деформации.

Для оценки предельного напряжения по остаточной деформации используется предел упругости через коэффициент 1,1, т. е. $\sigma_{0,2/100} = 119 \cdot 1,1 = 131$ МПа по остаточной деформации. (Справочные данные – $\sigma_{0,2/100} = 140$ МПа [2]).

В табл. 3 приведены расчеты, аналогичные табл. 1, для сплава ЭИ826, не содержащего Со.

Для сплава ЭИ826 потери массы в результате окисления составили 25% за 100 часов работы при температуре 900 °С. Следовательно, относительные

Таблица 3
Процесс окисления наружного слоя сплава ЭИ826 при температуре 900 °С

№ пп.	Параметр	Ni	Cr	Cj	Mo	W	Ti	Al	Fe	Σ
1	Состав сплава q, г	66,7	14,5	-	3,2	6,0	2,0	2,6	5,0	100
2	Удельный объем металла, г/см ³	0,12	0,14	-	0,097	0,052	0,40	0,37	0,126	
3	Объем металла в сплаве, см ³	8,0	2,0	-	0,31	0,31	0,80	0,96	0,63	13,0
4	Относительный объем металлов, v _о тн: f _{отн}	0,61	0,15	-	0,02	0,02	0,06	0,74	0,048	
5	Скорость окисления металлов w _о , г/м ² ч	1,9	2,8	2,5	2,95	4,25	2,0	2,4	1,4	
6	Потери массы металлов Δq, г	13,9	5,0	-	0,70	1,02	1,44	2,13	0,63	24,82
7	Новый состав металлов, г	52,8	9,5	-	2,5	4,98	0,56	0,47	4,37	75,18
8	Новый относительный состав наружного слоя, %	70,0	12,6	-	3,3	6,6	0,7	0,6	5,8	
9	Модули σ _{100,γ} , МПа/г	0,21	0,21	4,5	8,0	5,0	8,0	5,5	4,0	
10	σ ₁₀₀ = σ _{100,γ} · q _о , МПа, до «прожига»	14,0	3,0	-	25,6	30,0	16,0	14,3	20,0	123,0
11	σ ₁₀₀ = σ _{100,γ} · q _о , МПа, после «прожига»	11,0	2,0	-	20,7	24,9	4,7	2,6	16,8	82,0

Оценка предела ползучести сплава ЭИ826 при температуре 800 °С, МПа
Пример модульного подхода

Модуль	Ni	Cr	Co	Mo	W	Ti	Al	Fe	Σ
$\sigma_{0,2/100}$ по общей деформации	0,36	0,36	8,4	12,0	6,5	12,0	8,8	10,0	
$\sigma_{0,2/100}$ по остаточной деформации	0,44	0,44	10,4	14,9	8,1	14,9	10,9	12,4	
Предел $\sigma_{0,2/100}$ по общей деформации	24,0	5,2	-	38,4	39,0	24,0	22,9	50,0	203,0
Предел $\sigma_{0,2/100}$ по остаточной деформации	29,3	6,4	-	47,7	48,6	28,8	32,2	75,0	269,0

Таблица 5

Оценка деформации сплава в процессе ползучести при температуре 900 °С

Δt , ч	K_{30}	Δq , %	$\Delta \sigma_{пл}$, %	$\sigma_{пл}$, МПа	$\sigma_{пл} / \Delta \epsilon$	$\Delta \epsilon$, %	$\sigma_{0,2/100}$, МПа
100	0,12	25,7	67,8	119,0	-	0,2	119,0
60	0,17	21,8	57,6	157,0	784,0	0,152	-
40	0,22	18,8	49,7	186,0	930,0	0,128	-
20	0,145	14,5	38,3	228,0	1138,0	0,104	-

потери предела пропорциональности будут $\Delta \sigma_{пл} = 2,64 \cdot \Delta q$, $\Delta \sigma_{пл} = 66,0\%$.

Предел пропорциональности сплава при температуре 900 °С $\sigma_{пл} = (280 - 350)$ МПа [2].

По выполненной оценке, $\sigma_{0,2/100} - \sigma_{пл-0} = (1,0 - 0,66) \cdot \sigma_{пл} = 118$ МПа. По справочным данным [2], $\sigma_{0,2/100} = (100 - 110)$ МПа по общей деформации; $\sigma_{0,2/100} = 118 - 1,1 = 130$ МПа по остаточной деформации. (Справочные данные – $\sigma_{0,2/100} = 115$ МПа.)

МОДУЛЬНЫЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ ПРЕДЕЛОВ ПОЛЗУЧЕСТИ НИКЕЛЕВЫХ СПЛАВОВ [5]

Для этого был сформирован модуль из удельных значений сопротивлений внешним воздействиям, отнесенный к одному грамму каждого металла, входящего в сплав. Оценка той или иной характеристики сплава состояла в умножении модулей на процентное содержание соответствующего металла и арифметического суммирования полученных произведений. Пример такого модульного подхода приведен в настоящей работе при оценке прочности сплавов в табл. 1 и табл. 3. Оказалось, что для Ni, Cr, Mo, W, Ti, Al величина модулей не зависит от состава сплава, а зависит только от температуры. Практика использования модульного подхода показала, что для Co и Nb она зависит и от процентного содержания их в сплаве. Чем больше доля Co, тем меньше величина его модуля.

Оказалось, что аналогичное свойство проявляется и при оценке других характеристик сплавов, не только при оценке кратковременной или длительной прочности. Были сформированы модули для оценки предела выносливости [7], предела малоциклового прочности [8], коэффициента теплового линейного расширения [9], теплопроводности [10].

В работе [5] приведены модули для оценки предела ползучести никелевых сплавов по общей деформации (при температуре 700, 800, 900 °С) и для остаточной деформации (при температуре 700, 800 °С). В табл. 4 показан пример оценки с использованием модульного подхода пределов ползучести сплава ЭИ826.

По [2] пределы ползучести по общей деформации составляют 210,0 МПа, по остаточной деформации – (250 – 260) МПа.

Для построения эпюры процесса ползучести выполняются все действия, описанные выше. Оцениваются изменения деформации материала при известной величине действующего напряжения – см. табл. 1 и табл. 2. Пример такого расчета показан в табл. 5.

Оценка параметров эпюры деформации сплава во времени выполняется по зависимостям, использованным при оценке предела ползучести. В этом слу-

чае предел ползучести известен. Оценивается положение упругой характеристики при частичном повреждении сплава. Расчеты потери массы Δq выполняются по формуле (1) при соответствующем коэффициенте «эффективности окисления» K_{30} и продолжительности работы (испытаний). По формуле (2) $\Delta \sigma_{пл} = \Delta q \cdot 2,64$.

Отношение $\sigma_{пл} / \Delta \epsilon$ показывает положение упругой характеристики после соответствующей продолжительности испытаний, если $\Delta \epsilon = 0,2\%$ относительного удлинения. Относительное удлинение в рассматриваемый момент $\Delta \epsilon = \sigma_{0,2/100} / (\sigma_{пл} / \Delta \epsilon)$.

При оценке предела ползучести жаропрочных никелевых сплавов при температурах 800, 950, 1000 °С могут быть использованы значения K_{30} , принятые для температуры 900 °С.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты исследования показали, что ползучесть является естественным процессом удлинения материала под влиянием температуры и силового воздействия при одновременном снижении предела пропорциональности сплава в результате его ускоренного окисления под влиянием высокой температуры.

Предел ползучести по общей деформации получается близким (равным) пределу пропорциональности сплава после окисления его поверхности, а по остаточной деформации – пределу упругости, т. е. на около 10 % больше $\sigma_{пл-0}$.

Прочность сплава в результате окисления при температуре 900 °С снижается до 50 %.

Полученные зависимости процесса ползучести позволяют построить кривые развитие этого процесса во времени.

ЛИТЕРАТУРА

1. Багерман А.З., Заводов С.А., Леонова И.П. Исследование характеристик сплава

СДП1 при работе в составе защитного покрытия // Тяжелое машиностроение. – 2025. – № 9. – С. 21–27.

2. Справочник по авиационным материалам. – Т. 111: Коррозионностойкие и жаропрочные стали и сплавы. – М.: Машиностроение. – 1965. – 632 с.
3. Хорошев В.Г., Леонова И.П. Прогнозная оценка статической прочности жаропрочных сплавов при изменении температуры, длительности эксплуатации и окислении // Тяжелое машиностроение. – 2019. – № 9. – С. 36–40.
4. Коломыцев П.Т. Газовая коррозия и прочность сплавов. – М.: Металлургия, 1984. – 216 с.
5. Багерман А.З. Прогнозная оценка пределов длительной прочности, выносливости и механических свойств сплавов на основе никеля // Морской вестник. – 2021. – № 4. – С. 63–64.
6. Багерман А.З., Заводов С.А., Леонова И.П. Модульный подход к оценке прочностных и других характеристик жаропрочных никелевых сплавов на основе их химического состава // Вестник РГАТА им. П.А. Соловьева. – 2023. – № 2(65). – С. 27–28.
7. Багерман А.З., Живушкин А.А. Исследование конструктивной усталостной прочности лопаток турбин с использованием прогнозирования высокотемпературного предела выносливости жаропрочных сплавов на основе никеля // Тяжелое машиностроение. – 2022. – № 1-2. – С. 7–9.
8. Багерман А.З. Объединение малоциклового усталости и выносливости никелевых сплавов // Морской вестник. – 2024. – № 1. – С. 60–61.
9. Багерман А.З., Леонова И.П. и др. Модульный подход к оценке коэффициента теплового линейного расширения и модуля нормальной упругости жаропрочных сплавов // Судостроение. – 2022. – № 4. – С. 31–32.
10. Багерман А.З., Киришина А.А. и др. Модульный подход к оценке и прогнозированию характеристик теплообмена жаропрочных сплавов на никелевой основе // Судостроение. – 2020. – № 5. – С. 31–32. ■

Жизнь человека от рождения и до смерти проходит среди различных физических полей, в том числе и полей электромагнитной природы. Если к полям естественного происхождения человек в ходе эволюции неплохо адаптировался, то, начиная с XX в., появились электромагнитные излучения антропогенного происхождения, интенсивность которых может на несколько порядков превышать естественный электромагнитный фон [1].

Связь между наличием повышенного уровня электромагнитных излучений в среде обитания человека и увеличением интенсивности возникновения заболеваний была установлена еще в прошлом, XX в., а в настоящее время достаточно подробно изучается. Например, в [2] проведен детальный анализ механизмов воздействия различных электромагнитных полей на человека и последствий их воздействия. В частности, представлены результаты исследования зависимости частоты возникновения онкологических заболеваний от уровня воздействия электромагнитного облучения. Было обнаружено, что частотность этих заболеваний составляет 119 на 100 000 человек для персонала, обслуживающего мощное энергетическое оборудование, в то время как этот показатель равен 57 на 100 000 для остальных людей.

В исследовании [3] также приводится большой массив данных, касающихся нарушения биологических процессов вследствие влияния электромагнитных полей промышленной частоты. Так, установлено, что у лиц, занимающихся обслуживанием электрических подстанций и линий электропередач, часто отмечаются жалобы неврологического характера (головная боль, повышенная раздражительность, утомляемость, вялость, сонливость), снижение памяти и внимания, а также жалобы на нарушение деятельности сердечно-сосудистой, эндокринной и репродуктивной системы.

Согласно работе [4], влияние низкочастотных электромагнитных полей на реакцию биологической системы человека существенно зависит от ее текущего биологического состояния. Например, наиболее сильное отрицательное влияние низкочастотного электромагнитного поля проявляется, если биосистема человека находится в ослабленном состоянии, ниже нормы на 20–30%, то при воздействии электромагнитного поля биосистема может перейти в патологическое состояние любой степени тяжести, вплоть до летального исхода. Особенно это заметно при наличии сердечно-сосудистых патологий.

В работе [1] утверждается, что низкочастотные электромагнитные поля в

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ КОМПЕНСАЦИИ НИЗКОЧАСТОТНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ КОРАБЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ В ЗАДАЧАХ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОЙ СРЕДЫ ОБИТАНИЯ ЧЕЛОВЕКА

Б.Ю. Семёнов, начальник сектора – главный конструктор направления СКЭМП АО «НПФ «Меридиан»,
контакт. тел. (812) 602 0375, доб. 526

диапазоне от 0 до 105 Гц воздействуют на весь организм человека, а наибольший отклик на воздействие фиксируется со стороны нервной системы. Результат воздействия проявляется в нарушении условных рефлексов, сбоях синхронизации биотоков коры головного мозга. Отмечено, что на электроэнцефалограмме головного мозга в этом случае появляются медленные колебания биотоков с высокой амплитудой, отсутствующие в естественной электромагнитной обстановке.

В работе [5] сделан однозначный вывод, что «магнитное поле диапазона сверхнизких частот следует считать биоэффективным экологическим фактором, который при определенной совокупности параметров и длительности экспозиции становится фактором риска». Об этом же свидетельствуют и результаты многих других исследований влияния слабого электромагнитного поля низкой частоты на живые организмы, их клеточные мембраны, на нервную, эндокринную, иммунную и гематологическую системы, на поведенческие реакции.

Если факт влияния на здоровье и самочувствие человека низкочастотных электромагнитных полей является доказанным и обоснованным, то вопросы нормирования допустимых уровней низкочастотного поля по-прежнему лежат в дискуссионной плоскости. Главная сложность здесь состоит в получении необходимых экспериментальных

данных и в невозможности прямого переноса данных, получаемых при исследовании животных, на человеческий организм. Тем не менее к настоящему времени введено нормирование предельно-допустимых уровней магнитных полей частоты 50 Гц в помещениях жилых и общественных зданий [6]. Согласно этому документу, устанавливаются единые для всей территории Российской Федерации санитарно-эпидемиологические требования к размещению и эксплуатации постоянно действующих источников магнитных полей (см. таблицу).

Вместе с тем наблюдается тенденция к снижению предельно-допустимых уровней электромагнитного поля частотой 50 Гц. Такая тенденция обусловлена появлением данных о связи величины индукции электромагнитного поля низкой частоты с интенсивностью онкологических заболеваний.

Особенностью плавучих объектов, т. е. судов и кораблей, является существенная скученность мощного электроэнергетического оборудования в малых пространственных объемах. Это касается и объектов типа «плавучая электростанция». Учитывая, что сегодня плавучие электростанции создаются на основе технологий атомной энергетики и к защите эксплуатационного персонала от вредного воздействия радиации уделяется достаточно много внимания, на взгляд автора, проблема воздействия на

Таблица
Требования к размещению и эксплуатации постоянно действующих источников магнитных полей

Тип воздействия, территория	Индукция ЭМП, мкТл
В жилых помещениях, детских, дошкольных, школьных, общеобразовательных и медицинских учреждениях	5,0
В нежилых помещениях жилых зданий, общественных и административных зданиях, на земельных участках, в том числе на территории садовых участков	10,0
В населенной местности вне зоны жилой застройки, в том числе в зоне воздушных и кабельных линий электропередач напряжением выше 1 кВ; при пребывании в зоне прохождения воздушных и кабельных линий электропередачи	20,0
В ненаселенной труднодоступной местности с эпизодическим пребыванием людей	100,0

человека низкочастотного электромагнитного поля в этих проектах заострена меньше, чем проблема радиационного воздействия. Но оставлять без внимания данную проблему, учитывая доказанные факты негативного воздействия на организм человека низкочастотного электромагнитного поля, в современных условиях уже нельзя.

МЕТОДЫ КОМПЕНСАЦИИ НИЗКОЧАСТОТНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

Методы пассивной борьбы с низкочастотным электромагнитным полем известны хорошо и разработаны давно. В число первоочередных технических решений входит использование экранирующих материалов с высоким значением магнитной проницаемости – электротехнических сталей и пермаллоев. Также применяются специальные методы прокладки шинпроводов и токоведущих кабелей, в которых обеспечивают симметрирование проводников таким образом, чтобы магнитные поля компенсировали друг друга. Используются также организационные мероприятия, согласно которым не разрешается находиться в местах с повышенным уровнем низкочастотного электромагнитного поля дольше определенного времени.

При решении задачи снижения уровня низкочастотного электромагнитного поля до безопасных значений может пригодиться опыт создания систем компенсации поля корабельного электрооборудования, применяемый для обеспечения скрытности кораблей противоминной защиты от систем обнаружения и самонаведения вероятного противника. Особенность этих систем автоматической компенсации (АСК НЭМП) состоит в том, что их действие направлено на сам источник низкочастотного электромагнитного поля, а не на следствие его работы. Системы АСК НЭМП, в отличие от ферромагнитных экранов как пассивных средств снижения уровня поля, являются активными системами подавления НЭМП.

Рассмотрим общие принципы работы системы АСК с непосредственным управлением токами в исполнительных устройствах. Схема АСК данного типа показана на рис. 1, а. В состав АСК, помимо приборной части, входят компенсационные обмотки (КО) и управляющие обмотки (УО). Компенсационные обмотки подключены к выходам усилителей компенсационных (УК). На вход усилителя УК подключена обмотка УО, выполняющая роль датчика и преобразующая поля источника в управляющий электрический сигнал. Потокосцепление $\Psi_{и}$ источника, обладающего магнитным моментом $M_{и}$, создает в управляющей

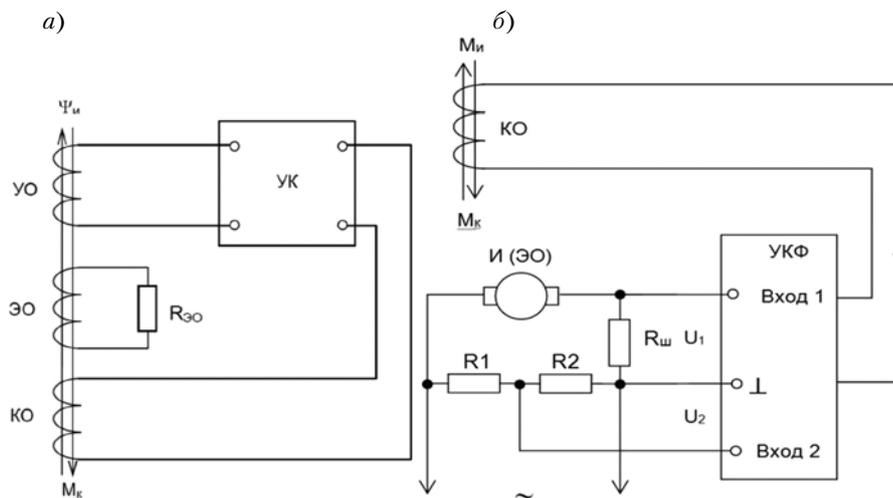


Рис. 1. АСК НЭМП с непосредственным управлением (а) и с косвенным управлением (б)

обмотке напряжение $U_{вх}$, поступающее на вход УК, который усиливает входной сигнал и преобразует его в ток компенсационной обмотки, являющейся источником компенсирующего поля АСК со значением магнитного момента $M_{к}$. Условием компенсации в канале АСК является равенство магнитных моментов источника (или группы источников) и компенсационной обмотки ($M_{и} = -M_{к}$).

Реальные условия эксплуатации систем АСК, как правило, характеризуются наличием дополнительных паразитных контуров, образуемых металлическими массами корпуса или электрооборудования, или короткозамкнутыми экранными оплетками кабелей. На рис. 1, а эти контуры представлены в виде некоторого эквивалентного контура, состоящего из обмотки ЭО и сопротивления $R_{эо}$.

Значения $R_1, R_2, R_{ш}$ определяют, исходя из характеристик источника НЭМП, а также значений входных напряжений УКФ, определяемых его техническими данными.

Условием компенсации НЭМП в этом случае также является равенство магнитных моментов источника (или группы источников) и компенсационной обмотки ($M_{и} = -M_{к}$).

На рис. 2 показана структура канала УКФ. Входные сигналы поступают на соответствующие входы усилителя-фазовращателя (УФ), где происходит их усиление, а также регулирование по уровню и фазе в заданных пределах. На сумматоре Σ происходит сложение сигналов, пропорциональных U_1 и U_2 , с последующим преобразованием посредством усилителя мощности УМ в ток компенсационной обмотки (КО).

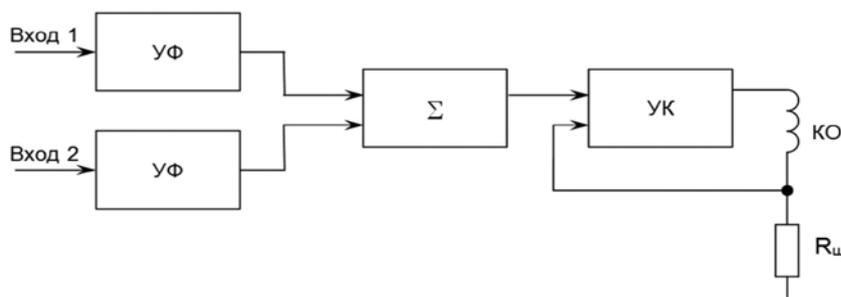


Рис. 2. Структурная схема канала УКФ

Схема системы АСК с косвенным управлением показана на рис. 1, б. Напряжение U_1 , пропорциональное току источника низкочастотного электромагнитного поля, и напряжение U_2 , пропорциональное напряжению источника НЭМП, обладающего магнитным моментом $M_{и}$, поступают на входы 1 и 2 усилителя компенсационного фазового (УКФ) соответственно, где происходит их усиление и преобразование в ток $I_{вых}$ компенсационной обмотки со значением магнитного момента $M_{к}$. Резисторы R_1 и R_2 образуют делитель в цепи напряжения источника, а резистор $R_{ш}$ – шунт в цепи тока

ОЦЕНКА КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ КОМПЕНСАЦИИ НЭМП

Целесообразность установки системы активной компенсации НЭМП следует оценивать, исходя из ее конструктивных и стоимостных параметров, а также с учетом применения иных способов снижения величины НЭМП. Как любое изделие, функционирование которого обеспечивается подачей на него внешнего электрического питания, такая система требует соблюдения определенных правил эксплуатации, регла-



Рис. 3. Свободный тип помещения (а) и тесный тип помещения (б)

ментных работ, технического обслуживания. Следовательно, востребованность ее установки, например, в машинном отделении, показанном на рис. 3, а, будет, скорее всего, низкой. В данном случае мощное электроэнергетическое оборудование расположено в просторном помещении, и смежные каюты, в которых может постоянно находиться персонал, удалены от него. Машинное отделение, показанное на рис. 3, б, характеризуется значительной теснотой, малыми свободными пространствами, и в таком случае применение активной системы подавления НЭМП целесообразно.

Выполним оценку конструктивных и электрических параметров активной системы подавления НЭМП электрооборудования, рассчитав параметров компенсационной обмотки (рис. 4).

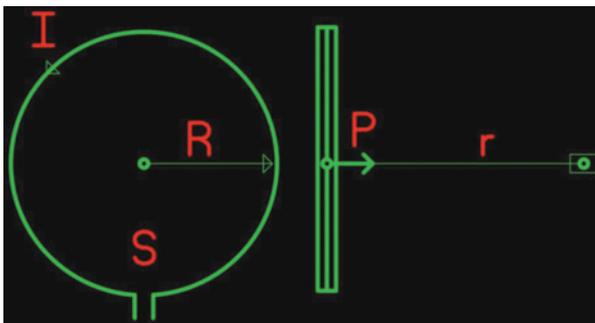


Рис. 4. К расчету параметров компенсационной обмотки

Условно примем площадь S компенсационной обмотки равной 1 м^2 и поставим цель снизить величину НЭМП на расстоянии r от центра обмотки, равным 1 м . Величину снижения НЭМП условно определим в 10 мкТл .

Индукция на расстоянии r по оси, нормальной к плоскости компенсационной обмотки, определяется по выражению

$$B \approx \frac{\mu_0 I S w}{2\pi r^3}, \quad (1)$$

где I – ток в компенсационной обмотке; w – число витков компенсационной обмотки; μ_0 – магнитная постоянная, $4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$.

Параметр, называемый «ампер-витки» обмотки Iw в соответствии с выражением (1) будет определяться как

$$Iw \approx \frac{2\pi B r^3}{\mu_0 S}. \quad (2)$$

В соответствии с вышеприведенными исходными данными, параметр $Iw = 50$. Физически это означает, что в случае, если возможности аппаратуры управления не позволяют обеспечить величину тока компенсации более 5 А , то в компенсационную обмотку необходимо

уложить 10 витков.

При необходимости может быть применена трехосевая система компенсации, в которой три обмотки располагаются ортогонально друг по отношению к другу.

Настройка системы заключается в установке в точке компенсации датчика переменного магнитного поля и минимизация результирующего поля путем регулировки канала УКФ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотренный в статье способ подавления низкочастотного электромагнитного поля электрооборудования, в том числе электромагнитного поля промышленной частоты, для обеспечения норм обитаемости может быть реализован на основе аппаратуры АСК НЭМП, серийно выпускаемой АО «НПФ «Меридиан». При этом стоимость целевой аппаратуры может быть существенно снижена за счет применения электронной компонентной базы широкого потребления, использования усилителей мощности класса «D».

ЛИТЕРАТУРА

1. Одинаев Ф.И., Одинаев Ш.Ф., Шафиев Ш.И., Шутова С.В. Электромагнитные излучения и здоровье человека // Вестник ТГУ. – 2015. – Т.20. – Вып.6.
2. Перельмутер В.М. Медико-биологические аспекты взаимодействия электромагнитных волн с организмом. – Томск: Изд-во Томского политех. ун-та, 2009.
3. Влияние электромагнитных полей промышленной частоты на мужскую репродуктивную систему / Кузьмина Л.П., Кисляков А.А., Безрукавникова Л.М., Хотулева А.Г., Варакута А.Л. // Russian Journal of Occupational Health and Industrial Ecology. – 2022. – №6(62).
4. Плеханов Г.Ф. Основные закономерности низкочастотной электромагнитобиологии. – Томск: Изд. Томского ун-та, 1990.
5. Музалевская Н.И. Физиологическое проявление действия магнитного поля малой напряженности в диапазоне сверхнизких частот. – Дисс. ЛГУ, Ленинград, 1978.
6. Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 21.08.2007 г. №60 «Об утверждении ГН 2.1.8/2.2.4.2262-07». ■

Как правило, дейдвудное устройство судна предназначено для передачи крутящего момента от гребного вала к винту и упору корпуса судна, а также для вывода вала наружу через уплотненное выходное отверстие. Его назначение – снижение трения, поглощение вибраций и поддержание стабильного положения гребного вала, что необходимо для эффективной передачи мощности и минимизации износа компонентов. Размеры дейдвудного устройства и общий вид конструкции зависят напрямую от используемого антифрикционного материала. В целом дейдвудное устройство состоит из дейдвудной трубы, дейдвудных подшипников, гребного вала, винта, уплотняющих устройств, систем смазки и охлаждения, а также приспособления для замера просадки гребного вала. Каждый узел устройства регламентирован и принимается с учетом условий эксплуатации и действующих внешних нагрузок. Гребной вал должен вращаться плавно и без лишнего трения. Дейдвудные подшипники поддерживают гребной вал и позволяют ему свободно передавать крутящий момент и частоту вращения на гребной винт, снижая нагрузку на главный двигатель судна соответственно [6, 9, 10].

В настоящее время в отечественном судостроении в качестве антифрикционных материалов используются резина, баббит, текстолит, бакаут, древесно-слоистый пластик. Они могут располагаться в виде цельного вкладыша или отдельных сегментов по диаметру. Следует отметить, что количество всех сегментов должно быть кратным четырем: 8, 12, 16 и т.д.

Имеются конструкции дейдвудных подшипников, которые состоят сразу из двух антифрикционных материалов, что обусловлено не только формой износа (больше изнашивается только нижняя часть подшипника), действием нагрузок, повышением упругих и демпфирующих свойств самого подшипника, но и повышением ремонтпригодности.

Все неметаллические дейдвудные подшипники смазываются забортной водой (морской, речной), которая должна подаваться в само дейдвудное устройство. Забортная вода:

- уменьшает трение при контакте облицовочного гребного вала и антифрикционного материала;
- служит в качестве охлаждающей среды;
- способствует равномерному распределению тепла, образующегося при работе подшипника, по всему подшипнику и предотвращает этим развитие высокой температуры внутри подшипника;
- устраняет абразивные частицы в зоне контакта.

Важно отметить, что абразивные частицы (песок, ил и пр.) могут привести к образованию внешних дефектов не только антифрикционного материала, но и облицовочного покрытия (втулки) гребного вала. Так, на рис. 1 представлены формы дефектов облицовочной втулки гребного вала в виде образования поверхностных раковин, уменьшения толщины (износ) и продольной трещины.



Рис. 1. Дефекты облицовочных втулок

СНИЖЕНИЕ ТЕПЛОАПРЯЖЕННОСТИ ДЕЙДВУДНЫХ ПОДШИПНИКОВ НА ОСНОВЕ ДЕКЛОНА

А.А. Халявкин, канд. техн. наук, доцент, Каспийский институт морского и речного транспорта им. ген.-адм. Ф. М. Апраксина,

А.В. Ивановская, канд. техн. наук, доцент,

В.В. Ениватов, канд. техн. наук, доцент, зав. кафедрой,

А.С. Шаратов, канд. техн. наук, доцент,

Керченский государственный морской технологический университет,

А.И. Мащенко, канд. техн. наук, доцент,

Астраханский государственный технический университет,

opromat112@mail.ru, invkerch@yandex.ru, invkerch@yandex.ru, Andrey_1972_

Ivan@mail.ru

АНТИФРИКЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ ПОДШИПНИКА

С учетом условий работы дейдвудных подшипников в работе рассматривается возможность применения в качестве антифрикционного материала полиамида – 12-блочного деклона. Полиамиды представляют собой гетероцепные полимеры (в основной цепи которых помимо углерода имеются кислород, азот, сера или кремний), содержащие в основной цепи повторяющиеся амидные группы.

Деклон – полимер, синтезируемый из мономеров ω-додекалактама или лауролактама, каждый из которых имеет 12 атомов углерода, поэтому получил такое название – ПА12. Дополнительно может использоваться вода или же кислые катализаторы. Полимеризуется ω-додекалактама хуже, чем другие известные полимерные материалы. Сам процесс полимеризации представляет собой образование высокомолекулярного вещества путем многократного присоединения молекул низкомолекулярного вещества к активным центрам в растущей молекуле полимера.

В табл. 1 представлены численные значения механических параметров как самого полимера деклон, так и других используемых антифрикционных материалов дейдвудных подшипников [2, 3, 5, 6].

Таблица 1

Механические параметры антифрикционных материалов

Характеристика	Материал, марка					
	Деклон	Бакаут	Текстолит	ДСП	Резина	
Плотность, кг/м ³	1013	1200	1300-1400	1300	1100-1400	
Модуль упругости, МПа	2·10 ³	8·10 ³	7·10 ³	3·10 ³	35	
Предел прочности, не менее, МПа:						
	– при сжатии	78	75	150	150	-
	– при растяжении	66	-	100	260	16,5
	– при изгибе	90	-	150	160	-
Теплостойкость, °С	180	65	126	180	70	
Водопоглощение, %	2	15	4,5	20	1,5	
Коэффициент трения при смазке пресной водой	0,004	0,08	0,15	0,11	0,08	

Полимер деклон отлично поглощает ударные нагрузки, имеет малый коэффициент трения и абразивный износ, химически стоек, имеет высокие диэлектрические параметры. Низкое водопоглощение и плотность полимера этого вида обусловлены его относительно длинной углеводородной цепью, что обеспечивает хорошую размерную стабильность при работе в средах с переменным уровнем влажности. Поэтому он хорошо подходит для работы в дейдвудном устройстве при смазке забортной водой.

Данный полимер обладает высокой стойкостью к расклевыванию под нагрузкой и истиранию. Даже находясь

под высокочастотной циклической нагрузкой, полимер имеет высокую усталостную прочность, а это немаловажно, так как могут возникнуть крутильные, поперечные и продольные колебания. Температура плавления деклона одна из самых низких среди всех используемых полиамидов. Но анализ используемых материалов (рис. 2) позволил сделать вывод, что при правильной и своевременной подаче охлаждающей жидкости, дейдвудные втулки или вкладыши из материала деклон хорошо сохраняют все свои рабочие параметры. Все это приводит к снижению теплонапряженности самих дейдвудных подшипников.

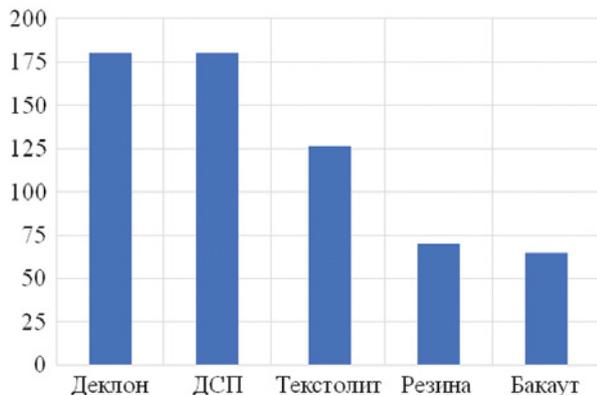


Рис. 2. Температура плавления антифрикционных материалов

Теплостойкость по Мартенсу составляет 45–50 °С, а температура размягчения по Вика – 230 °С.

Изделия из данного материала в 10–12 раз дешевле изделий из бронзы. Деклон подвергается всем основным видам механической обработки на металлорежущих станках (рис. 3), при этом должен применяться инструмент, предназначенный для обработки пластмасс. Допускается обрабатывать деклон инструментами и на режимах, принятых для обработки цветных сплавов. Использование станочных приспособлений позволит исключить возможность деформации втулок или вкладышей от усилий крепления.



Рис. 3. Токарная обработка полимера на токарно-винторезном станке

Проводимые экспериментальные и исследования с деклоном [1, 2] как с антифрикционным материалом подшипника показали следующее:

- момент трения деклона возрастает пропорционально действующей удельной нагрузке;
- с увеличением радиального зазора между валом и подшипником момент трения деклона возрастает;
- при полном насыщении водой момент и коэффициент трения деклона уменьшаются, что свидетельствует о це-

лесообразности использования в качестве материала для дейдвудных подшипников.

Формы сечений исполнений дейдвудных втулок (рис. 4) из деклона, которые охлаждаются и смазываются забортной водой, можно принять на основании ОСТ 5.4183–76 [6]. В соответствии с данным стандартом используемый материал должен соответствовать действующим стандартам на эти материалы. Качество применяемых материалов должно быть подтверждено клеймами, сертификатами. Упакованные подшипники могут транспортироваться любым видом транспорта в условиях, исключающих прямое попадание влаги. Перед обработкой втулки должны подвергнуты внешнему осмотру на отсутствие повреждений, связанных с самой транспортировкой и хранением.

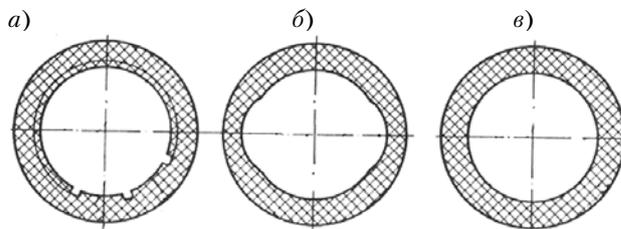


Рис. 4. Сечение втулок дейдвудных подшипников из деклона: а, б, в – исполнения 1, 2, 3

Расчетная удельная нагрузка, которая действует на сам дейдвудный подшипник со стороны гребного вала и гребного винта не должна превышать 0,5 МПа.

В подшипниках, состоящих по длине из нескольких втулок, зазор между торцами втулок в районе их стыка не должен быть больше 0,3 мм; не должно быть фасок на торцах сопрягаемых втулок по внутреннему диаметру; перепад по внутренним диаметрам в районе стыка втулок не должен превышать 0,2 мм.

Общий вид возможного расположения кормовой втулки из полимера деклон в дейдвудной трубе морского судна представлен на рис. 5.



Рис. 5. Возможное расположение втулки из деклона в дейдвудной трубе

Дейдвудные втулки из деклона должны быть застопорены от проворачивания в металлических дейдвудных втулках и должны работать в паре с облицовками гребного вала из бронзы (Бр.010Ц-2, Бр.05Ц5С5) или нержавеющей стали. Гребной вал должен быть проверен на станке, забоины, риски и т. п. должны быть зачищены. При необходимости облицовки должны быть проточены до устранения выявленных рисок, выработок и отполированы. Вышеуказанные дефекты отрицательно сказываются на срок службы на дейдвудную втулку и всего дейдвудного устройства судна при эксплуатации.

СИСТЕМА ОХЛАЖДЕНИЯ И СМАЗКИ

В связи с низкой температурой плавления деклона дейдвудные подшипники при эксплуатации должны постоянно охлаждаться и смазываться забортной водой. Высокая температура размягчает антифрикционный материал, ускоряет его износ и может привести к заклиниванию или полному разрушению дейдвудного подшипника (см. рис. 2). Перегрев может вызвать деформацию дейдвудного подшипника и гребного вала, что нарушит работу всей энергетической установки.

На основании РТМ 31.5034–78 [6] система смазки и охлаждения дейдвудных подшипников должна быть оборудована фильтрами, указателем потока воды с вертушкой или лестком, контрольно-измерительными приборами, световой и звуковой сигнализацией, которые указывали бы минимальный поток жидкости. В системе должна быть предусмотрена возможность использования резервного средства охлаждения. Для судов со знаком автоматизации в символе класса рекомендуется предусмотреть сигнализацию по уменьшению потока охлаждающей воды.

Для смазки и охлаждения подшипников с антифрикционным материалом из деклона следует использовать забортную воду. Подвод воды должен осуществляться перед носовым подшипником. В соответствии с РТМ 31.5034–8 [6] количество воды, необходимое для смазки и охлаждения, должно соответствовать величинам, приведенным в табл. 2, при этом насос охлаждения должен обеспечить на входе в дейдвуд давление, превышающее на 0,05 МПа противодавление при положении судна в полном грузу.

Таблица 2

Количество смазывающей и охлаждающей жидкости

Диаметр облицовки (шейки) вала, мм	Количество воды, м ³ /ч, не менее
250–300 вкл.	3,0
300–400 вкл.	5,0
400–500 вкл.	8,0
500–600 вкл.	10,0
600–700 вкл.	12,0
700–780 вкл.	14,0

Следует отметить, что недостаточное количество смазочного и охлаждающего материала неизбежно приводит к преждевременному износу подшипника (дейдвудного устройства) и сокращению срока его службы.

Допускается обработка деклона инструментами и на режимах, принятых для обработки цветных сплавов. Перед обработкой заготовки в виде полых или цельных втулок необходимо подвергнуть внешнему осмотру на отсутствие повреждений, связанных с транспортировкой и хранением.

Одним из параметров, влияющим на величину износа подшипников, является коэффициент трения, который зависит [3, 7, 8, 11]:

- от линейных скоростей скольжения (качения) в зоне трения, м/с;
- от нагрузки на подшипник, кН;
- от температур смазочно-охлаждающей среды, °С;
- от количества взвешенных абразивных частиц в смазочно-охлаждающей среде;
- от шероховатости рабочей поверхности шейки вала (облицовки);
- от неравномерности распределения нагрузки по длине подшипника, что имеет место при изгибе гребного вала от консольной подвески движителя.

В работе [7] представлены выражения для определения величины зазора между валом и дейдвудным подшипником для деклона:

$$\psi_d = 7,6 \cdot 10^{-9} (2,75 + \lambda^2)^{5,62} p^{5,62} v^{2,61} \omega_k^{0,180}, \quad (1)$$

где $\psi_k = (d_{\text{п}} - d_{\text{в}})/d_{\text{п}} = 0,005...0,015$ – относительный зазор в сопряжении «вал–подшипник» ($d_{\text{п}}$, $d_{\text{в}}$ – диаметр подшипника и вала, соответственно); $\lambda = L/d_{\text{п}} = 1,0...2,5$ – соотношение длины L и диаметра подшипника $d_{\text{п}}$; $p = 0,25...2,5$ – критическая удельная нагрузка на подшипник, МПа; $v = 1,1...6,3$ – окружная скорость поверхности облицовки вала, м/с; $\omega_k = 0,2...7,4$ – водонасыщенность, %.

Из уравнения видно, что увеличение значений λ , p , v , ω_k приводит к возрастанию минимально допустимого зазора в дейдвудном подшипнике судна. При этом наибольшее влияние оказывает λ (геометрические параметры), наименьшее – водонасыщенность ω_k .

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В условиях постоянно растущих требований к дейдвудным подшипникам – к их эффективности, надежности и экологичности – антифрикционные материалы из полимера эффективно гасят вибрацию и снижают уровень шума при вращении гребного вала валопровода, что повышает надежность всей судовой энергетической установки. Смазываются и охлаждаются забортной водой, что упрощает обслуживание и снижает эксплуатационные расходы. Полиамид деклон найдет свое широкое применение, так как обладает низкими коэффициентами трения и влагопоглощением (до 2%). Заданные ограничения по нагрузкам и температуре деклона можно обеспечить благодаря конструктивному исполнению и условиям эксплуатации дейдвудных подшипников валопроводов морских и речных судов.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Естегнеев В.И., Седых В.И.* Исследование антифрикционных свойств полиамида блочной полимеризации – деклон. – В сб.: Исследования по эффективности и качеству судоремонта. – Владивосток: Изд. ДВВИМУ им. адм. Г.И. Невельского, 1979, с. 99–110.
2. *Зув Ю.Н., Туцын Л.В.* Перспективы применения в судовом машиностроении нового полиамида – деклона // Технология судостроения. – 1982. – № 7. – С. 44–45.
3. *Михайлова М.А.* Анализ изнашивания дейдвудных подшипников в зависимости физико-механических характеристик материала вкладышей и условий эксплуатации судна // Вестник АГТУ. – 2005. – № 2 (25). – С. 135–140.
4. *Нугичек Ф.* Подшипники скольжения из пластмасс. – М.: Машгиз, 1960. – 72 с.
5. *Платонов В.Ф.* Подшипники из полиамидов. – М.: Машгиз, 1961. – 108 с.
6. *Рубин М.Б., Бахарева В.Е.* Подшипники в судовой технике: Справ. – Л.: Судостроение, 1987. – 344 с.
7. *Седых В.И., Естегнеев В.И., Полоротов С.П.* Обоснование эксплуатационных зазоров в полиамидных дейдвудных подшипника // Судоремонт флота рыбной промышленности. – 1985. – №59. – С. 24–25.
8. *Филиппов М.В., Шешуков О.Ю.* Трение и антифрикционные материалы: учеб. пособие / М-во науки и высш. образования РФ. – Екатеринбург: Изд-во урал. ун-та, 2021. – 204 с.
9. Способ повышения надежности дейдвудных подшипников валопроводов судов / *Халаякин А.А., Мамонтов В.А., Бондаренко В.В. и др.* // Вестник Астраханского ГТУ. – Сер.: Морская техника и технология. – 2022. – №1. – С. 42–49.
10. Разработка дейдвудного подшипника с эллиптическими вкладышами / *Халаякин А.А., Лошадкин Д.В., Старкова М.В., Безруков Н.П., Яковлев Ю.Ю.* // Морской вестник. – 2024. – № 1 (89). – С. 38–40.
11. Дейдвудные подшипники судовых валопроводов: монография / *Халаякин А.А., Мамонтов В.А., Саламех Али и др.* – Астрахань: Изд. Сорокин Роман Васильевич, 2024. – 124 с. ■

В современной термодинамике точное описание поведения реальных газов является ключевой задачей. Уравнение ван дер Ваальса, несмотря на широкое применение, имеет ограничения, поскольку не всегда точно отражает реальные процессы. В настоящей работе выполнены экспериментальные исследования, в ходе которых удалось выяснить, что уравнение Ван-дер-Ваальса не позволяет получить удовлетворительное совпадение расчетных и экспериментальных данных.

Уравнение состояния Ван-дер-Ваальса имеет вид

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

Работа [1] предлагает усовершенствованную модель, где в уравнение состояния введены два коэффициента пропорциональности, что позволяет более точно описать поведение реального газа (РГ) и получить уравнения для всех основных термодинамических процессов: адиабатного, изохорного, изобарного, изотермического и политропного. Однако теоретические выкладки требуют экспериментального подтверждения. Настоящая статья посвящена анализу экспериментального исследования изохорного процесса, выполненного на кафедре теплофизических основ судовой энергетики с целью проверки предложенной модели.

Предложенное уравнение состояния РГ имеет следующий вид:

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

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

Для определения коэффициента пропорциональности μ^* авторами была предложена формула

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

где $n = 0,67$ для воздуха, $sign \Delta P$ означает, что в случае отрицательного значения ΔP в скобке $\left(1 - \frac{T_{кр}}{T_i} \right)$ и положительного $-\left(1 - \frac{T_{кр}}{T_i} \right)$; $J_{кр}$ – безразмерный критический параметр (критический коэффициент), равный

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

Для исследования предложенной модели РГ было необходимым проверить соответствия расчетных данных экспериментальным.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗОХОРНОГО ПРОЦЕССА РЕАЛЬНОГО ГАЗА

Д. О. Глазырина, канд. техн. наук, доцент,

С. А. Паилцев, ст. преподаватель,

Е. Н. Алексин, канд. техн. наук, доцент,

А. П. Сеньков, д-р техн. наук, проф.,
СПбГМТУ,

контакт. тел. + 7 (911) 785 3828,

d_glazyrina@bk.ru, sergei_p1981@mail.ru,

aleksinevg@yandex.ru, senkov@smtu.ru

Изохорный процесс, характеризующийся постоянным объемом, представляет собой удобную модель для исследования влияния температуры на давление газа. На практике он наблюдается в различных системах, от двигателей внутреннего сгорания и газотурбинных установок с изохорным подводом тепла до пульсирующих воздушно-реактивных двигателей (ПувРД), где быстрое нагревание ограниченного объема воздуха играет решающую роль:

$$v = \text{const}; \quad \frac{P}{T} = \text{const}.$$

На кафедре теплофизических основ судовой энергетики была изготовлена экспериментальная установка (рис. 1), которая позволяет исследовать изохорный процесс реального газа.

Опыт проводился с воздухом, заполняющим герметичный сосуд 1, который выполнен в виде цилиндра и соединен с манометром 2. В центральной части сосуда установлен нагревательный элемент 3. Для измерения температуры воздуха в цилиндре размещена термопара хромель–алюмель 4, которая выведена к прибору 5 (термомат 13 КС фиксирует температуру воздуха внутри сосуда).

Таблица

Расхождение экспериментальных и расчетных данных в конце процесса при избыточном давлении $P = 2$ бара

Исследуемая модель	Расхождение, %
Уравнения:	
- для реального газа с двумя коэффициентами	1,55
- для идеального газа	30,7
- Ван-дер-Ваальса	30,4

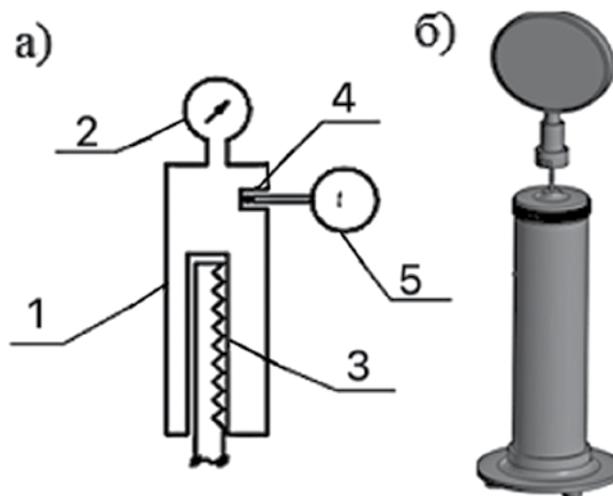


Рис. 1. Принципиальная схема (а) и 3D модель (б) экспериментальной установки изохорного процесса

1 – герметичный сосуд, 2 – манометр, 3 – нагревательный элемент, 4 – термопара, 5 – термомат

Была проведена серия опытов с выходом на каждое фиксируемое давление не менее 10 раз, в ходе которых исследовалась зависимость давления от температуры в изохорном процессе. Доверительная вероятность принята равной 0,95. Выполнена обработка результатов эксперимента с построением доверительного интервала.

Расчет изохорного процесса проводился по трем моделям – уравнениям для идеального газа, Ван-дер-Ваальса и для улучшенной модели РГ с двумя коэффициентами пропорциональности. Расхождение расчетов с экспериментальными данными представлены в таблице. Результаты расчетов и опытные данные приведены на рис. 2.

- для РГ с двумя коэффициентами пропорциональности;
- по уравнению Ван-дер-Ваальса;
- для идеального газа;
- доверительный интервал;
- эксперимент.

В ходе эксперимента было установлено, что при избыточном давлении в 2 бара температура воздуха ≈ 623 К.

Расчетные значения температуры получились следующими: по уравнению для РГ с двумя коэффициентами пропорциональности 625 К; уравнению для идеального газа 898 К; уравнению Ван-дер-Ваальса 896 К.

Сравнение результатов, полученных по этим трем моделям, позволило оценить точность предложенного в работе [1] уравнения состояния и определить область его применения. Анализ отклонений экспериментальных данных от теоретических расчетов по каждой из моделей позволил сделать количественные выводы о точности и применимости каждой модели в заданных условиях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Расчетные значения температуры, выполненные по уравнению для

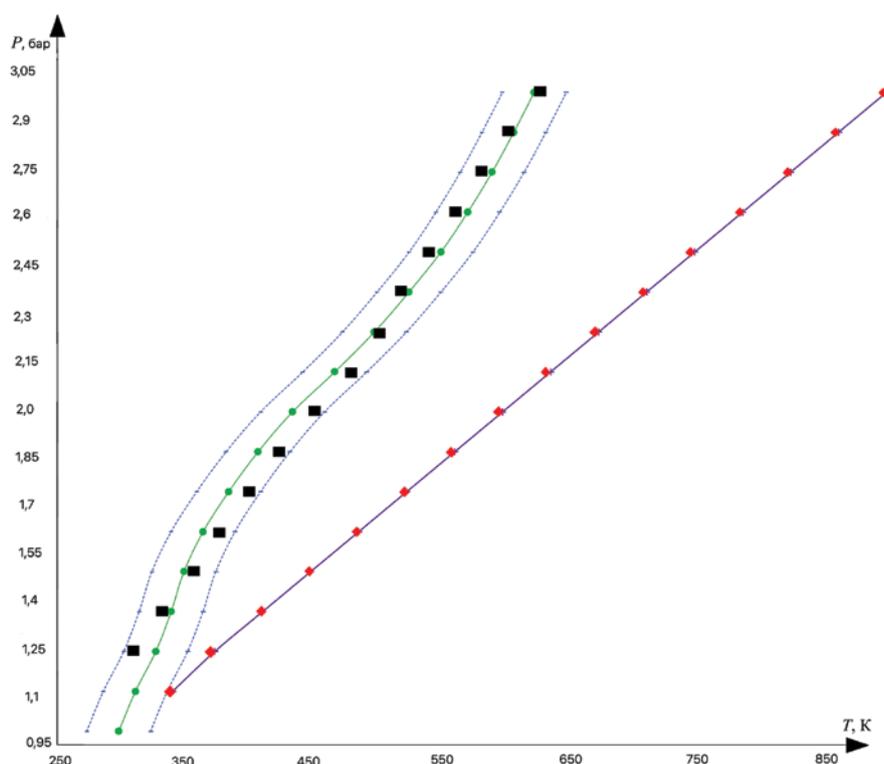


Рис. 2. График изохорного процесса воздуха

- – реального газа с двумя коэффициентами пропорциональности;
- ◆ – Ван-дер-Ваальса;
- ↔ – идеального газа;
- ⋯ – доверительный интервал;
- – эксперимент.

реального газа с двумя коэффициентами пропорциональности, удовлетворительно согласуются с экспериментально полученными.

2. Расчетные значения температуры, полученные по уравнениям для идеального газа и Ван-дер-Ваальса, неудовлетворительно согласуются с экспериментом.

3. Реальная зависимость давления от температуры не представляет собой прямую, которую описывает уравнение для идеального газа.

4. Эксперимент показал, что при увеличении температуры и давления расхождение экспериментальных и расчетных значений, полученных

по моделям идеального газа и ван дер Ваальса, увеличивается.

ЛИТЕРАТУРА

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

Скоростные катера и малотоннажные суда находят самое широкое применение в военно-морских силах, береговой охране, правоохранительных органах и гражданских структурах по всему миру. Не является исключением использование скоростных катеров и судов силовыми структурами Российской Федерации, такими как МВД, Минобороны (ВМФ), МЧС, Росгвардия, ФСБ и ФСО.

В мире накоплен значительный опыт проектирования и строительства судов глиссирующего типа, имеющих высокую скорость, маневренность, модульность и современное оснащение. Ключевыми странами – производителями скоростных катеров являются США, Швеция, Финляндия, Франция, Германия, Израиль и др. США – лидер по масштабу и разнообразию катерного флота.

Ключевые компании по разработке и производству скоростных катеров:

- *SAFE Boats International* (США) – производитель патрульных и спасательных катеров для береговой охраны США и других стран;
- *Metal Shark Boats* (США) – разработчик катеров для ВМС США, полиции и частных клиентов;
- *US Navy / SOCOM* (спецподразделения) используют *Combatant Craft Medium (ССМ Mk1)* – высокоскоростные боевые катера с броней и стелс-элементами.
- *Dockstavarvet AB* (Швеция) – разработчик широко известного высокоманевренного десантного катера *CB90*, используемого не только в Швеции, но и в Норвегии, Мексике и США.
- *Marine Alutech* (Финляндия) – разработчик серии скоростных патрульных и десантных катеров типа *Watercat*;
- *Constructions Mécaniques de Normandie*, или *CMN* (Франция) – строитель патрульных катеров типа *Combattante FS*, *FPB 98*, *Interceptor* и др.
- АО «ЦМКБ «Алмаз» – ведущий российский проектант скоростных катеров также не остается в стороне от этого процесса. У конструкторского бюро «Алмаза» есть ряд совершенных разработок, таких как катера проектов 12150 «Мангуст», 12260 «Ястреб», 12200 «Соболь», 21770 «Катран» и 21990 «Стриж».

Помимо АО «ЦМКБ «Алмаз» скоростные катера в России проектирует ряд других конструкторских бюро и судостроительных предприятий, которые адаптируют требуемые скоростные катера под требования ВМФ, ФСБ, МЧС и других ведомств.

ОБОСНОВАНИЕ СПОСОБОВ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ ПРОПУЛЬСИВНЫХ КОМПЛЕКСОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В СОСТАВЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК СКОРОСТНЫХ КАТЕРОВ И СУДОВ

К.А. Ефремов, канд. техн. наук,
преподаватель ВУНЦ ВМФ ВМА им. Н.Г. Кузнецова,
В.С. Домнин, начальник сектора,
А.В. Довличарова, вед. инженер-конструктор,
АО «ЦМКБ «Алмаз»,
контакт. тел. (812) 373 2899, office@almaz-kb.ru

Так, в частности, Ленинградский судостроительный завод «Пелла» и КБ «Пелла» (г. Отрадное) разработали и строят скоростные патрульные катера пр. 03160 «Раптор» (на основе шведского прототипа или по лицензии), уже имеющиеся на вооружении ВМФ России. Эти катера отличаются высокой маневренностью, бронезащитой и универсальностью.

АО «ЦКБ по СПК им. Р.Е. Алексеева» (г. Нижний Новгород) исторически специализируется на судах на подводных крыльях (СПК). Бюро разрабатывает и выпускает скоростные пассажирские и патрульные катера, при этом активно внедряет инновационные решения в конструкцию корпусов и движительных установок.

Evolution Motors (г. Санкт-Петербург) – молодое частное предприятие, создающее современные скоростные катера из композитных материалов. Известны модели *Sirius 25 / Sirius 25JET*, предназначенные для спорта, патрулирования и спасения на воде. Предприятием внедряются современные системы управления, легкие и прочные материалы.

«Мобиле Групп» (г. Санкт-Петербург) проектирует и строит скоростные катера специального назначения и спортивные модели. Некоторые катера развивают скорость до 130 км/ч. Используются как частными заказчиками, так и силовыми структурами.

Однако, невзирая на значительные успехи в области проектирования и постройки отечественных скоростных катеров глиссирующего типа, следует отметить, что в настоящее время в России отсутствует такой кластер машиностроения, как производство пропульсивных комплексов для использования в составе энергетических установок скоростных ка-

теров в мощностном диапазоне от 110 до 2000 кВт.

Анализ состава энергетического оборудования скоростных катеров, создаваемых для силовых структур России, выявил устойчивую закономерность, заключающуюся в том, что все катера водоизмещением от 5 до 100 т и более оснащены исключительно зарубежным оборудованием (см. таблицу). Основной причиной, побудившей отечественных конструкторов массово использовать на проектируемых катерах и судах оборудование зарубежных производителей, является отсутствие отечественных аналогов, по уровню технико-экономических характеристик сопоставимых с зарубежными аналогами.

Опыт использования АО «ЦМКБ «Алмаз» отечественных двигателей М470 и М473 производства ПАО «Звезда», имел печальные последствия – возникновение аварий на 12 двигателях на катерах пр. 12150 «Мангуст» из 14 поставленных [1].

Учитывая, что в состав пропульсивных комплексов скоростных катеров входят легкие высокооборотные дизельные двигатели, редукторные передачи и водометные движители или частично погруженные винты (так называемые приводы Арнесона), то после присоединения Крыма к РФ в 2014 г. и начала СВО в 2022 г. эксплуатация отечественных скоростных катеров и судов существенно затруднена из-за прекращения поставок ЗИП, масел и смазок иностранными производителями, а проектирование и создание новых катеров оказалось практически невозможным. Для формируемых в настоящее время Днепровской и Каспийской флотилий из катеров и малоразмерных судов конструкторские бюро-проектанты и судостроители неизбежно сталкиваются с остро сто-

Таблица
Состав энергетических установок скоростных катеров, построенных по проектам АО «ЦМКБ «Алмаз»

№ и шифр проекта/серия	Марка ГД/мощность, кВт	Марка редуктора	Тип движителя
12150 «Мангуст» / 76	2×ДРА М470 «Звезда»		Водометный движитель Rolls-Royce Kamewa A45 Kamewa FF500 Kamewa 40A3
	MTU 10V2000M93/ 2×1140	ZF2050	
	MAN V12-1550/ 2×1140 кВт	ZF2050	Привод ЧПГВ Arneson ASD14
12200 «Соболь» / 23	MTU 12V2000M93/ 2×1340	ZF3050	Привод ЧПГВ Arneson ASD15
	MAN V12-1800/ 2×1324	Twin Disc MGX6620SC	Привод ЧПГВ Arneson ASD15
12260 «Ястреб» / 16	Volvo Penta TAMD72WJ/ 2×331	– (муфта centastart)	Водометный движитель Rolls-Royce Kamewa FF310S
	Caterpillar C9ACERT/2×423	ZF325-1	Водометный движитель Rolls-Royce Kamewa FF340
	Seatec 620Plus	(редуктор встроен в водомет)	Водометный движитель Castoldi TD340HC
21770 «Катран» / 6	Yanmar 6LPA-STP/ 2×232	ZF63 ZF68	Водометный движитель Hamilton Jet HJ292
21990 «Стриж» / 1	MAN V8-900 CRM/2×662	ZF 350	Водометный движитель Rolls-Royce Kamewa FF410S

ящей проблемой комплектования их силовым оборудованием.

Все это свидетельствует об актуальности получения технологической независимости России при освоении производства линейки пропульсивных комплексов для использования в составе скоростных катеров и судов, или решения проблемы их импортозамещения. Важность рассматриваемой проблематики подчеркивают Постановление Правительства РФ от 1 августа 2020 г. № 1152 и приказ Минпромторга России от 11 ноября 2022 г. № 4461 «О выработке предложений по выбору направлений обеспечения технологической независимости Российской Федерации от использования иностранной судовой энергетической установки для создания маломерных судов».

Поэтому, прежде чем приступать к обоснованию способов импортозамещения, изначально необходимо расчетным путем определить конечный результат, т.е. какими характеристиками будут обладать эти пропульсивные комплексы, как это отразится на ТТХ скоростных катеров, а главное – какие ресурсы необходимо затратить на опытно-конструкторские работы по импортозамещению с учетом их крайней ограниченности. Другими словами, требуется разработка рас-

четной математической модели, в которой путем моделирования наперед задаваемых свойств объекта, т.е. технико-экономических характеристик пропульсивных комплексов, синтезировать (т.е. воссоздать) их образ, а также подтвердить, насколько эти двигатели будут соответствовать своему целевому назначению с позиций технико-экономической эффективности.

Одним из важнейших элементов при обосновании способов импор-

тозамещения является определение промышленного кластера, где такие задачи могут быть решены в принципе. Такой кластер, в частности, должен иметь, во-первых, конструкторскую, производственную и испытательную базу, а, во-вторых, значительный задел по разработке, созданию и освоению серийного производства аналогичной продукции промышленного назначения, такой как, например, легкие высокооборотные двигатели гражданского или военного назначения.

Следует иметь также в виду, что разработка «с нуля» или даже реинжиниринг (или реверс-инжиниринг, т.е. процесс изучения готового изделия иностранного производителя, как, например, двигателя MTU12V2000M93 (Германия), его 3D-сканирование, анализ материалов и принципов работы для создания полной 3D-модели и конструкторской документации с целью получения аналога или улучшенной версии образца) будут сопряжены со значительными затратами, которые не могут позволить себе ни машиностроительные предприятия, ни даже государство, учитывая малую серийность изделий для нужд силовых структур.

В качестве примера можно привести импортозамещение на ПАО «ОДК-Сатурн» газотурбинных двигателей М75ФУ, М70ФРУ, М70ФРУ-Р, М70ФРУ-2 и М90ФР. Затраты на опытно-конструкторские работы при этом были значительными, но в связи с низкой востребованностью ВМФ налажено только единичное производство, о серийном рассуждать не приходится, в результате цена штучных изделий, производимых для флота, приближается и даже превышает миллиард рублей, в зависимости от марки изделия.

Агрегатная мощность, кВт

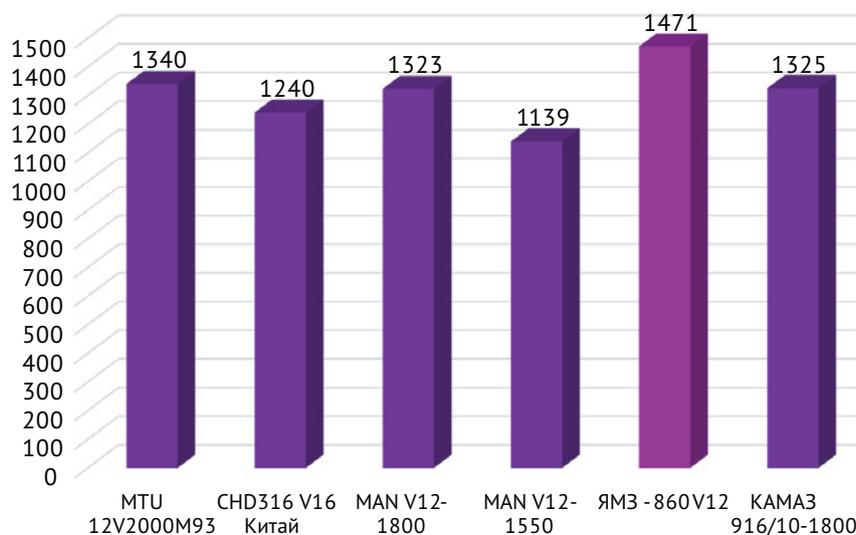


Рис. 1. Соотношение агрегатной мощности двигателя ЯМЗ-860 V12 с аналогичными двигателями основных производителей

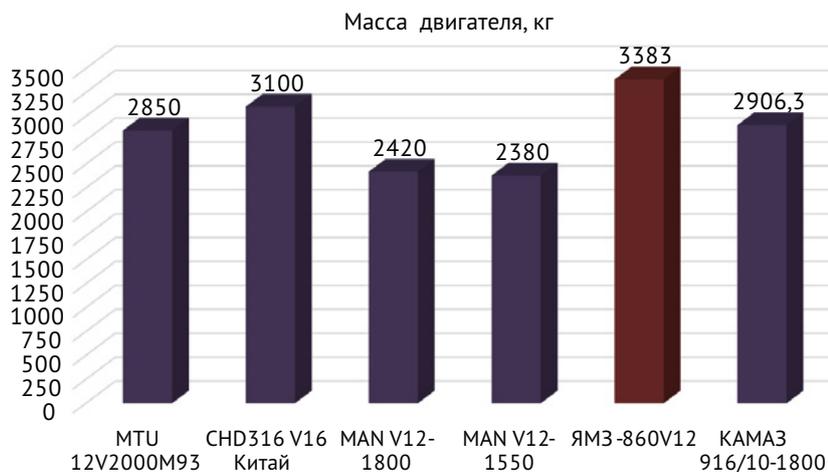


Рис. 2. Соотношение массы двигателя ЯМЗ-860 V12 с аналогичными двигателями основных производителей

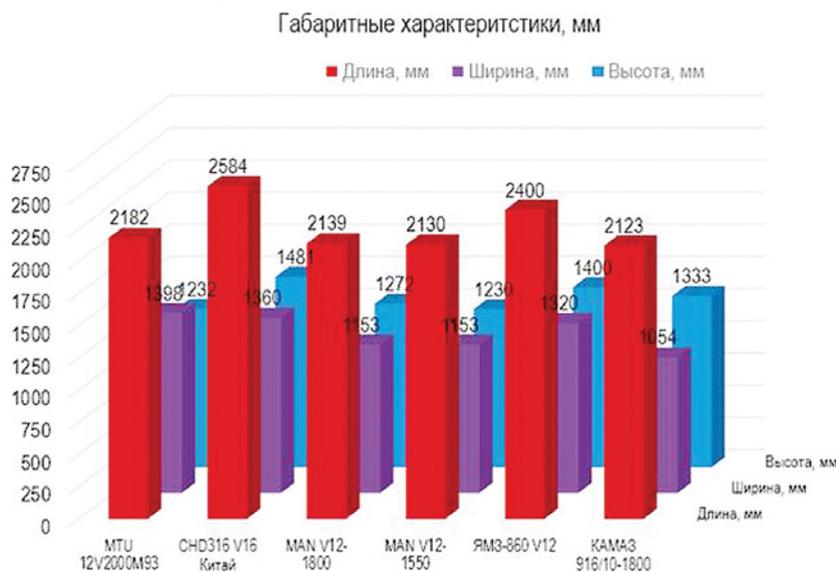


Рис. 3. Соотношение габаритных характеристик двигателя ЯМЗ-860 V12 с аналогичными двигателями основных производителей

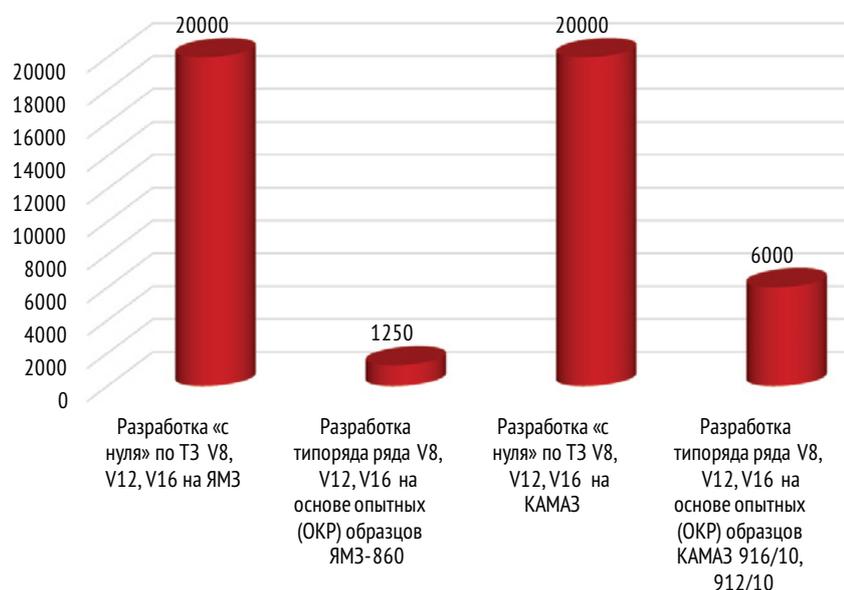


Рис. 4. Соотношение затрат на реализацию программы импортозамещения легких высокооборотных дизельных двигателей

Поэтому, рассуждая о решении остро назревших проблем импортозамещения пропульсивных комплексов для использования в составе скоростных катеров силовых структур, одним из наиболее предпочтительных способов следует признать двойное назначение разрабатываемых изделий, которое позволит наладить их серийное (массовое) производство, что в конечном итоге позитивно отразится на стоимости серийного образца.

Импортозамещающая, например, легкие высокооборотные дизельные двигатели морского исполнения, по аналогии с MTU12V2000M93, однозначно следует ориентироваться на то, что они получат массовое распространение в автомобильной промышленности гражданского или даже военного сектора и по своей конструкции (цилиндро-поршневая группа, коленчатые валы, турбокомпрессоры, форсунки и др.) будут незначительно отличаться от двигателей промышленного исполнения. Это позволит наладить их совместный выпуск большими сериями.

На рис. 1 – 4 в качестве примера показано соотношение расчетных характеристик двигателя ПАО «Автодизель» (ЯМЗ) ЯМЗ-860 V12 на стадии опытно-конструкторской разработки при решении проблемы импортозамещения двигателей морского исполнения серии MTU12V2000M93 в сравнении с мировыми аналогами.

Из анализа представленных характеристик следует, что основные показатели технико-экономической эффективности двигателя, такие как агрегатная мощность и масса двигателя, а также габаритные характеристики находятся на уровне лучших мировых аналогов: MTU 12V2000M93 (Германия), MAN V12-1800 (Германия), CHD316 V16 (Китай).

Из анализа стоимости ОКР (см. рис. 4) различных вариантов импортозамещения легких высокооборотных дизельных двигателей следует, что вариант ЯМЗ-860 V12 на основе двигателей ЯМЗ-860 наиболее предпочтителен по сравнению с остальными вариантами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Голубев К.Г., Барановский В.В., Довличирова А.В., Домнин В.С. Решение проблемы импортозамещения пропульсивных комплексов быстроходных судов – важнейшая задача отечественного судостроения на краткосрочную перспективу. – 2025. – № 2(94). – С. 11–13. ■

Электрохимическая струйная обработка объединяет группу технологий, основанных на локальном воздействии электролитных струй для изменения заготовки на заданных участках. Это достигается без термического или механического изменения основного материала, что создает уникальный класс производственных методов. Струйные технологии применяются для избирательного удаления и нанесения материала, например, для создания микролунок и канавок, обработки больших поверхностей и избирательного покрытия материалов металлическим слоем за счет различных аддитивных механизмов.

Отдельный интерес для производства электроники представляет технология струйной металлизации, благодаря ряду возможностей:

- нанесение металлических дорожек точно в нужных местах, исключая необходимость в маскировании, фоторезистах и многослойной литографии. Это особенно актуально для прототипирования, мелкосерийного производства;
- металлизация гибких печатных плат или поверхностей со сложной топологией, где традиционные методы малоэффективны;
- замена нескольких этапов традиционного производства (нанесение резиста, экспонирование, проявление, травление и т.д.) одним процессом, управляемым цифровыми средствами.

Возможность объединения широкого спектра методов локальной обработки поверхности в одной платформе открывает уникальные перспективы для

ПРИНЦИПЫ И ПРИМЕНЕНИЕ СТРУЙНОЙ МЕТАЛЛИЗАЦИИ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРОНИКИ

Ф.А. Баракровский, ст. преподаватель,

С.В. Ванцов, канд. техн. наук, доцент,

Е.А. Лийн, ассистент,

А.В. Назаров, д-р техн. наук, проф.,

Московский авиационный институт

(Национальный исследовательский университет),

контакт. тел. (499) 158 4648

создания нестандартных геометрий металлизации.

На основе собранных результатов из базы данных Google Scholar видно, что с 2005 по 2025 г. количество исследований на тему технологии струйной металлизации увеличивается. Это подчеркивает актуальность исследования технологии струйной металлизации в сфере производства электроники (рис. 1).

Однако известно только три исследования не позднее 2001 г. применения процесса струйного электроосаждения непосредственно при производстве печатных плат и узлов [1–3]. Принципы технологии, примеры ее применения, а также преимущества и недостатки нуждаются в систематизации.

ПРИНЦИПЫ СТРУЙНОГО ЭЛЕКТРООСАЖДЕНИЯ МЕТАЛЛОВ

Струйные процессы электроосаждения подчиняются тем же электрохимическим принципам, что и классическое электроосаждение. При подаче внешнего напряжения между соплом и деталью происходит катодная реакция – восстановление металла из раствора электролита на металлируемой детали:

$$\frac{m}{t} = \frac{IM}{FZ}, \quad (1)$$

где m – массоперенос за счет осаждения, I – электрический ток, протекающий через струю, t – время осаждения, M – молярная масса осаждаемого вещества, F – постоянная Фарадея (96 485 Кл·моль⁻¹), Z – число валентностей ионов, которые осаждаются.

При включении электрического тока между анодом и катодом происходит скачок потенциала, называемый диффузионной поляризацией. Этот эффект вызван замедленным подводом разряжающихся на электроде частиц металла из электролита [4] и приводит к возникновению диффузионного слоя и ограничению восстановления меди на металлизированной детали (рис. 2).

При возникновении такого эффекта плотность тока на катоде определяется выражением

$$i_k = \frac{ZFD(C_0 - C)}{\delta}, \quad (2)$$

где i_k – плотность тока, δ – толщина возникшего диффузионного слоя, D – коэффициент молекулярной диффузии, F – постоянная Фарадея (96 485 Кл·моль⁻¹), Z – число валентностей ионов, которые осаждаются, $(C_0 - C)$ – концентрации ио-

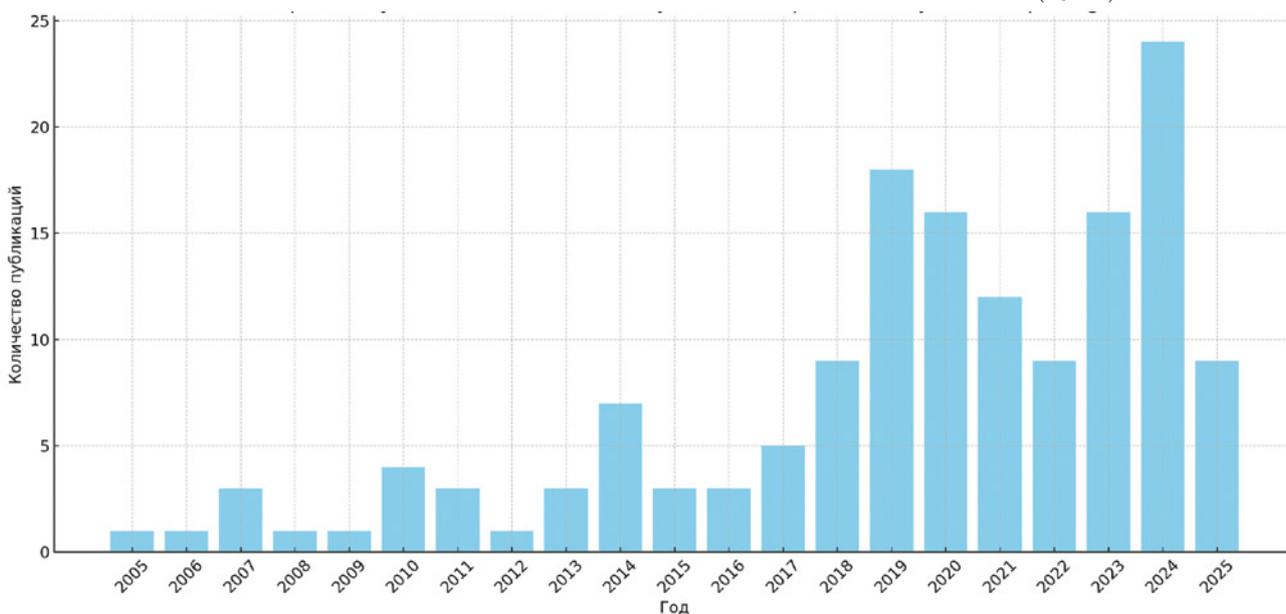


Рис. 1. Данные из Google Scholar с 2005 по май 2025 г., собранные по ключевым словам «jet electrodeposition» и «jet electroplating»

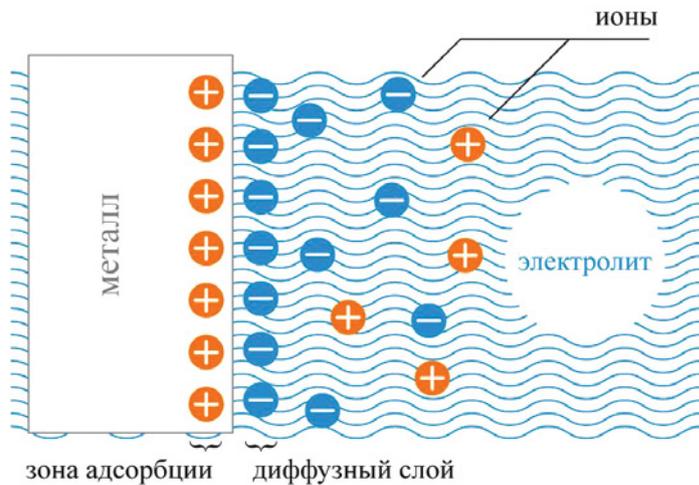


Рис. 2. Появление диффузионного слоя при электрохимической металлизации

нов металла в общем объеме и вблизи поверхности электрода.

При увеличении тока концентрация C у поверхности электрода уменьшается и в пределе становится пренебрежительно малой величиной. Таким образом,

$$i_{пр} = \frac{ZFDC_0}{\delta}, \quad (3)$$

где $i_{пр}$ – предельная плотность тока.

Из выражения (3) видно, что предельная плотность тока обратно пропорциональна толщине диффузионного слоя и при $\delta \rightarrow 0$ может расти неограниченно.

Если в стационарных гальванических ваннах величина $i_{пр}$ ограничена диффузионными процессами, то в струйном электроосаждении толщина диффузионного слоя уменьшается с ростом скорости потока электролита. Так, например, установлено, что повышение скорости потока с $Re = 500$

до $Re = 1000$ уменьшает толщину диффузионного слоя с 1 мм до 0,1 мм [1]. В экспериментальных исследованиях достигалась рабочая плотность тока в 200–2000 А/дм², когда как для стационарных гальванических ванн характерна плотность тока 3–4 А/дм².

Также реальная эффективность осаждения зависит от наличия побочных реакций (например, выделения водорода), особенно при высоких плотностях тока. В гидродинамическом режиме, характерном для струйной металлизации, токовая эффективность может быть высокой благодаря локализации процесса и быстрой эвакуации продуктов реакции из зоны струи [5].

Сочетание принципов электрохимии с гидродинамикой струйного потока делают технологию струйной металлизации гибким инструментом для создания покрытий со сложной геометрией и микроструктур.

ТЕХНОЛОГИЯ СТРУЙНОЙ МЕТАЛЛИЗАЦИИ И НЕОБХОДИМОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Струйная металлизация позволяет осуществлять локальное осаждение металла с высокой разрешающей способностью, вплоть до микро- и субмиллиметровых масштабов. Посредством перемещения сопла можно металлизировать заданные траектории на поверхности детали, нанося металлическое покрытие только в определенных зонах. В отличие от традиционного гальванического покрытия, которое накладывается на всю погруженную деталь, струйная технология позволяет масштабировать область осаждения до диаметра струи.

Типовая система для струйного электроосаждения включает в себя следующие компоненты (рис. 3):

- насос, обеспечивающий циркуляцию электролита;
- сопло, через которое формируется направленный поток;
- фильтр (опционально);
- система дистанционного управления соплом (опционально);
- блок питания;
- анод (часто располагается внутри сопла);
- катод (обрабатываемая поверхность);
- система сбора и возврата электролита.

Электролит подается под давлением к соплу, где формирует струю, направленную на участок поверхности. В зоне контакта с деталью происходит электроосаждение металла. Все элементы должны быть химически стойкими и электрически изолированными, за исключением

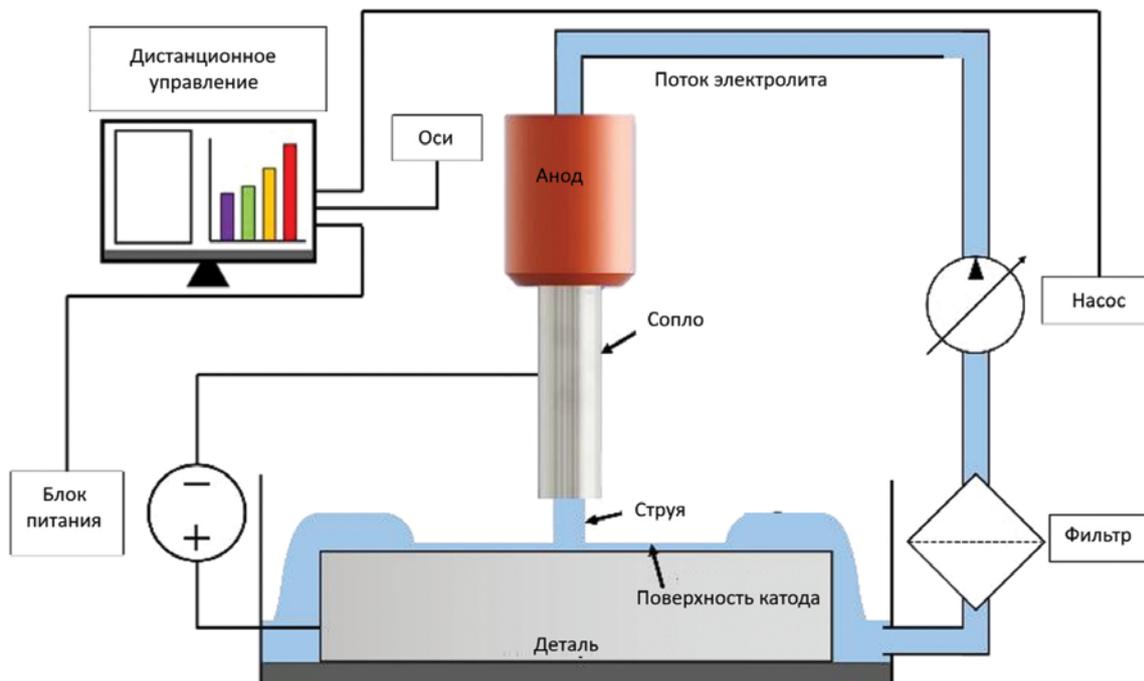


Рис. 3. Типовая система струйной металлизации [6]

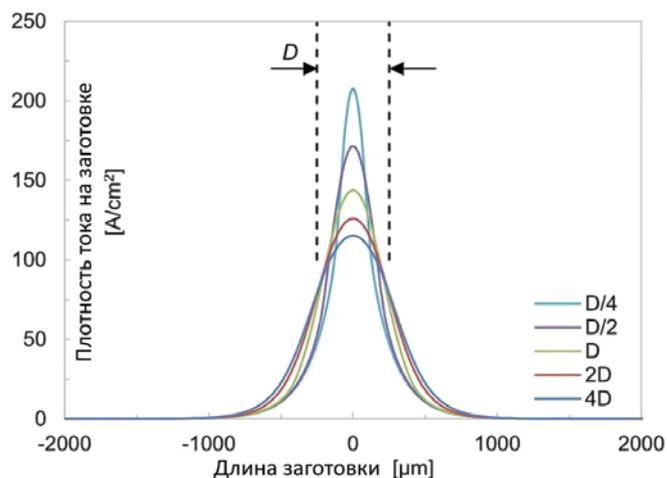


Рис. 4. Распределение тока на заготовке при разном диаметре сопла D [8]

рабочих поверхностей, во избежание побочной металлизации.

Геометрия сопла напрямую влияет на форму, размер и интенсивность зоны осаждения. Сопла круглого сечения диаметром от 100 микрометров до нескольких миллиметров являются наиболее распространенными. Поток электролита, выходящий из сопла, формирует так называемую пристенную радиальную струю, которая обеспечивает локализованный ток и интенсивный массообмен (рис. 4). Расстояние между соплом и катодной поверхностью определяет распределение плотности тока и вместе с ней форму осадка. Геометрически оптимизированные сопла позволяют добиться узкого пятна осаждения и минимизировать паразитные отложения за пределами зоны обработки [7].

Для получения требуемого качества осажденного металла в практическом электроосаждении почти всегда используют специальные химические добавки к электролиту. Струйные процессы – не исключение: добавление органических веществ (поверхностно-активных, соединений серы, углерода и др.) позволяет контролировать структуру и морфологию осажденного металла.

Различают два связанных эффекта добавок: выравнивание покрытия и модификация кристаллизации. Выравнивание достигается за счет того, что добавки выборочно адсорбируются на выступающих микронеровностях поверхности и подавляют там восстановление металла [9]. При этом металл преимущественно осаждается в углублениях (вдали от адсорбированных ингибиторов) – таким образом покрытие выравнивает профиль, даже если его толщина меньше амплитуды исходных неровностей [10]. Благодаря малой концентрации добавок (на порядок ниже концентрации основных ионов металла) их поступление к электродной по-

верхности лимитируется диффузией уже при относительно низких плотностях тока, поэтому они накапливаются главным образом на наиболее выступающих участках катода [11]. В результате катионы металла перенаправляются к зонам без адсорбированных ингибиторов (в низины рельефа), где и восстанавливаются, устраняя шероховатость покрытия [12].

В промышленной гальванотехнике присутствие таких добавок (выравнивающих, блескообразующих, зерноукрупняющих и пр.) является стандартом, поскольку они влияют на размер и ориентировку кристаллов, внутренние напряжения и другие свойства осадков [11]. В струйном электроосаждении добавки столь же необходимы для получения высококачественных пленок. Показано, что их применение улучшает шероховатость поверхности [11], увеличивает плотность и снижает пористость осадка, измельчает зерно и тем самым повышает твердость, а также позволяет изменять текстуру (преференциальную кристаллографическую ориентацию) металлопокрытия [12].

Кроме того, широко используется импульсное осаждение, которое само по себе можно рассматривать как метод управления микроструктурой осадка наряду с химическими добавками [13]. Применение пульсирующего тока вместо постоянного (DC) – важный метод повышения качества гальванопокрытий. В паузах между импульсами ионы металла успевают диффундировать из объема струи обратно к поверхности электрода, что позволяет работать при более высоких плотностях тока без наступления ионного истощения в виду диффузионной поляризации [14].

В результате правильно подобранные короткие импульсы дают возможность превышать стационарный предел тока и получать гладкие, плотные осад-

ки при более высоких средних токовых нагрузках. Кроме того, чередование катодных и анодных импульсов (режим биполярного или реверсивного осаждения) позволяет равномерно разрасти покрытие без грубых выступов: на каждом анодном полупериоде происходило растворение новообразованных микровыступов, снимая эффект концентрации тока на них [15]. Это предотвращает образование острых дендритных выростов и способствует формированию гладкого слоя даже при агрессивных режимах осаждения.

Импульсный режим также влияет на кинетику кристаллизации металла: изменяя соотношение длительности импульса и паузы, можно управлять как долей зарождения новых кристаллитов, так и ростом уже существующих зерен [16]. За счет этого достигается рафинирование зерна вплоть до ультрамелких размеров и, как следствие, упрочнение осадка по механизму Холла–Петча [17]. Zhao и других показали, что импульсная струйная осаждение Ni (скважность 50%, 5 кГц) повышает микротвердость и коррозионную стойкость покрытия относительно осаждения при постоянном токе [18].

Для повышения точности и селективности процесса может использоваться маскирование. Маски из диэлектриков или металлов с отверстиями нужной формы позволяют ограничить зону осаждения даже при относительно широкой струе. Кроме того, возможно динамическое управление зоной осаждения благодаря программируемому перемещению сопла, изменению расхода электролита или импульсного режима подачи тока. Эти методы особенно полезны при создании микроструктур, дорожек и контактных площадок в микроэлектронике. Например, в работе [19] реализовано электрохимическое прямое письмо (direct-writing) с формированием структур размером порядка 100 мкм (рис. 5).

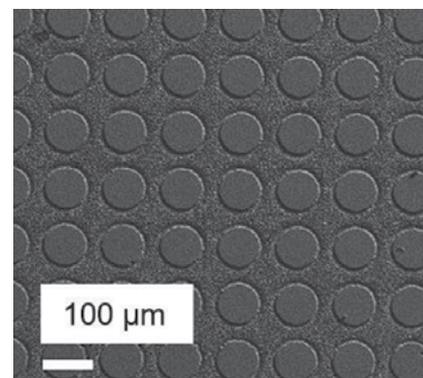


Рис. 5. Формирование микровыступов с помощью струйной металлизации с наложением маски из фоторезиста и использованием сопла 2 мм [19]

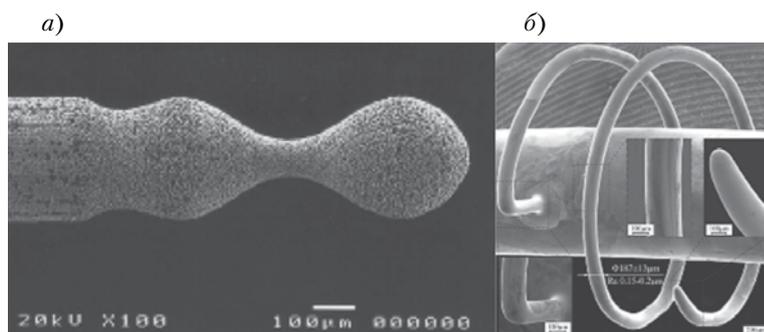


Рис. 6. Примеры микроформ, полученных с помощью струйной металлизации: а – обработанный с помощью импульсного режима металлизации металлический стержень [20], б – аддитивно изготовленная никелевая спираль [21]

ТЕХНОЛОГИИ СТРУЙНОЙ МЕТАЛЛИЗАЦИИ ДЛЯ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ И ПРОИЗВОДСТВА ПЕЧАТНЫХ УЗЛОВ

Одним из главных преимуществ струйной технологии в микроэлектронике является возможность нанесения металлических покрытий строго в заданных координатах без необходимости покрытия всей поверхности. Это позволяет создавать проводящие дорожки, контактные площадки и межсоединения на подложках произвольной формы, включая гибкие и трехмерные. Такие возможности особенно важны для прототипирования, ремонта плат, создания гибкой электроники и носимых устройств.

Путем регулирования параметров процесса – напряжения, скорости струи, состава электролита и режима тока – можно управлять толщиной слоя, морфологией поверхности и микроструктурой покрытия (рис. 6). Это позволяет создавать не только проводящие дорожки, но и покрытия с заданными механическими, антикоррозионными или барьерными свойствами.

Даже без использования масок уже сама по себе тонкая струя диаметром примерно 1–2 мм способна селективно осаждать материал на ограниченном участке. Этим обусловлено применение струйной металлизации для покрытий небольших участков деталей, для ремонта локальных дефектов, а также в качестве метода аддитивного производства микроскопических металлических конструкций.

Селективное струйное электроосаждение рассматривается как один из подходов к 3D-печати металлами на микроуровне. Недавно, в 2024 г. авторы работы [22] сообщили о создании настольного струйного 3D-принтера, способного послойно выращивать медные микроструктуры с высокой скоростью (~53,4 мкм/ч) и качеством поверхности (шероховатость ~1,1 нм) (рис. 7). Полученные ими медные структуры обладают повышенной микротвердостью (~3,3 ГПа), превышающей уровень осадков, полученных другими методами электроосаждения (до 2,4 ГПа) [23]. Данное достижение демонстрирует потенциал струйной технологии для прямой «печати» элементов электроники и микромеханических устройств.

Селективность процесса струйной металлизации предоставляет возможность наносить проводящие дорожки на печатную плату (ПП) напрямую, исключая нанесение фоторезиста и травление лишней меди с поверхности печатной платы. Так, например, экспериментально получены проводящие дорожки длиной 1000 мкм [24] без нанесения фоторезиста (рис. 8). Помимо этого, с интенсификацией процесса металлизации при струйном режиме открывается в перспективе возможность использования струйного электроосаждения вместо традиционной металлизации в гальванической ванне, что позволит сократить сразу несколько этапов цикла производства ПП.

Упрощение и интенсификация производства при сокращении временных и материальных затрат делает применение струйного способа для металлизации ПП актуальным направлением исследований.

ПЕРСПЕКТИВЫ И НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИИ

Струйная электрохимическая металлизация – относительно новая технология, и ее развитие идет по нескольким направлениям. Одним из них является объединение различных процессов на единой струйной платформе. В перспективе одна и та же установка может выполнять как локальное травление (анодное), так и осаждение (катодное), а также вспомогательные операции: поверхностную диагностику и контроль металлизации на производстве [25].

Перспективными направлениями развития струйной металлизации являются также повышение автоматизации, «умные» системы управления процессом и расширение ассортимента материалов. В будущем предполагается интеграция технологии с системами

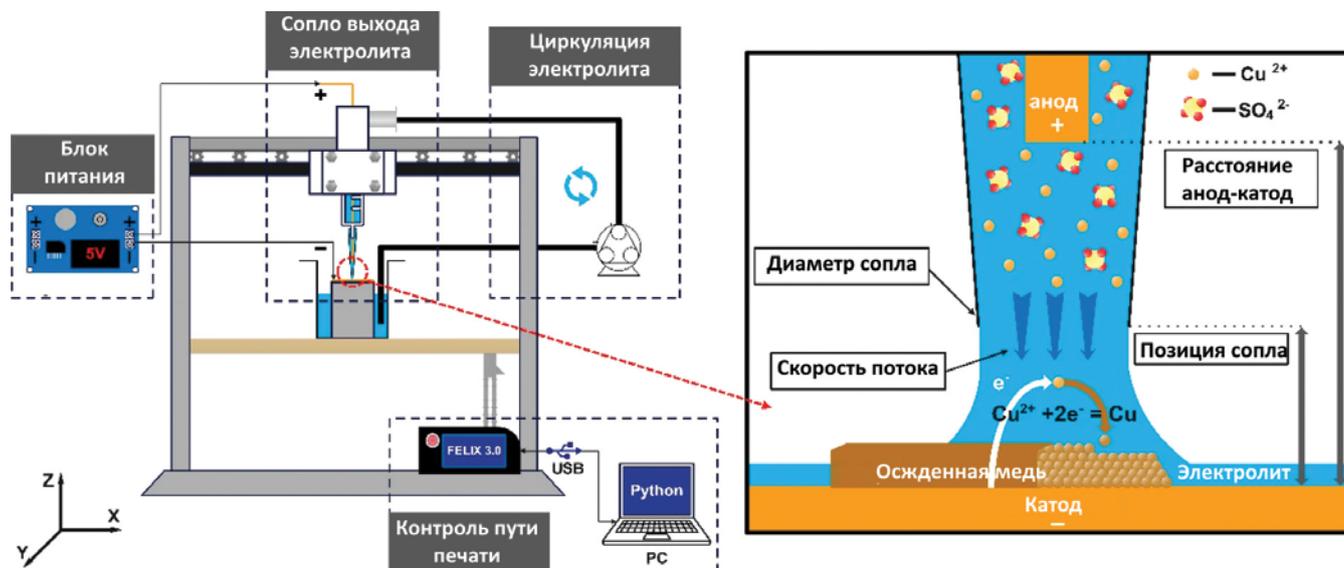


Рис. 7. Схема 3D-принтера по принципам технологии струйной металлизации

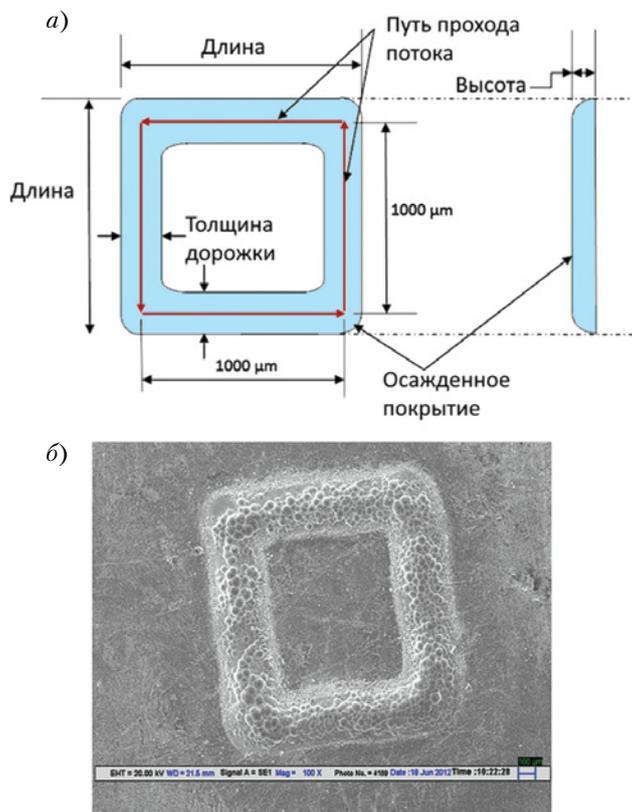


Рис. 8. Путь потока электролита и предполагаемый проводящий рисунок (а) и изображение проводящего рисунка, полученного с помощью растрового электронного микроскопа (б) [24]

автоматического мониторинга и адаптивного регулирования по принципам Индустрии 4.0 [26]. Для увеличения производительности изучаются варианты струйного осаждения узкими щелевыми соплами (slot jet), которые за один проход покрывают большую площадь.

При этом важной задачей остаются стабильность и равномерность потока в широкой щели. Одновременно ведутся работы по миниатюризации струй: применение эффектов фокусировки потока позволяет получать струи диаметром в десятки или сотни нанометров из стандартного сопла. Кроме того, разрабатываются in-situ методы измерения параметров зазора и поверхности во время осаждения (например, по току или напряжению), что позволит обеспечить высокую точность полученной топографии. В технологическом плане перспективно сочетание струйных методов с аддитивным производством. Таким образом, струйное осаждение может стать звеном в цепочке постобработки 3D-напечатанных электронных компонентов, сглаживая поверхности, а также альтернативой для традиционной металлизации печатных плат в гальванических ваннах.

Главным преимуществом струйной металлизации является минимизация химических расходников и отходов. В классических ваннах большие объемы электролита и целые детали подверга-

ются обработке, тогда как при струйном методе расход реагентов происходит только в малой зоне. Это делает процесс более экологичным и экономичным при мелкосерийном и индивидуализированном производстве.

ОГРАНИЧЕНИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ СТРУЙНОГО ОСАЖДЕНИЯ

Несмотря на описанные преимущества, струйные электроосаждающие технологии имеют ряд фундаментальных и практических ограничений. Так, например, как и в любом электрохимическом процессе, материал детали должен быть электропроводящим, иначе не удастся замкнуть электрическую цепь через струю. Это ограничивает область применения металлами, сплавами, проводящими композиционными материалами и полупроводниками. Материалы-диэлектрики не могут быть непосредственно покрыты методом электроосаждения без специальной подготовки (например, нанесения буферного проводящего слоя).

Также необходимо обеспечить устойчивую тонкую струю заданного диаметра. Слишком тонкие (менее 1 мкм) струи в принципе достижимы, например, методом течения в коаксиальном фокусирующем газе [27], однако при их ударе о поверхность не образуется стабильный пристенный поток (wall-jet)

– жидкость просто распыляется, теряя локализацию процесса [28]. Контроль и наблюдение за струей микронного масштаба представляют самостоятельную проблему сами по себе. На практике минимальный диаметр струи, с которой можно работать, составляет порядка нескольких десятков микрон [29], дальнейшее повышение разрешения требует применения масок или иных вспомогательных методов.

Технология имеет фундаментальное ограничение, связанное с законами Фарадея: максимальная скорость накопления металла определяется свойствами материала (электрохимическим эквивалентом) и не может быть произвольно увеличена. Единственный путь нарастить производительность осаждения – это увеличить суммарный ток, протекающий через систему.

Струйные методы не предназначены для массивного наращивания металла на больших площадях – с точки зрения съемной скорости их нельзя сравнивать с гальваническим покрытием крупных деталей в ваннах. Они выигрывают в селективности и точности, но не в общей производительности, когда требуется металлизировать деталь полностью. К примеру, если требуется покрыть толстым слоем металла в несколько сот микрон большую поверхность, струйный метод будет чрезмерно долгим и энергоемким. Он целесообразен либо для тонких локальных покрытий, либо для особых случаев (микроаддитивное производство, ремонт и др.).

К практическим ограничениям можно отнести также износ и коррозию сопла-электрода, особенно если оно служит растворимым анодом, отдающим металл, возможность засорения сопла осадком или примесями, необходимость точного поддержания расстояния и перпендикулярности между соплом и поверхностью. Последнее требует высокой точности мехатроники, особенно на неровных поверхностях – любые колебания могут сделать локализацию процесса непредсказуемой.

Кроме того, струйные процессы чувствительны к стабильности расхода: пульсации насоса или изменения вязкости электролита могут приводить к колебаниям режима.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Струйная металлизация представляет собой перспективное направление в области точного и локального нанесения металлических покрытий, особенно в контексте современной электроники. Технология обеспечивает высокую степень селективности, позволяет отказать от ряда традиционных фотолитографических и травильных операций, сократить расход химических

веществ и уменьшить экологическую нагрузку.

Развитие методов управления толщиной осадка, микроструктурой покрытия и составом электролита, а также внедрение импульсных и реверсивных режимов тока открывают возможности точной настройки механических и электрических характеристик получаемых структур. Современные экспериментальные достижения, включая создание 3D-принтеров на основе струйного осаждения, демонстрируют потенциал данной технологии для аддитивного производства электроники и микроэлектромеханических систем.

В то же время требует дальнейших исследований технологии и технической оптимизации. Необходимо разработка более устойчивых конструкций сопел, методов предотвращения засорения, а также реализация замкнутых систем контроля расстояния и стабильности струи. Струйная металлизация в ее текущем виде наилучшим образом применима для создания тонких локализованных покрытий, ремонта, прототипирования и индивидуализированного производства.

Учитывая тенденции к миниатюризации, рост интереса к гибкой электронике и переходу к аддитивным технологиям в производстве печатных плат, дальнейшее развитие и внедрение струйной металлизации будет иметь решающее значение для повышения точности, эффективности и экологичности процессов микрообработки в электронной промышленности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Слипченко Н. И., Юзвизин В. Ф. Исследования процессов скоростной металлизации печатных плат и путей ее реализации // Радиоэлектроника и информатика. – 1999. – № 4 (9). – С. 26–30.
2. De Vogelaere M., Sommer V., Springborn H., Michelsen-Mohammadein U. High-speed plating for electronic applications // *Electrochimica Acta*. – 2001. – Vol. 47. – P.109–116.
3. Bocking C., Cameron D.B. The Use of High Speed Selective Jet Electrodeposition of Gold for the Plating of Connectors // *Transactions of the IMF*. – 1994. – Vol.72. – P.33–40.
4. Chin D.T., Hsueh K.L. An analysis using the Chilton–Colburn analogy for mass transfer to a flat surface from an un submerged impinging jet // *Electrochimica Acta*. – 1986. – №31. – P.561–564.
5. Karakus C., Chin D.T. Metal Distribution in Jet Plating // *Journal of The Electrochemical Society*. – 1994. – №141. – P.691–697.
6. Microstructuring of carbide metals applying Jet Electrochemical Machining / *Hackert-Oschätzchen M., Martin A., Meichsner G., Zinecker M., Schubert A.* // *Precision Engineering*. – 2013. – №37. – P.621–634.
7. Mitchell-Smith A., Speidel J. Gaskell A.T. // *Clare Energy distribution modulation by mechanical design for electrochemical jet processing techniques*, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*. – 2017. – №. 122. – P.32–46.
8. Zhao M. Kunieda, Investigation on electrolyte jet machining of three-dimensional freeform surfaces // *Precision Engineering*. – 2019. – №60. – P.42–53.
9. Han W., Fang F. Fundamental aspects and recent developments in electropolishing // *International Journal of Machine Tools and Manufacture*. – 2019. – Vol. 139.
10. Kozak J. The Effect of Electrochemical Machining on the Fatigue Strength of Heat Resistance Alloys, *Fatigue of Aircraft Structures*, 2011.
11. Landolt D. Fundamental aspects of electropolishing // *Electrochimica Acta*. – 1987. – Vol.32. – P.1–11.
12. Rajurkar K.P., Zhu D., Wei B. Minimization of Machining Allowance in Electrochemical Machining // *CIRP Annals*. – 1998. – Vol.47. – P.165–168.
13. Microstructuring of carbide metals applying Jet Electrochemical Machining / *Hackert-Oschätzchen M., Martin A., Meichsner G., Zinecker M., Schubert A.* // *Precision Engineering*. – 2013. – Vol.37. – P.621–634.
14. Chandrasekar M. Pushpavanam, Pulse and pulse reverse plating – Conceptual, advantages and applications // *Electrochimica Acta*. – 2008. – Vol.53. – P. 3313–3322.
15. Yu Y.Q., Zhao J.S., Li B.H., Xu J.W. Experimental Study of Pulsed Electrolyte Jet Machining for Small Hole, Key // *Engineering Materials*. – 2010. – Vol. 458. – P.307–312.
16. Kawanaka M. Kunieda, Mirror-like finishing by electrolyte jet machining, *CIRP Annals/Manufacturing Technology*. – 2015. – Vol.64. – P.237–240.
17. Preparation and Properties of Nanocomposite Coatings by Pulsed Current-Jet Electrodeposition / *Zhao K., Shen L., Qiu M., Tian Z.-J., Jiang W.* // *International Journal of Electrochemical Science*. – 2017. – Vol.17. – P.8578-8590.
18. High performance Co–Cr 3 C 2 composite coating by jet electrodeposition / *Tan J., Song H., Zheng X., Zhang Q., Wang M.* // *Surface Engineering*. – 2018. – Vol.34. – P.861–869.
19. Fabrication of surface microstructures by mask electrolyte jet machining, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*. – 2020. – Vol.148. – P. 103471.
20. Tribological behaviour of an electrochemical jet machined textured Al-Si automotive cylinder liner material / *Walker J.C., Kamps T.J., Lam J.W., Mitchell-Smith J., Clare A.T.* // *Wear*. – 2017. – Vol.376-377. – P.1611–1621.
21. Additive manufacturing of three-dimensional intricate microfeatures by electrolyte-column localized electrochemical deposition / *Wei W., Pingmei M., Xinmin Z., Xinchao L., Yunyan Z., Shen N., Sans A.* // *Additive Manufacturing*. – 2022. – Vol.50. – P.102582.
22. Gu W., Marianov A., Jiang Y. High-speed electrolyte jet 3D printing of ultrasMOOTH and robust Cu microelectrodes // *Journal Mater Sci*. – 2024. – Vol.59. – P.4605–4619.
23. Effect of bath additives on the microstructure, lattice defect density and hardness of electrodeposited nanocrystalline Ni films / *Kolonits T., Jenei Péter L., Bakonyi I., Czirány Z., Gubicza J.* // *Surface and Coatings Technology*. – 2018. – Vol.349. – P.611–621.
24. Mridul Singh Rajput, Pulak Mohan Pandey, Sunil Jha. Modelling of high speed selective jet electrodeposition process // *Journal of Manufacturing Process*. – 2015. – Vol.17. – P.98–107. ISSN1526-6125, <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2014.07.012>
25. Electrochemical jet manufacturing technology: From fundamentals to application / *Speidel, Alistar, Bisterov, Ivan; Saxena, Krishna; Zubayr, Mohamed; Reynaerts, Dominiek; Natsu, Wataru; Clare, Adam* // *International Journal of Machine Tools and Manufacture*. – 2022. – Vol.180. – P.103931. – 10.1016/j.ijmactools.103931.
26. Vasilyev F.V., Medvedev A.M., Barakov, Korobkov M. A. Development of the digital site for chemical processes in the manufacturing of printed circuit boards // *Inventions*. – 2021. – Vol. 6. – №. 3. – DOI 10.3390/inventions6030048. – EDN IHHHFI.
27. Chase B.D., Holt D.B., Unvala B.A. Jet Polishing of Semiconductors // *Journal of The Electrochemical Society*. – 1972. – Vol.119. – P.310–310.
28. Towards ETEM serial crystallography: Electron diffraction from liquid jets / *Deponte D.P., McKeown J.T., Weierstall U., Doak R.B., Spence J.C.H.*, *Ultramicroscop*. – 2011. – Vol.111. – P.824–827.
29. Bhagat R.K., Jha N.K., Linden P.F., Wilson D.I. On the origin of the circular hydraulic jump in a thin liquid film // *Journal of Fluid Mechanics*. – 2018. Vol.851. – P.5. ■

В статье раскрыта отраслевая специфика финансового механизма в условиях государственного регулирования, проанализирован отечественный и зарубежный опыт оборонно-промышленного комплекса (ОПК), апробирована авторская модель финансового механизма на примере одного из предприятий ОПК «ХК «ЭГО-Холдинг».

В условиях трансформации экономической среды, усиления государственного регулирования и возрастающих требований к эффективности исполнения государственного оборонного заказа особую актуальность приобретает совершенствование системы финансового управления предприятиями ОПК. Финансовый механизм выступает ключевым инструментом обеспечения устойчивости, ликвидности и результативности деятельности предприятия, а его качество напрямую влияет на способность организации выполнять стратегические задачи в условиях высокой нормативной регламентации и технологической сложности производства.

ПОНЯТИЕ И СУЩНОСТЬ ИНЖИНИРИНГА ФИНАНСОВОГО МЕХАНИЗМА ПРЕДПРИЯТИЯ

Для глубокого анализа сущности инжиниринга финансового механизма необходимо рассмотреть основные определения понятий «инжиниринг» и «финансовый механизм предприятия». В нормативных документах РФ инжиниринг определяется как инженерно-консультационная услуга или деятельность по решению поставленных задач, осуществляемая на коммерческой основе. Такой подход закрепляет организационно-правовой и коммерческий аспекты инжиниринга, обеспечивая его служебную функцию.

В международной и отраслевой практике понятие инжиниринга интерпретируется шире: как инженерная деятельность, творческое применение научных инструментов, область создания и развития технологических систем, внедрение инноваций и развитие экономики. В этом контексте инжиниринг – системный процесс создания и применения целевых систем (объектов, процессов) на базе научно-технических знаний, направленный на достижение конкретных целей.

Анализ отечественных и зарубежных стандартов выявил, что инжиниринг включает технологические и управленческие аспекты, и трактуется по-разному в зависимости от целей и условий применения. В целом в отраслевых стандартах выделяется понимание инжиниринга как процесса созда-

ИНЖИНИРИНГ ФИНАНСОВОГО МЕХАНИЗМА, СИСТЕМА БЮДЖЕТИРОВАНИЯ, УПРАВЛЕНЧЕСКИЙ УЧЕТ ПРЕДПРИЯТИЯ ОБОРОННО-ПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА*

*А.К. Гецова, магистр экономических наук,
гл. специалист планово-экономического отдела,
К.А. Кирич, вице-президент,
ООО «ХК «ЭГО-Холдинг»,
контакт. тел. (812) 324 8628*

ния и применения новых систем на базе научных знаний.

Наиболее распространённое и нормативно закреплённое определение – инжиниринг как перечень предоставляемых услуг, ориентированный на выполнение технических и консультационных задач заказчика. В рамках этой концепции инжиниринг выступает как деятельность, воздействующая на целевую систему (объект) с помощью конкретных инструментов и методов для достижения заданных результатов. В этом контексте инжиниринг – это наукоемкий, интеллектуальный процесс, включающий создание, внедрение и развитие технологий, а также управление проектами.

Инжиниринг как инструмент предполагает использование научных методов и технологий для достижения целей, являясь связующим звеном между этапами создания и модернизации систем, что особенно актуально при разработке новых объектов или их совершенствовании. Он служит механизмом внедрения инноваций, способствует коммерциализации научных результатов и выступает как инструмент развития бизнеса.

Термин «финансовый механизм» в научной литературе отличается высокой терминологической неопределенностью. В основном под ним понимается совокупность методов, инструментов, организационных структур и процессов управления финансами, обеспечивающих достижение целей предприятия – ликвидности, рентабельности и эффективности использования ресурсов.

В ряде исследований финансовый механизм определен как система управления финансами, включающая формы и методы, направленные на обеспечение денежными средствами, достижение уровня рентабельности и ликвидности. Существует также экспертная точка зрения, согласно которой финансовый ме-

ханизм является системой взаимодействия финансовых отношений и фондов для влияния на конечные результаты производства в рамках законодательства РФ. В некоторых научных трудах данный механизм рассматривается как инструмент воздействия финансов на хозяйственный процесс, включая производственную, инвестиционную и финансовую деятельность.

Основные подходы к определению финансового механизма – процессный, функциональный и интегральный. *Процессный подход* рассматривает его как совокупность ресурсов и способов их взаимодействия для функционирования конкретного финансового процесса, *функциональный* – как виды, формы, методы и условия применения функций финансов, *интегральный* – как систему связей между элементами финансовой системы для обеспечения ее эффективности.

В рамках проведенного анализа принципиально разных представлений о перечне элементов финансового механизма нет: выделяются финансовые приемы, методы, методики, инструменты, а также разного рода обеспечение (информационно-техническое, программное, кадровое и нормативное).

Исходя из проведенного анализа понятия «финансовый механизм» становится очевидным, что его сущность раскрывается через его элементы, имеет место быть его отождествление с системой бюджетирования предприятия, поскольку данная система строится на единстве и целостности элементов финансового механизма. Также стоит отметить, что финансовый механизм рассматривается как единое целое, т. е. как система. На основании разносторонних подходов к изучению сущности финансового механизма предприятия, выделения основных его элементов и функций представляется возможным отразить все вышесказанное в виде графической ви-

*Статья подготовлена на основе магистерской диссертации «Инжиниринг финансового механизма предприятия оборонно-промышленного комплекса».

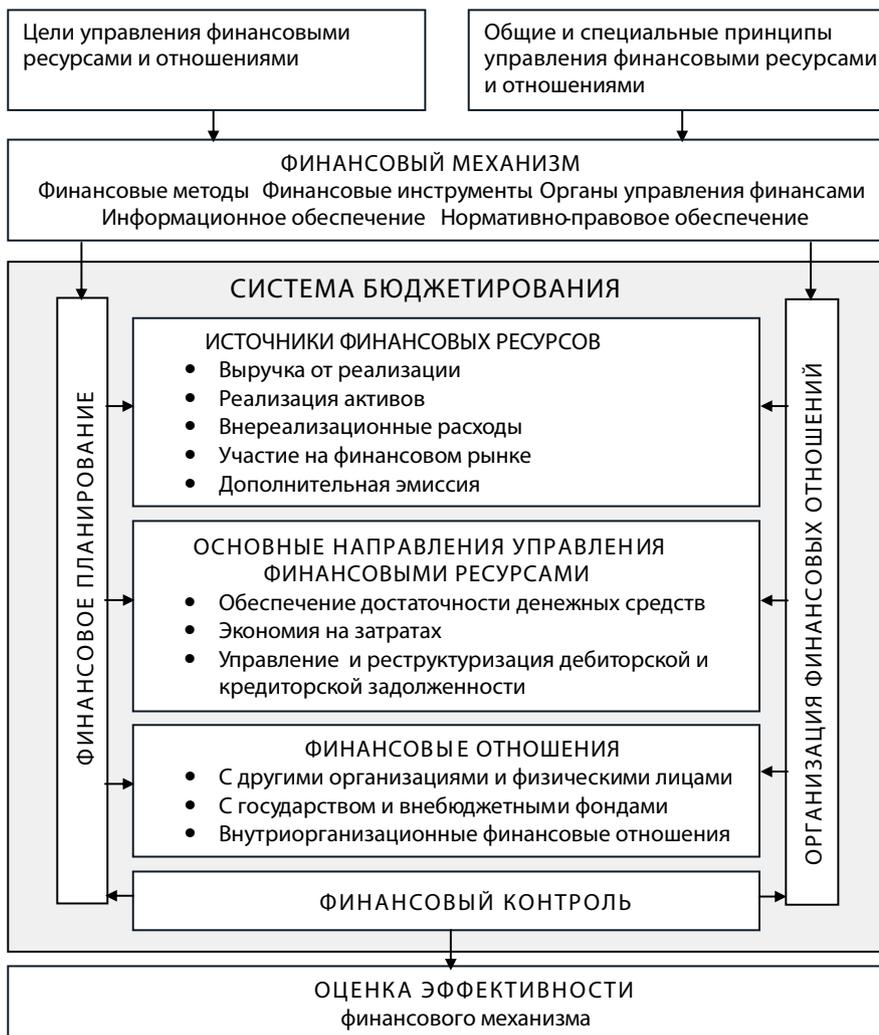


Рис. 1. Организационно-экономическая модель финансового механизма предприятия

зуализации организационно-экономической модели финансового механизма предприятия (рис. 1).

При обособленном изучении понятия инжиниринг была выработана точка зрения, что инжиниринг – это воздействие на целевую систему (объект) с применением конкретных инструментов и методологий для достижения поставленной цели (ожидаемого результата). Объединяя терминологический анализ понятия «инжиниринг» и «финансовый механизм предприятия» можно сделать вывод о том, что инжинирингу как деятельности подвергается финансовый механизм предприятия. В таком случае представляется возможным сформулировать определение понятия «инжиниринг финансового механизма предприятия».

Таким образом, инжиниринг финансового механизма предприятия – это целенаправленная деятельность по созданию, улучшению или модернизации системы бюджетирования в целом или отдельных ее элементов, основанная на научных подходах, адаптированных под конкретные условия. Исходя из данного подхода, инжиниринговой деятельности

подвергается либо целиком финансовый механизм предприятия и, в таком случае происходит коренное изменение системы в целом, или проводится инжиниринг отдельных элементов или процессов системы бюджетирования.

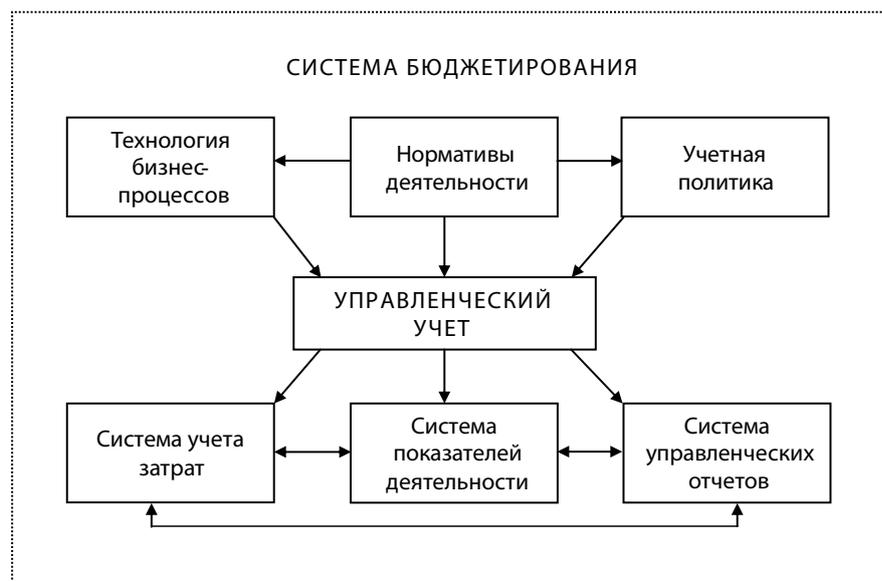


Рис. 2. Модель системы бюджетирования предприятия ОПК с применением управленческого учета

СПЕЦИФИКА ИНЖИНИРИНГА ФИНАНСОВОГО МЕХАНИЗМА ПРЕДПРИЯТИЯ ОПК

В рамках адаптации термина бюджетирование под специфику предприятий ОПК проводился анализ подходов к пониманию данного понятия разных авторов. На основании вышеупомянутого анализа подходов к определению понятия бюджетирования и отраслевой специфики предприятий ОПК представляется возможным сформулировать авторское определение системы бюджетирования предприятия ОПК, а именно – это совокупность элементов финансового механизма, определяющая систему взаимосвязей между ними, построенная на отраслевой и частной специфике предприятия, отраженной посредством управленческого учета (рис. 2).

Согласно вышеупомянутой модели системы бюджетирования управленческий учет – это ядро данной целевой системы и одновременно с этим управляющий элемент для финансовых процессов. В данном случае управленческий учет в рамках системы бюджетирования строится на трех общих отраслевых элементах финансового механизма: технологии бизнес-процессов, нормативах деятельности и учетной политике.

Говоря об инжиниринге всего финансового механизма, целесообразнее применять термин «реинжиниринг», который обозначает глобальное переосмысление и перепроектирование. В рамках предприятия ОПК радикальное перепроектирование финансового механизма в целом возможно только в случае коренного изменения законодательной базы, регулирующей отрасль.

Проведение инжиниринговой деятельности над некоторыми элементами

ми финансового механизма предприятия ОПК невозможно ввиду высокого влияния на них государственного регулирования. Такими элементами являются: финансовые инструменты и методы, внутреннее нормативное регулирование – учетная политика и информационное обеспечение. Учитывая вышесказанное предлагается рассмотрение инжиниринга управленческого учета как ядра системы бюджетирования предприятия ОПК.

Основываясь на результатах проведенного исследования, можно сформулировать специфицированное определение инжинирингу финансового механизма на предприятиях ОПК. Таким образом, авторское определение следующее: инжиниринг финансового механизма предприятия ОПК – это внедрение или модернизация системы бюджетирования, ключевым элементом которой является система управленческого учета.

ОТЕЧЕСТВЕННЫЙ И ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ ИНЖИНИРИНГА ФИНАНСОВОГО МЕХАНИЗМА ПРЕДПРИЯТИЙ ОПК

Специфика инжиниринга финансового механизма предприятий ОПК определяется высокой нормативно-правовой регламентацией, особенностями производственных процессов и стратегической важностью продукции.

Зарубежный и отечественный опыт инжиниринга финансового механизма предприятий представляет собой важную область исследования, поскольку именно на основе анализа лучших практик и ошибок можно определить наиболее эффективные подходы к модернизации и развитию системы управления финансами в ОПК

Прежде чем перейти к анализу конкретных практик, необходимо обратить внимание на различия в понимании понятия «управленческий учет» в разных странах. В зарубежной литературе и практике управление внутренним учетом возникло как результат развития методов контроля затрат, планирования и анализа эффективности производства. В этих странах управленческий учет зачастую рассматривается как самостоятельная система, ориентированная на внутренние нужды руководства, призванная обеспечить оперативное принятие решений, контроль за выполнением бюджета, анализ отклонений и формирование управленческой отчетности. В частности, страны Запада, такие как США и Франция, развивали управленческий учет как интегрированную систему, объединяющую функции планирования, учета затрат, анализа и контроля, что способствовало формированию современных моделей, отражающих специфику внутреннего управления предприятием. В Германии, напротив,

отсутствует отдельное понятие «управленческий учет», заменяемое термином «система исчисления затрат и результатов». Такой подход характеризуется более узким фокусом – контроль расходов и промежуточная оценка деятельности на основе показателей выручки и затрат по году. В этой системе большое значение уделяется контролю за расходами, подсчету временных издержек и маржинального дохода, а также интеграции процессов планирования и анализа, что обеспечивает эффективность деятельности предприятия в рамках строгих немецких стандартов.

Отечественный опыт развития управленческого учета базируется на заимствованных западных моделях, адаптированных к условиям национальной экономики и специфике предприятий. В России внедрение системы управленческого учета проходило через последовательное выполнение этапов, включающих определение структурных особенностей предприятия, выделение центров ответственности, создание регламентирующих документов, разработку классификаторов, а также автоматизацию процессов учета. Важным аспектом является интеграция управленческого учета с бухгалтерским учетом, что позволяет использовать данные бухгалтерской отчетности как базу для внутренней аналитики, одновременно учитывая отраслевые особенности и нормативные требования.

Практика зарубежных стран демонстрирует высокий уровень стандартизации и автоматизации систем управленческого учета. Внедрение международных стандартов, таких как стандарты управленческого учета, разработанных Британским институтом стандартов (BSI) и Международной ассоциацией специалистов по управленческому учету (CIMA), создает единые подходы и обеспечивает сопоставимость данных. В этих странах широко используются ERP-системы, специализированные программные решения и облачные платформы, что позволяет оперативно собирать, обрабатывать и анализировать данные, а также автоматизировать рутинные процессы. Важной составляющей является использование методов учета затрат, таких как ABC-анализ, стандарт-костинг, директ-костинг, что способствует оперативной реакции на изменения внутренней и внешней среды предприятия.

Отечественный опыт, напротив, характеризуется высокой степенью внутренней интеграции управленческого учета с бухгалтерией и отсутствием обязательных международных стандартов. Внутренние нормативные документы разрабатываются внутри предприятия, что обеспечивает гибкость и адаптацию к отраслевым условиям. Внедрение сис-

темы управленческого учета включает создание классификаторов, разработку планов счетов, автоматизацию с помощью отечественных программных продуктов и собственных решений, таких как 1С или Google-таблицы. Этот подход позволяет учитывать специфику оборонной отрасли, особенности выполнения государственных контрактов и требования безопасности.

Зарубежный опыт акцентирует внимание на стандартизации, автоматизации и глобальных подходах, что обеспечивает высокую эффективность и прозрачность. В отечественной практике доминирует интеграция управленческого учета с бухгалтерией, адаптированная к специфике национальной экономики и нормативных требований. Оба подхода в той или иной мере используют современные информационные технологии и методы учета затрат, что позволяет обеспечить более точное и оперативное управление финансовыми ресурсами предприятий.

Общий вывод заключается в том, что опыт зарубежных стран демонстрирует необходимость высокого уровня автоматизации, стандартизации и системности, что способствует повышению эффективности управления и прозрачности финансовых процессов. Российский опыт, базирующийся на адаптации западных моделей, отличается большей гибкостью и учетом национальных особенностей, однако требует высокой компетентности специалистов и постоянного развития информационных систем. В условиях развития оборонно-промышленного комплекса России актуальной задачей является внедрение современных методов и стандартов, заимствованных из зарубежных практик, с учетом отраслевой специфики, высокой секретности и нормативных требований.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ИНЖИНИРИНГА ФИНАНСОВОГО МЕХАНИЗМА ПРЕДПРИЯТИЯ ОПК

Специфика финансового механизма предприятий ОПК, обусловленная жестким государственным регулированием, выполнением государственного оборонного заказа, фиксированным уровнем рентабельности и позаказным характером производства, предопределяет особые требования к его совершенствованию. В этих условиях инжиниринг финансового механизма рассматривается как системная деятельность по внедрению или модернизации его ключевых элементов, прежде всего системы бюджетирования, ядром которой выступает система управленческого учета.

Инжиниринг финансового механизма предприятия ОПК реализуется через технологию организационно-экономических этапов внедрения или модерни-

зации системы управленческого учета. Графическая визуализация авторской разработки в виде организационно-экономических этапов внедрения или модернизации системы управленческого учета представлена на рис. 3.

Организационный блок формирует концептуальную основу системы управленческого учета. На данном этапе:

- определяется стратегическая цель внедрения или модернизации системы согласно целям финансового механизма предприятия;
- формулируются конкретные задачи;
- выявляются пользователи управленческой информации и центры финансовой ответственности;
- определяется состав входящей и исходящей информации;
- анализируется действующая система бюджетирования.

Цель системы должна отражать реальную проблемную область и быть измеримой. Для предприятий ОПК недопустимы абстрактные формулировки, поскольку уровень рентабельности часто регламентирован. В качестве приоритетных целей могут выступать повышение финансовой устойчивости, минимизация кассовых разрывов, повышение прозрачности затрат по контрактам, совершенствование системы контроля исполнения заказов.

С учетом отраслевой специфики обоснован выбор интегрированной модели управленческого учета, базирующейся на данных бухгалтерского учета. Это связано с необходимостью ведения раздельного учета по контрактам и высокой степенью достоверности учетной информации в условиях государственного контроля.

Результатом организационного блока является сформированная концепция системы управленческого учета.

Методологический блок направлен на разработку модели системы управленческого учета. В его рамках:

- анализируется действующая система показателей и факторов, влияющих на планирование;
- формируются правила аллокации затрат с учетом позаказной специфики производства;
- разрабатываются статьи бюджетов и управленческих отчетов;
- устанавливаются взаимосвязи между бюджетами и операционными планами;
- определяется горизонт и периодичность планирования;
- формируется система мониторинга достижения целей.

Особое значение имеет разработка аллокационной модели распределения прямых и накладных затрат по заказам. В модели закрепляются принципы формирования себестоимости, порядок



Рис. 3. Организационно-экономические этапы внедрения системы управленческого учета

трансляции бухгалтерских данных в управленческий контур и особенности отражения амортизационной политики.

В результате формируется целостная модель системы управленческого учета, включающая систему показателей, статьи бюджетов, бюджетные формы и комплекс целевых финансовых индикаторов.

Процессный блок отражает порядок функционирования разработанной модели. Его задачей является регламентация процессов планирования и контроля. На данном этапе:

- определяется модель планирования (сверху-вниз, снизу-вверх или комбинированная);
- устанавливаются сроки подготовки бюджетов и распределение ответственности;
- регламентируются процедуры корректировки бюджетов;

- формируется порядок проведения план-факт анализа;
- определяется механизм учета отклонений.

Для предприятий ОПК особую значимость имеет контроль кассовых разрывов и соблюдение сроков исполнения контрактов, что напрямую влияет на устойчивость финансового механизма.

Регламентный блок предполагает формализацию разработанной модели посредством утверждения положения по управленческому учету. В документе закрепляются:

- цели и задачи системы;
- перечень целевых показателей;
- структура и состав бюджетных форм;
- правила расчетов и распределения затрат;
- порядок подготовки, согласования и контроля бюджетов;

- взаимосвязь управленческого учета с элементами финансового механизма.

Утверждение регламентной базы обеспечивает институционализацию системы и создает основу для ее стабильного функционирования.

Блок автоматизации является дополнительным элементом, который предусматривает использование специализированных программных решений для трансляции бухгалтерских данных в управленческий контур и формирования отчетности. На начальном этапе целесообразно применение частичной автоматизации с целью тестирования модели и выявления возможных методических корректировок.

Формирование инжиниринга финансового механизма предприятия ОПК представляет собой последовательный и структурированный процесс модернизации системы бюджетирования и управленческого учета. Комплексная реализация организационного, методологического, процессного и регламентного блоков позволяет обеспечить повышение прозрачности финансовых потоков, усиление контроля и устойчивость развития предприятия в условиях отраслевой специфики.

АПРОБАЦИЯ АВТОРСКОЙ МОДЕЛИ ФИНАНСОВОГО МЕХАНИЗМА НА ПРИМЕРЕ ОДНОГО ИЗ ПРЕДПРИЯТИЙ ОПК «ХК «ЭГО-ХОЛДИНГ»

В рамках исследования была апробирована авторская модель организационно-экономических этапов внедрения системы управленческого учета на примере одного из предприятий ОПК «ХК «ЭГО-Холдинг». Актуальность разработки обусловлена необходимостью повышения эффективности и устойчивости предприятия в условиях турбулентной экономической среды, а также оптимизации функционирования системы управленческого учета и бюджетирования.

Использование организационно-экономических этапов позволяет в логической последовательности отразить

сущность бюджетной системы предприятия и внести ясность в бюджетный процесс.

Разработанные организационно-экономические этапы внедрения или модернизации системы управленческого являются универсальным инструментом инжиниринга финансового механизма предприятия ОПК. При применении разработанных этапов необходимо соблюдать разработанную последовательность выполнения, а также учитывать взаимосвязанность подэтапов. Важно отметить, что сущность разработанных этапов в рамках применения на конкретных предприятиях может видоизмениться, однако общая концепция блоков и последовательность этапов сохранится.

Эффективность предложенных организационно-экономических этапов оценивалась через индекс качества системы бюджетирования в части планирования, коэффициент адекватности (адаптивности) системы бюджетирования (планирования) и показатель выполнения плана. По всем вышеперечисленным показателям наблюдалось приближение к эталонному значению, что позволяет сделать вывод об эффективности предложенного инжиниринга.

ВЫВОДЫ

1. Обосновано теоретическое уточнение понятий «инжиниринг» и «финансовый механизм предприятия». Доказано, что инжиниринг представляет собой системную научно обоснованную деятельность по созданию и модернизации управленческих систем, а финансовый механизм – интегрированную совокупность форм, методов, инструментов и организационных структур управления финансовыми ресурсами предприятия.

2. Сформулировано авторское определение инжиниринга финансового механизма предприятия как целенаправленной системной деятельности по проектированию, совершенствованию и адаптации финансового управления, ориентированной на повышение его эффективности, прозрачности и устойчивости.

3. Установлена отраслевая специфика инжиниринга финансового механизма предприятий ОПК, обусловленная высокой степенью государственного регулирования, необходимостью ведения раздельного учета по контрактам, длительными производственными циклами и зависимостью от бюджетного финансирования.

4. Определены приоритетные направления инжиниринга в условиях ОПК, включающие модернизацию системы бюджетирования, развитие управленческого учета, совершенствование информационного обеспечения и усиление контрольных процедур.

6. На основе анализа отечественного и зарубежного опыта доказана целесообразность сочетания стандартизированных и автоматизированных инструментов управления с их адаптацией к национальной и отраслевой специфике оборонного сектора.

7. Подтверждена практическая эффективность разработанной авторской модели, апробированной на примере одного из предприятий ОПК «ХК «ЭГО-Холдинг», что выразилось в повышении точности бюджетирования, снижении уровня отклонений и росте адаптивности системы финансового управления.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Foster J.* Transitioning from the software capability maturity model (SW-CMM – registered trademark) to the capability maturity model integrated (CMMI – registered trademark). – Department of Economics, University of St. Gallen, 2021..
2. *Зимакова Л.Л.* Создание интегрированной системы финансового и управленческого учета // Экономический анализ: теория и практика. – 2019. – №8. – С. 15–29.
3. *Поднос А.С.* Особенности управления финансами в оборонно-промышленном комплексе // Colloquium-journal. – 2019. – №2-5 (26). – С. 45–57.
4. *Поляева Л.П.* Оценка бюджетной эффективности и критерии ее показателей на современном этапе // Достижения науки и образования. – 2020. – №15(69). – С. 110–123. ■

Очевидно, что в современном мире огромную роль играют измерения – получение информации о количественных характеристиках различных свойств объектов и явлений окружающего мира экспериментально [1]. Это – важнейший инструмент познания объектов и явлений окружающего мира, т. е. основ научно-технических знаний.

От точности и достоверности результатов измерений зависит адекватность познания нами окружающего мира и правильность принимаемых решений на всех уровнях управления. В связи с этим большое значение имеет **метрология** – наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности [2].

Предметом метрологии является извлечение количественной информации о свойствах объектов с заданной точностью и достоверностью; основа для этого – нормативная база метрологии.

Объектами метрологии выступают единицы величин, измерения, средства измерений, эталоны и методики измерений.

Измерение – познавательный процесс, имеющий целью определение характеристик материальных объектов с помощью соответствующих измерительных приборов. Осуществляется этот процесс на эмпирическом уровне.

Такое определение соответствует измерениям (с помощью приборов – технических средств) физических величин.

В соответствии с нормативными документами по метрологии измерение физической величины – совокупность операций по применению технического средства, хранящего единицу физической величины, которые позволяют находить соотношения (в явном или неявном виде) измеряемой величины с ее единицей и получение значения этой величины.

Но свойства объектов не всегда характеризуются только физическими величинами. Предметами познания могут быть как одномерные, так и многомерные свойства объектов и явлений окружающего мира. В теории познания (гносеологии) различают категории качества и количества. Количественными исследованиями занимаются естественные науки, методами исследований служат теория и эксперимент, который при этом можно выполнять с применением и без применения технических средств.

Так, различают *эксперименты* [1]: – физический – способ познания природы, заключающийся в изучении природных явлений в специально

КВАЛИМЕТРИЯ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ: ПОНЯТИЕ, ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ, ТРЕБОВАНИЯ К МЕТОДИЧЕСКОМУ АППАРАТУ

Е. Н. Захаров, д-р техн. наук, проф., советник ген. директора АО «Северный пресс» – АО «Концерн «Гранит-Электрон», контакт. тел. +7 (916) 211 2753

созданных условиях (собственно, так и понимаются измерения в рамках существующих представлений в метрологии);

- компьютерный – эксперимент над математической моделью объекта исследования на ЭВМ, который состоит в вычислении по одним параметрам модели других ее параметров, на основе чего делаются выводы о свойствах объекта (возможная область использования существующих технологий искусственного интеллекта в метрологии);
- психологический – целенаправленное вмешательство исследователя в жизнедеятельность испытуемого для получения новых научных знаний о человеке;
- мысленный – воспроизведение в воображении структуры реального эксперимента для проверки непротиворечивости некоторой модели (теории).

Таким образом, эксперимент можно трактовать шире, чем физические измерения в метрологии. При этом важно, что любое свойство может проявляться посредством показателя свойства в той или иной степени, т. е. может иметь количественную оценку. «Измеряй все доступное измерению и делай доступным то, что еще недоступно» (Галилео Галилей). В наше время ту же мысль, только несколько иначе, выразил отечественный математик Д. Б. Юдин: «Качество – еще непознанное количество».

Особенно следует подчеркнуть возможность измерений в нематериальной сфере. «Всякое качество имеет бесконечно много градаций» (Ф. Энгельс «Диалектика природы»), и, следовательно, может быть измерено.

Для измерения нефизических величин, уже после формирования (в XIX в.) науки метрологии, во второй половине XX в. была сформирована наука **квалиметрия** как часть общей метрологии (мнение автора и др.), занимающаяся измерением показателей качества (показателей назначения, надежности, эргономических, эстетических и др.) и направленных на распространение методов метрологии на область измерений нефизических величин.

Формально квалиметрия – область науки, предметом которой являются количественные методы оценки качества продукции [5].

Общие направления возможного применения аппарата метрологии и квалиметрии [3] видны из сравнительного анализа аксиом метрологии и квалиметрии, приведенного в таблице.

Анализ сопоставления аксиом метрологии и квалиметрии показывает следующее:

1) **Ак.1** схожа с **Ам.2**, но сравнение проводится не с известным значением (одноименной величины), а в определенной системе сравнения.

2) **Ак.2** не сравнима с аксиомами метрологии, так как направлена на управление качеством, хотя, косвенно, может быть сравнима с одной из функций метрологии – контроль точности средств измерений и доведение точности измерений до требуемого уровня.

3) **Ак.3** схожа с **Ам.1** в необходимости определения границ измерения (сравнения).

4) **Ак.4** схожа с **Ам.2**, но сравнение в квалиметрии проводится не с известным значением (одноименной величины), а с определенной (для конкретного свойства) базой сравнения.

5) **Ак.5** противоречит **Ам.2**, так как сравнивать в квалиметрии можно и не одноименные величины при условии изменения базы сравнения путем расширения класса сравнимости (повышение уровня показателя).

6) **Ак.6** схожа с **Ам.1** в части задачи уменьшения неопределенности в процессе измерений (сравнения).

Оценивание в квалиметрии, включающее применение методов экспертного оценивания, отличается от измерения в метрологии большей неопределенностью результата. При оценке необходимости и правомерности экспертной оценки необходимо учитывать следующие особенности экспертного оценивания:

1. Человек способен решать определенные логические задачи быстрее компьютера за счет опыта, интуиции, озарения и т. п.

2. Часто другими методами задача не может быть решена, и экспертиза

Сопоставление аксиом метрологии и квалиметрии

Аксиомы метрологии (Ам)	Аксиомы квалиметрии (Ак)	Соответствия аксиом
Ам.1. Без априорной информации измерение невозможно	Аксиомы в теории сравнения в общей квалиметрии (Кв). Ак.1. АКСИОМА СУЩЕСТВОВАНИЯ СИСТЕМЫ СРАВНЕНИЯ.	Ак.1 схожа с Ам.2 , но сравнение проводится не с известным значением (одноименной величины), а в определенной системе сравнения
Данная аксиома относится к ситуации перед измерением и фиксирует, что если что-либо неизвестно, то и измерить это невозможно. Также нужно иметь хотя бы приблизительное представление о раз- мере измеряемой величины, чтобы выбрать СИ с соответствующим диапазоном измерения. С другой стороны, если о чем-то известно все, то его измерение не нужно. Таким образом, измерение обусловлено недостатком количественной информации о том или ином свойстве объекта и направлено на уменьшение неопределенности.	Сравнение оцениваемых качеств всегда выполняется в определенной системе сравнения, т.е. для каждой операции сравнения существует система сравнения S_r , в рамках которой эта операция выполняется: $\Theta S_r \rightarrow \exists S_r$, где ΘS_r – оператор сравнения; \exists – квантор существования; \rightarrow – логический знак импликации («следует», «влечет»); S_r – система сравнения.	
Ам.2. Любое измерение есть сравнение	Ак.2. АКСИОМА ПОДЧИНЕННОСТИ СИСТЕМЫ СРАВНЕНИЯ ПРИ ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА СУБЪЕКТ-ОБЪЕКТНЫХ ОТНОШЕНИЙ ПО ОЦЕНИВАНИЮ И УПРАВЛЕНИЮ КАЧЕСТВОМ	
Аксиома относится к процедуре измерения и фиксирует, что нет иного способа получения информации о неизвестном значении величины, как путем сравнения его с известным значением единицы одноименной величины.	Система сравнения при оценке качества определена субъект-объектными отношениями по оцениванию и, соответственно, управлению качеством: $\Theta_{ук} \rightarrow \Theta_{ок} \rightarrow \Theta S_r$, где $\Theta_{ук}$ – оператор управления качеством; $\Theta_{ок}$ – оператор оценивания качества; ΘS_r – оператор сравнения. Аксиома определяет положение о значении субъект-объектных отношений по оцениванию.	
Ам.3. Результат измерения без округления является случайным	Ак.3. АКСИОМА СУЩЕСТВОВАНИЯ ГРАНИЦ СРАВНЕНИЯ КАЧЕСТВ	Ак.3 схожа с Ам.1 .
Аксиома относится к ситуации <i>после</i> измерения и отражает тот факт, что на результат любой измерительной процедуры всегда оказывает влияние множество разнообразных факторов, полный учет которых невозможен. Вследствие этого при повторных измерениях одной и той же величины одним и тем же средством измерения в одинаковых условиях результаты измерения, как правило, различаются между собой (если только не проводить их округления) и не совпадают с истинным значением измеряемой величины. С истинным значением измеряемой величины связаны два <i>постулата метрологии</i> : 1. Истинное значение измеряемой величины всегда существует, и оно постоянно (в течение времени, необходимого для его измерения). 2. Истинное значение измеряемой величины отыскать невозможно. Одна из задач метрологии как науки и состоит в разработке методов уменьшения неопределенности измерений.	Сравнение оцениваемых качеств осуществляется всегда в определенных границах, характеристиче- ских компонентами системы оценки качества $S_{ок}$. Аксиома ориентирует логику построения процедур оценивания на выявление этих границ. Природа этих границ обусловлена природой как субъекта S_b , так и объекта O_b .	
	Ак.4. АКСИОМА СУЩЕСТВОВАНИЯ БАЗЫ СРАВНЕНИЯ Любая операция сравнения выполняется при наличии определенной базы сравнения.	Ак.4 схожа с Ам.2 , но сравнение проводится не с известным значением (одноименной величины), а с базой сравнения
	Ак.5. АКСИОМА АБСОЛЮТНОЙ СРАВНИМОСТИ Сравнимость качеств абсолютна, а несравнимость их относительна. Несравнимые качества объектов и процессов всегда можно сделать сравнимыми, перейдя к соответствующей базе сравнения и расширив класс сравнимости. Поиск такой базы сравнения связан с переходом к более общим признакам, свойствам, показателям.	Ак.5 противоречит Ам.2 , т.к. сравнивать можно и неоднородные величины при условии изменения базы сравнения путем расширения класса сравнимости
	Ак.6. АКСИОМА ПОЛНОТЫ ОТНОШЕНИЯ СРАВНИМОСТИ Отношение сравнимости обязательно включает или отношение тождества (сходства) Θ_r , или отношение различия Θ_p , или отношение тождества и различия одновременно. Если операции сравнения базируются только на отношениях сравнимости по сходству (тождеству) или по различию, то такие операции являются неполными. Если операции сравнения включают в себя отношения сравнимости по сходству и по различию, то они являются полными.	Ак.6 схожа с Ам.1 в части уменьшения неопределенности в процессе измерений

является единственным «инструментом», позволяющим осуществить оценку того или иного свойства объекта.

3. В неопределенной ситуации, имеющей вероятностный характер, эвристическая оценка, данная экспертом, зачастую оказывается более правильной, чем полученная расчетным путем на основе применяемых моделей.

4. Экспертный метод оценки уровня качества продукции нерационален, если есть возможность оценить качество с большей точностью и/или с меньшими затратами аналитическими или экспериментальными методами.

5. Экспертные методы целесообразны, когда необходимо определить иерархическую (или другую) структуру показателей качества, а также когда необходимо определить значения тех показателей качества, для оценки которых на текущий момент инструментальные методы измерения отсутствуют.

6. При соблюдении всех необходимых процедур и правил проведения экспертного оценивания погрешность корректно проведенной экспертной оценки находится в пределах 5–10%, что сопоставимо с погрешностью методов технического измерения [4].

В целом, оценивая функционал метрологии и квалиметрии, можно сказать, что сущность метрологии – измерения (физических величин в физическом эксперименте), а сущность квалиметрии – количественная оценка (с учетом нефизических и (или) физических величин) объектов.

Вследствие этого, с одной стороны, можно сказать, что метрология функционально является разделом квалиметрии (несмотря на более раннее формирование метрологии как науки) вследствие более широкого диапазона применения квалиметрии и возможного включения в свой функционал аппарата метрологии.

С другой стороны, метрология – наука об измерениях, методах достижения их единства и требуемой точности (определение дано в БСЭ и в десятках других авторитетных изданий), где *измерение* – совокупность операций, выполняемых для определения количественного значения величины (Федеральный закон от 26 июня 2008 г. № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений»). Но еще значительно раньше Российская метрологическая энциклопедия определяла измерение в широком смысле слова как нахождение соответствий между числами и объектами, их состояниями или процессами по какому-то определенному правилу с применением различных шкал.

В связи с этим понимание квалиметрии (в широком смысле – мнение

автора и др.) как научной дисциплины, изучающей методологию и проблематику количественного оценивания качества объектов любой природы, позволяет сделать вывод, что *квалиметрия является частью общей метрологии*.

Можно также предположить, что развитие квалиметрии, предполагающей в настоящее время более низкие требования к точности измерений (оценок), чем при использовании метрологического аппарата, будет двигаться к повышению этих требований в направлении соответствия в отдельных аспектах требованиям метрологии.

В соответствии с сегодняшним официальным пониманием, квалиметрия (Кв) – область науки, предметом которой являются количественные методы оценки качества *продукции* [5]. Это определение представляет квалиметрию в узком смысле.

Под единицей продукции понимается отдельный экземпляр штучной продукции или определенное в установленном порядке количество нештучной или штучной продукции [6].

При этом продукция может быть завершённой или незавершённой, находящейся в процессе изготовления, добывания, ремонта, эксплуатации, транспортирования, хранения.

В стандарте [7] упоминаются четыре общие категории продукции:

- услуги (например, перевозка);
- программные средства (например, компьютерная программа, словарь);
- технические средства (например, двигатель, механическая деталь);
- переработанные материалы (например, смазка).

Многие виды продукции содержат элементы, относящиеся к разным общим категориям продукции. Называется ли в этом случае продукция услугой, программным продуктом, техническим средством или переработанным материалом, будет зависеть от главного элемента.

Таким образом, в настоящее время квалиметрия занимается (как де-юре, так и де-факто) оценкой качества «штучных» неодушевленных объектов.

Однако все чаще возникает необходимость оценки не только продукции, но и систем. При этом, чем сложнее системы (например, техника, общество и др.), тем больше в этом необходимость.

Строгого, единого определения понятия «система» в настоящее время нет. Варианты определения системы [8]:

- 1) «комплекс элементов, находящихся во взаимодействии» (Л. Бертаманфи);

- 2) «нечто такое, что может изменяться с течением времени», «любая совокупность переменных,.. свойственных реальной логике» (Р. Эшби);

- 3) «множество элементов с соотношением между ними и между их атрибутами» (А. Холл, Р. Фейдшин);

- 4) «совокупность элементов, организованных таким образом, что изменения, исключения или введение нового элемента закономерно отражаются на остальных элементах» (В. Н. Топоров);

- 5) «взаимосвязь самых различных элементов», «все состоящее из связанных друг с другом частей» (С. Бир);

- 6) «отображение входов и состояний объекта на выходе объекта» (М. Месарович);

- 7) объективное единство закономерно связанных друг с другом предметов, явлений, а также знаний о природе и обществе.

Обобщенное определение [7]:

Система – это полный, целостный набор элементов, взаимосвязанных между собой так, чтобы могла реализовываться функция системы.

Математически суть системы в целом (по максимуму):

$$S \equiv \{A, F, R, Z, X, Y, SR, \Delta T, U\},$$

где A – множество элементов системы; F – множество функций элементов A ; R – множество связей в системе; Z – цели системы; X – множество входов системы; Y – множество выходов системы; SR – параметры среды, в которой функционирует система; ΔT – интервал времени рассмотрения системы; U – управляющие воздействия на систему.

По сложности различают системы [7]:

- *простые* – с достаточной степенью точности могут быть описаны известными математическими соотношениями. Их изучение может быть проведено методами традиционных технических дисциплин (радиотехники, электроники, механики и др.); Например, отдельные детали, механизмы, электрические цепи, и т. д.;
- *большие* – число подсистем очень велико, а состав разнороден. Это, например, пространственно-распределенные системы, обладающие особо большими размерами, сложной иерархической структурой, высоким уровнем неопределенности в описании систем, а именно: промышленные предприятия, отрасли промышленности, системы связи, АСУ и др.;
- *сложные системы*, их признаки:

- 1) если для ее построения и исследования требуется привлечение многих моделей, методов, теорий, научных дисциплин;

2) если сколь угодно подробно и точное знание морфологии (устройства) не раскрывает ее функцию (действие), а сколь угодно длительное наблюдение за поведением системы не позволяет предсказать ее дальнейшее поведение;

3) характеризуется большим числом элементов, многообразием связей, разнородностью структурных элементов и многообразием их природы;

4) обладает свойствами, которыми не обладает ни одна из ее частей;

5) допускает разделение на подсистемы, изучение каждой из которых, с учетом влияния других подсистем, имеет содержательный характер;

6) способна осуществлять выбор своего поведения;

7) формируется в условиях существенной неопределенности, и воздействие среды на нее обуславливает неопределенный характер изменения ее параметров и структуры.

С учетом этого возникает вопрос: может ли дать оценку качества таких систем квалиметрия в современном ее виде?

Анализ существующих нормативных документов, касающихся квалиметрии – оценки качества продукции, показал, что:

1) в ГОСТах и методиках в качестве объектов оценки обозначена исключительно «продукция». Не рассматривается оценка сложных систем (технических, эргатических, организационных, социальных);

2) квалиметрическая оценка качества продукции и определенных простых систем (сущность которых показана выше), как де-юре, так и де-факто, не может быть получена без наличия базы для сравнения соответствующих показателей, определяющих свойства и качества продукции;

3) существующие шкалы K_v не позволяют дать оценку качества сложных систем, когда для оценки отдельных свойств необходимо привлечение именно метрологии;

4) все множество свойств объекта разделяется на два непересекающихся множества – «качество» и «экономика»;

5) получаемые соотношения сравниваемых свойств выражены количественно и не предполагают их сравнения с базовыми значениями по лин-

гвистическим шкалам для оценки полезности результатов сравнения.

(Лингвистические оценки – оценки, когда исходные элементы информации (единичные показатели качества) в функции оценивания представлены словами или фразами естественного языка, множеством семантических смысловых единиц, типа «отличной», «хорошей», «пригодной», «не пригодной» и пр.).

Как показывает анализ [9], существующие методы оценки уровня качества (квалиметрические) могут применяться (с присущими им недостатками) только для оценки продукции (см. выше), а также, с ограничениями, и некоторых простых и больших систем.

Таким образом, существующие методы квалиметрии (и тем более метрологии) не позволяют проводить оценку функционирования сложных систем, поэтому актуальным является развитие методов квалиметрии.

Для этого предлагается ввести понятие «**квалиметрия сложных систем**» (КСС) и рассматривать ее как раздел метрологии (в частности, квалиметрии), определяющий методологию, методический аппарат оценки функционирования (уровня качества) сложных систем и область их применения.

Анализ показал [9], что в рамках КСС перспективный методический аппарат оценки функционирования (уровня качества) сложных систем (объектов) должен, по возможности, обеспечить:

- понятную и доступную формализацию объекта исследований с определением показателей качества различных уровней и их взаимосвязи;
- комплексную оценку уровня качества систем (объектов) с учетом внутренних и внешних факторов различной физической природы (ФРФП), как параметрических, так и непараметрических, в том числе – нестационарных;
- использование для оценки всей доступной информации на момент оценки информации (детерминированной, расчетной, экспертной);
- возможность (часто необходимость) использования методов метрологии с возможностью интегра-

ции полученных этими методами результатов в оценку систем;

- возможность оперативного задания исходных данных и получения результатов в масштабе времени, близком к реальному.

Возможность (часто необходимость) использования методов метрологии важна для оценки при помощи методического аппарата КСС сложных технических, эргатических, организационных и социальных систем.

Очевидно, что методический аппарат КСС, способный проводить оценку уровня качества (и/или) функционирования) сложных систем, будет способен оценивать и уровень качества продукции, а также простых и больших систем.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Шишкин И. Ф.* Теоретическая метрология. – Ч. 1: Общая теория измерений: учебник для вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Питер, 2010.
2. РМГ 29–2013 ГСИ. Метрология. Основные термины и определения.
3. *Субетто А. И.* Квалиметрия: малая энциклопедия. – Вып. 1. – СПб.: ИПЦ СЗИУ–филиал РАНХиГС, 2015. – 244 с.
4. *Шапошников В. А.* Квалиметрия: учеб. пособие. – Екатеринбург: Изд-во Росс. гос. проф.-педагог. ун-та, 2016. – 134 с. – Электронный ресурс. Режим доступа: <http://elar.rsvpu.ru/handle/123456789/20925>.
5. ГОСТ 15467–79. Управление качеством продукции. Основные понятия, термины и определения.
6. ГОСТ 15895–77. Статистические методы управления качеством продукции. Термины и определения.
7. ИСО 9000: 2005. Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь.
8. *Захаров Е. Н.* Курс лекций по системному анализу. – Королев, МГОТУ, 2019.
9. *Захаров Е. Н., Угнатов Н. Н., Гомзяков Н. В.* Анализ существующих методов оценки уровня качества объектов. – Сб. тр. ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России, 2021, т. 1, с. 74–81.
10. *Кириллов В. И.* Квалиметрия и системный анализ: учеб. пособие. – Минск: Новое знание; М.: ИНФРА-М, 2011. – 440 с. (Высшее образование).
11. *Чекмарев А. Н.* Квалиметрия и управление качеством: учеб. пособие. – Ч. 1: Квалиметрия. – Самара: Изд-во Самар., гос. аэрокосм. ун-та, 2010. – 172 с.
12. *Федюкин В. К.* Квалиметрия. Измерение качества промышленной продукции: учеб. пособие. – М.: КНОРУС, 2013. – 316 с. ■

В АО «Морские навигационные системы» проводятся работы по созданию оптико-электронной системы (ОЭС) полуавтоматического определения места по визуальным ориентирам «Окулист». Для управления данной системой определения места по визуальным ориентирам разрабатывается специальное программное обеспечение (ПО [4], в которое целесообразно включить решение задач определения места судна по трем пеленгам (двум горизонтальным углам) и по горизонтальному углу между выбранным береговым ориентиром и навигационным створом. Второй способ представляется как частный случай определения места по двум углам при равенстве нулю одного из измеряемых углов.

Предполагаемое в ОЭС квазиодновременное измерение горизонтальных углов на ориентиры с известными координатами значительно повышает точность системы [1]. Кроме того, решение задач этими известными способами не требует дополнительного анализа (разгона возможного треугольника погрешностей), для подтверждения корректности полученного обсервованного места судна

Дальность действия ОЭС ограничивается небольшими расстояниями (не более 15–20 км), что позволяет не учитывать сферичность Земли, т.е. решать задачи на горизонтальной плоскости. Определение места судна осуществляется с помощью электронной навигационной информационной системы (ЭНИС) «Аляска-Ч», использующей электронные навигационные карты в проекции Меркатора в формате S-57.3. Все исходные данные и вычисления представляются и выполняются в географических координатах (по широте φ и долготе λ). Учитывая, что ОЭС оперирует на небольших расстояниях, для упрощения промежуточных расчетов, по возможности, целесообразно воспользоваться местной прямоугольной системой координат (X, Y).

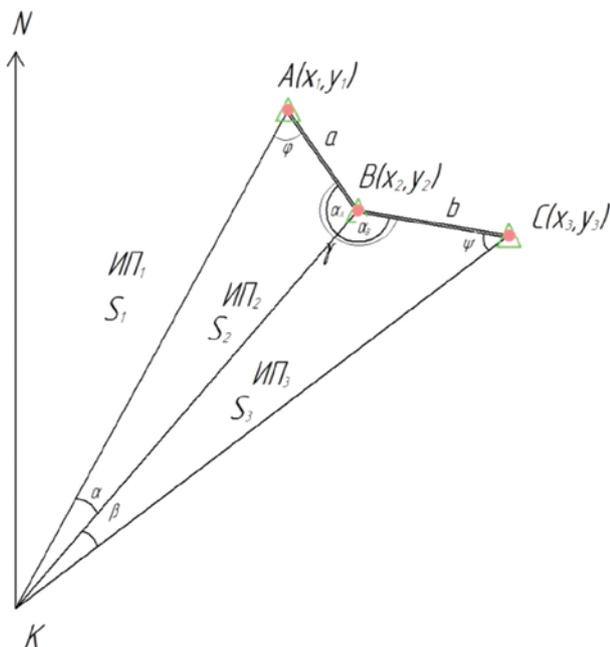


Рис. 1. Определение места судна по трем пеленгам (двум горизонтальным углам)

Перевод координат φ, λ в X, Y осуществляется по следующим формулам [2]:

$$X = (\lambda - \lambda_0) R; \quad (1)$$

$$Y = R \cdot \ln \left(\operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} \right) \left(\frac{1 - e \cdot \sin \varphi}{1 + e \cdot \sin \varphi} \right)^{\frac{e}{2}} \right); \quad (2)$$

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТА СУДНА ВИЗУАЛЬНЫМИ СПОСОБАМИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОЙ СИСТЕМЫ

Н.А. Нестеров, *д-р техн. наук, проф., гл. науч. сотрудник АО «МНС», контакт. тел. 8 (812) 320 3840*

где R – длина большой полуоси эллипсоида ($R = 6378137$ м); e – эксцентриситет эллипсоида ($e = 0,081819191$); λ_0 – долгота осевого меридиана.

Базовые расстояния между выбранными ориентирами (a, b) могут быть рассчитаны по формулам

$$a = 6378137 \cdot \frac{\arccos(\sin \varphi_1 \cdot \sin \varphi_2 + \cos \varphi_1 \cdot \cos \varphi_2 \cdot \cos(\lambda_2 - \lambda_1))}{57,3}; \quad (3)$$

$$b = 6378137 \cdot \frac{\arccos(\sin \varphi_2 \cdot \sin \varphi_3 + \cos \varphi_2 \cdot \cos \varphi_3 \cdot \cos(\lambda_3 - \lambda_2))}{57,3}. \quad (4)$$

Формулы для расчета места судна (X_k, Y_k) следующие [3]:

$$\operatorname{tg}(\text{ИП}_1) = \frac{Y_1(\operatorname{ctg} \mu - \operatorname{ctg} \alpha) + Y_2 \operatorname{ctg} \alpha - Y_3 \operatorname{ctg} \mu + X_3 - X_2}{X_1(\operatorname{ctg} \mu - \operatorname{ctg} \alpha) + X_2 \operatorname{ctg} \alpha - X_3 \operatorname{ctg} \mu + Y_3 - Y_2}, \quad (5)$$

где X_i, Y_i – координаты i -го ориентира; ИП₁, ИП₂, ИП₃ – истинные пеленга на ориентиры А, В и С соответственно; α, β – углы между пеленгами на ориентиры А, В и С;

$$\mu = \alpha + \beta; \quad (6)$$

$$(\text{ИП}_2) = (\text{ИП}_1) + \alpha; \quad (7)$$

$$(\text{ИП}_3) = (\text{ИП}_1) + \mu. \quad (8)$$

Определяя место по трем пеленгам (двум горизонтальным углам), прямоугольные координаты судна рассчитываются по формулам

$$X_{k1} = \frac{X_1 \operatorname{tg}(\text{ИП}_1) - X_2 \operatorname{tg}(\text{ИП}_2) + Y_2 - Y_1}{\operatorname{tg}(\text{ИП}_1) - \operatorname{tg}(\text{ИП}_2)}; \quad (9)$$

$$X_{k2} = \frac{X_2 \operatorname{tg}(\text{ИП}_2) - X_3 \operatorname{tg}(\text{ИП}_3) + Y_3 - Y_2}{\operatorname{tg}(\text{ИП}_2) - \operatorname{tg}(\text{ИП}_3)}; \quad (10)$$

$$Y_{k1} = (X_{k1} - X_1) \operatorname{tg}(\text{ИП}_1) + Y_1; \quad (11)$$

$$Y_{k2} = (X_{k2} - X_3) \operatorname{tg}(\text{ИП}_3) + Y_3; \quad (12)$$

$$X_k = \frac{X_{k1} + X_{k2}}{2}; \quad (13)$$

$$Y_k = \frac{Y_{k1} + Y_{k2}}{2}. \quad (14)$$

Обратный перевод координат судна в географические производится по формулам

$$\lambda = \frac{X_k}{R} + \lambda_0; \quad (15)$$

$$\varphi = \frac{\pi}{2} - 2 \operatorname{arctg} \left(e^{-\frac{Y_k}{R}} \cdot \left(\frac{1 - e \cdot \sin \varphi}{1 + e \cdot \sin \varphi} \right)^{\frac{e}{2}} \right). \quad (16)$$

Существующие подходы к определению погрешности данного способа ориентированы и ориентируются на измеряемые расстояния. Но расстояния до ориентиров отсчитываются от приближенных счислимых координат судна. В предлагаемом варианте решения задачи исключается необходимость привлечения для расчетов приближенных координат и приводятся формулы для вычисления погрешности определения места на основе только измерения горизонтальных углов.

Расчет средней квадратической погрешности (СКП) m_k определения места судна по трем ориентирам на основе измеренных горизонтальных углов и известных (рассчитан-

ных) расстояниях между ориентирами проводится по формуле [1]

$$m_k = m_n \sqrt{\frac{S_2^2 S_3^2 + S_3^2 S_1^2 + S_1^2 S_2^2}{S_2^2 \sin^2 \alpha + S_1^2 \sin^2 \beta + S_2^2 \sin^2 \gamma}}, \quad (17)$$

где m_n – СКП определения пеленга (направления) на ориентир; α, β, γ – углы между пеленгами на ориентир 1–2, 2–3 и между базами a и b ; S_1, S_2, S_3 – рассчитанные расстояния до ориентиров 1, 2, 3 соответственно:

$$S_2 = \frac{b \sin \psi}{\sin \beta}; \quad (18)$$

$$S_1 = \sqrt{a^2 + S_2^2 - 2aS_2 \sin \varphi}; \quad (19)$$

$$S_3 = \sqrt{b^2 + S_2^2 - 2bS_2 \sin \psi}, \quad (20)$$

где ψ – угол между базой b и пеленгом на ориентир C :

$$\psi = \arcsin \frac{a \sin \beta \cdot \sin \gamma}{b \sin(\alpha + \beta + \gamma)}; \quad (21)$$

$$\gamma = \alpha_A + \alpha_B; \quad (22)$$

$$\alpha_A = \arctg \left(\frac{X_2 - X_1}{Y_2 - Y_1} \right); \quad (23)$$

$$\alpha_B = \arctg \left(\frac{X_3 - X_2}{Y_3 - Y_2} \right); \quad (24)$$

$$\varphi = 360^\circ - (\alpha + \beta + \gamma) - \psi. \quad (25)$$

Для количественной оценки СКП способа примем $m_n = 1^\circ$, $S_1 = S_3 = 3$ км, $S_2 = 2$ км, $\alpha = \beta = 30^\circ$, длины баз между ориентирами 2 км, получим $m_k \approx 0,077$ км ≈ 77 м.

Рассматривая способ определения места по горизонтальному углу между выбранным береговым ориентиром и навигационным створом, определяемое место судна находится в точке пересечения линии створа (СТ) и линии пеленга, измеренного ОЭС (рис. 2).

Место судна (X_k, Y_k) рассчитывается по формуле

$$X_k = \frac{X_1 \operatorname{tg}(\text{ИП}_1) - X_{n2} \operatorname{tg}(\text{СТ}) + Y_{n2} - Y_1}{\operatorname{tg}(\text{ИП}_1) - \operatorname{tg}(\text{СТ})}; \quad (26)$$

$$Y_k = (X_k - X_1) \operatorname{tg}(\text{ИП}_1) + Y_1,$$

где X_1, Y_1 – координаты ориентира; X_{n2}, Y_{n2} – координаты переднего створного знака.

Перевод координат φ и λ в X, Y и обратно осуществляется по формулам (1), (2) и (15), (16).

Для определения СКП места судна по створу и ориентир m_k могут быть использованы формулы [1]:

$$m_k = \frac{1}{\sin \omega} \sqrt{\left(\frac{D_k \cdot D}{d_1} \right)^2 m_n^2 + \left[\frac{D(D+d)}{d} \right]^2 m_c^2}; \quad (27)$$

$$\gamma = \arccos \frac{|X_1 X_2 + Y_1 Y_2 + X_3 Y_3|}{\sqrt{X_1^2 + X_2^2 + X_3^2} \cdot \sqrt{Y_1^2 + Y_2^2 + Y_3^2}}; \quad (28)$$

$$D = \frac{d_1}{\sin \alpha} \cdot \sin \beta; \quad (29)$$

$$D_k = \frac{d_1}{\sin \alpha} \cdot \sin \gamma; \quad (30)$$

$$\omega = \alpha, \quad (31)$$

где α – угол между створом и пеленгом на ориентир; ω – угол между линиями положения (ЛП) 1 и 2; m_n – СКП

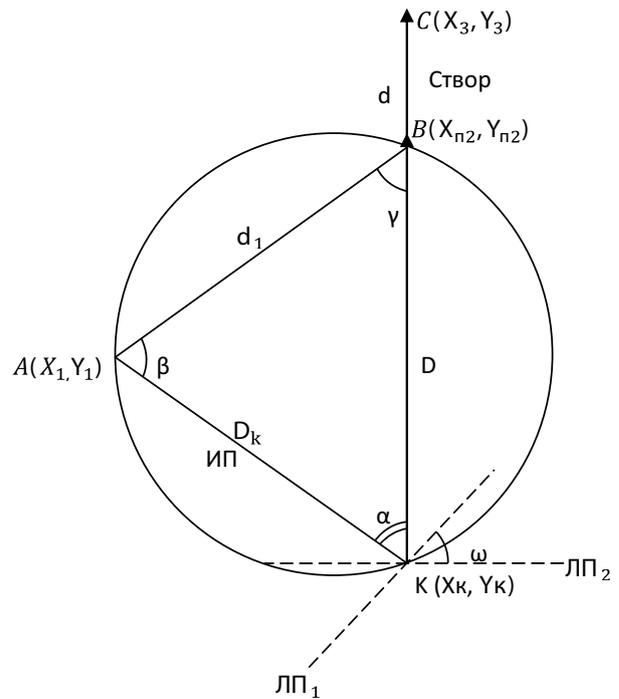


Рис. 2. Определение места судна по створу и горизонтальному углу

измерения ОЭС пеленга на ориентир; m_c – СКП измерения ОЭС направления линии створа; D_k – расстояние до ориентира (км); D – расстояние от переднего створного знака до судна; d – расстояние между створными знаками (км); d_1 – расстояние между ориентиром и передним створным знаком (км).

Для количественной оценки СКП определения места судна примем $\alpha = 30^\circ$, $m_n = 1^\circ$, $m_c = 1^\circ$, $D = 3$ км, $D_k = 2$ км, $d = d_1 = 1$ км. Получим $m_k \approx 0,047$ км ≈ 47 м.

Решение рассматриваемых в статье навигационных задач сводится к нахождению координат судна, которые определяются по двум горизонтальным углам и по горизонтальному углу между береговым ориентиром и направлением створа. Использование локальных прямоугольных координат упрощает процесс вычислений и позволяет получать с высокой точностью координаты судна. Способы не демаскируют судно и могут быть применены при отсутствии работы радиолокационных и радионавигационных (в том числе и спутниковых) систем в сложных условиях плавания, например, при проходе узкостей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Белобров А.П. Гидрографические работы (дополнительные вопросы). – СПб.: Изд. ГУ ВМС, 1951. – 208 с.
2. Практическая картография/блог Алексея Воронина. – <https://blog.foxylab.com/prakticheskaya-kartografiya/?ysclid=m8afvlyqrf800800204>
3. Инструкция по промеру (ИП-64) УГС ВМФ МО СССР. – 440 с.
4. Патент на изобретение «Оптико-электронный модуль навигационной системы». – Св-во о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2024683074 от 04.10.2024. Рег. номер № 2025127542 от 08.10.2025. ■

Методы расширения спектра сигналов известны с середины прошлого века. Они оказались востребованы в первую очередь благодаря высокой помехозащищенности, сложности обнаружения факта работы системы связи и низкой вероятности перехвата сигнала [1–4].

Особенности систем связи с расширением спектра:

- используемая для передачи полоса существенно шире минимально необходимой;
- расширение спектра реализуется за счет сигнала, не зависящего от передаваемой информации;
- спектральная плотность мощности сигнала может быть ниже уровня шума в канале связи;
- методы расширения спектра позволяют осуществлять кодовое разделение сигналов при их одновременной передаче на одной несущей частоте.

Существуют различные методы расширения спектра [1, 2], среди которых наибольшее распространение получили три метода: линейная частотная модуляция (ЛЧМ), метод расширения спектра прямой последовательностью (МПП), псевдослучайная перестройка рабочей частоты (ППРЧ).

При расширении спектра ЛЧМ [5, 6] частота несущего радиосигнала в зависимости от времени либо нарастает (UpChirp), либо убывает (DownChirp) по некоему линейному закону. Ранее ЛЧМ модуляция применялась в основном в радиолокации, так как на приемнике, благодаря острой автокорреляционной функции, можно с высокой точностью установить вре-

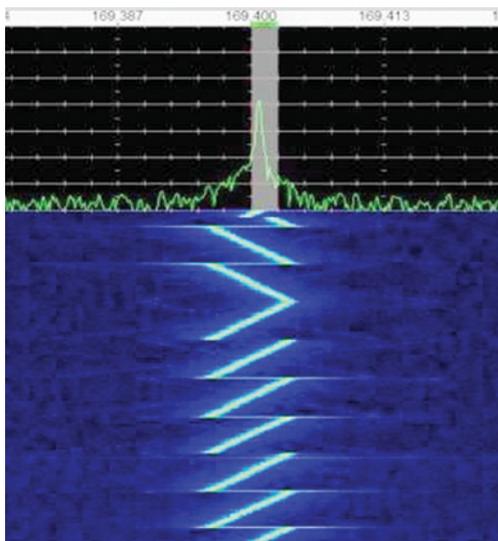


Рис. 1. Прием ЛЧМ сигнала в окне водопада SDR-приемника

ИССЛЕДОВАНИЕ КОМБИНИРОВАННЫХ МЕТОДОВ РАСШИРЕНИЯ СПЕКТРА, ПОВЫШАЮЩИХ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТЬ И СКРЫТНОСТЬ РАДИОКАНАЛА

А.В. Сорокин, зам. ген. директора – гл. конструктор,
К.В. Гольдибаев, ген. директор,
Е.В. Галузов, начальник отдела внедрения аппаратных платформ, АО «ПКБ «РИО»,
Е.А. Рылов, канд. техн. наук, ген. директор АО «НПО «Завод «Волна»,
Е.И. Глушанков, д-р техн. наук, проф. СПбГУТ им. проф. М.А. Бонч-Бруевича,
 контакт. тел. (812) 448 6960, sorokin_a_v@mail.ru, goldibaevk@pkb-rio.com, glushankov57@gmail.com

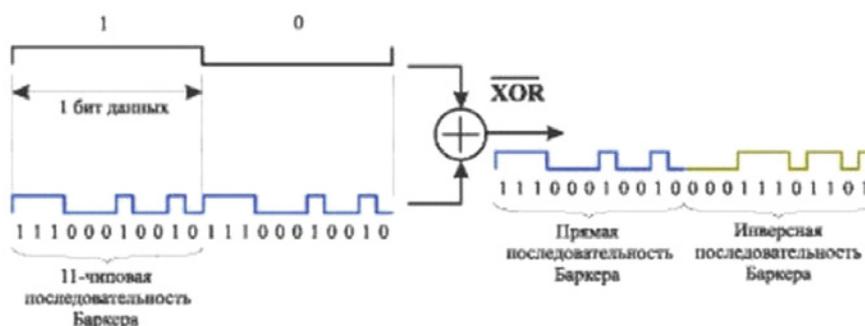


Рис. 2. Расширение спектра применением ПСП

мя отклика от цели. Однако на сегодняшний день, особенно с развитием SDR технологий и применением цифровой обработки сигналов на основе высокопроизводительных программируемых логических интегральных схем (ПЛИС) и цифровых сигнальных процессоров (ЦСП), ЛЧМ начала активно применяться в системах связи, особенно при работе в сложной помеховой обстановке (рис. 1).

При расширении МПП [1, 2] в каждый передаваемый информационный

бит (логический 0 или 1) встраивается последовательность так называемых чипов (чип – бит кодовой последовательности).

Чиповые последовательности, встраиваемые в информационные биты, называют шумоподобными кодами (PN-последовательности, псевдослучайные последовательности – ПСП), что подчеркивает то обстоятельство, что результирующий сигнал становится шумоподобным (рис. 2).

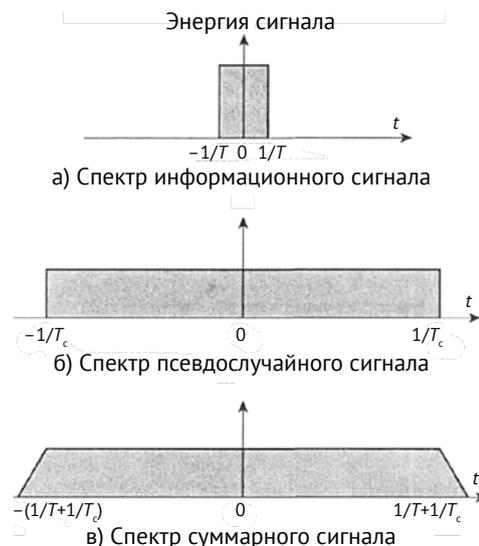


Рис. 3. Приблизительный спектр сигнала МПП

Данный метод позволяет значительно увеличить помехозащищенность и скрытность, при небольших потерях в скорости. Другим основным назначением МПП является кодовое разделение каналов. Используемые для расширения спектра сигнала чиповые последовательности должны удовлетворять определенным требованиям автокорреляции и взаимокорреляции при кодовом разделении каналов для дальнейшего выделения приемником информационного сигнала на уровне шума.

Как показано в [4], расширение спектра при использовании схемы МПП определить довольно просто (рис. 3). В нашем примере ширина полосы одного бита информационного сигнала равна T , что соответствует скорости передачи данных $1/T$. Следовательно, в зависимости от кодировки ширина спектра сигнала будет составлять порядка $2/T$. Подобным образом спектр псевдослучайного сигнала равен $2/T_c$. Получающийся расширенный спектр изображен на рис. 3, в. Степень расширения прямо зависит от скорости передачи псевдослучайной последовательности.

Представление об эффективности МПП можно получить, проанализировав устойчивость системы связи к подавлению. Предположим, что намеренная помеха ставится на центральной частоте системы МПП. Сигнал помех имеет следующий вид:

$$s_j(t) = \sqrt{2S_j} \cos(2\pi \cdot f_c t).$$

Полученный сигнал можно представить так:

$$s_r(t) = s(t) + s_j(t) + n(t).$$

Здесь $s(t)$ – переданный сигнал; $s_j(t)$ – сигнал намеренных помех; $n(t)$ – аддитивный белый шум; S_j – мощность сигнала помех.

Устройство сужения спектра в приемнике умножает $s_r(t)$ на $c(t)$. Компонент сигнала, соответствующий намеренным помехам, можно записать в следующем виде:

$$y_j(t) = \sqrt{2S_j} c(t) \cos(2\pi \cdot f_c t).$$

Таким образом, имеем простое применение модуляции BPSK к несущему тону. Следовательно, мощность несущей S_j распределена в полосе, ширина которой приблизительно равна $2/T_c$. В то же время демодулятор BPSK (рис. 4), следующий за устройством сужения спектра, включает полосовой фильтр с шириной полосы $2/T$, который согласован с данными BPSK. Значит, большая часть мощности помех отфильтровывается. Хотя строго следует учитывать влияние множества факторов, мощность намеренных

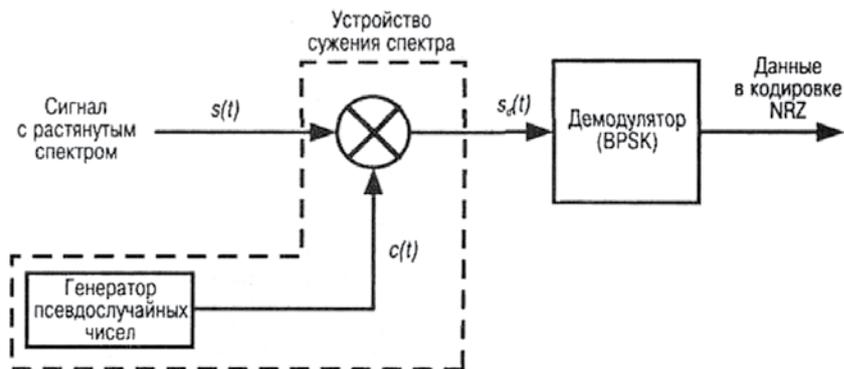


Рис. 4. Прием сигнала МПП

помех, которые не были отсеяны полосовым фильтром, можно записать приблизительно так:

$$S_j F = S_j (2/T) / (2/T_c) = S_j (T_c/T).$$

Как видим, использование расширенного спектра снизило мощность намеренных помех в (T_c/T) раз. Величина, обратная данному коэффициенту, выражает выигрыш в отношении сигнал/шум:

$$G_p = \frac{T}{T_c} = \frac{R_c}{R} = \frac{W_s}{W_d}.$$

Здесь R_c – скорость передачи данных кода расширения; R – скорость передачи данных; W_d – ширина полосы сигнала; W_s – ширина полосы сигнала расширенного спектра.

Расширение спектра методом ППРЧ [1, 2] заключается в частой смене несущей частоты в пределах широкого диапазона, что не допускает перехват или радиоподавление узкополосным шумом. Частота меняется в соответствии с псевдослучайной последовательностью чисел, известной как отправителю, так и получателю (рис. 5 и рис. 6).

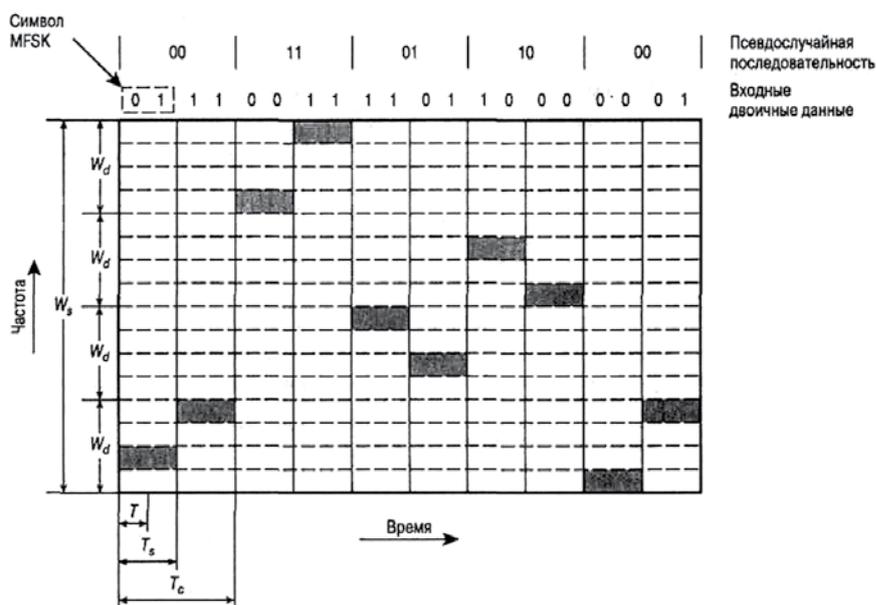


Рис. 5. Расширение спектра с медленной перестройкой частоты (модуляция MFSK, $M = 4, k = 2$)

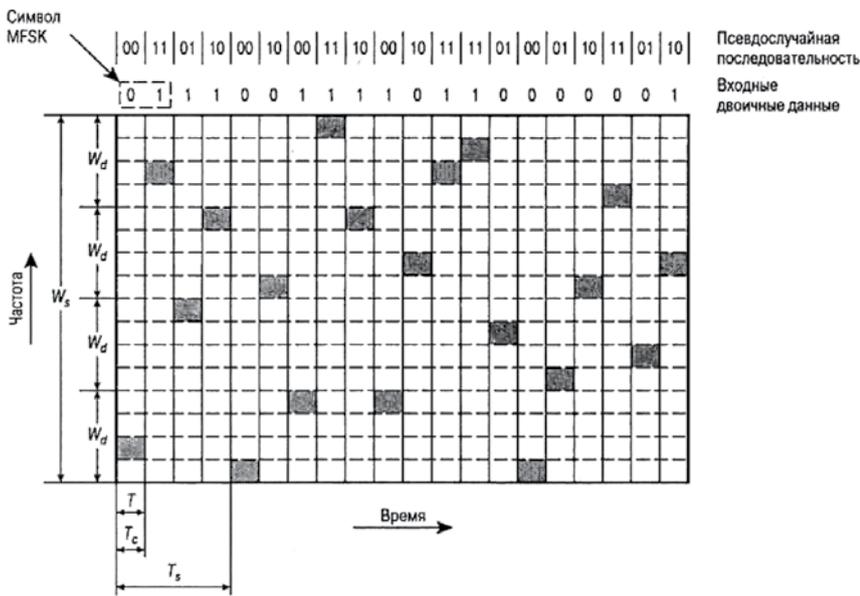


Рис. 6. Расширение спектра с быстрой перестройкой частоты (модуляция MFSK, $M = 4, k = 2$)

принято называть расширением спектра с медленной скачкообразной перестройкой частоты, в противном случае говорят о быстрой перестройке частоты. Подытожим: расширение спектра с медленной перестройкой частоты $T_c \geq T_s$; расширение спектра с быстрой перестройкой частоты $T_c < T_s$.

На рис. 5 приведен пример медленной схемы ППРЧ с использованием сигнала MFSK. Здесь $M = 4$, т.е. для кодирования каждого 2 бит входных данных за такт используется четыре разных частоты. Каждая сигнальная посылка является дискретным частотным тоном. Полная ширина полосы MFSK составляет $W_d = Mf_d$. В данном примере использовалась схема ППРЧ с $k = 2$. Следовательно, всего использовано $4 = 2^k$ различных каналов, ширина полосы каждого из которых равна W_d . Полная ширина полосы ППРЧ равна $W_s = 2^k W_d$. Для выбора одного из четырех каналов используется по 2 бит псевдослучайной последовательности. Выбранный канал используется на протяжении времени передачи двух сигнальных посылок, или 4 бит ($T_c - 2T_s = 4T$).

На рис. 6 приведен пример быстрой схемы ППРЧ с применением того же сигнала MFSK ($M = 4, k = 2$). В данном примере каждая сигнальная посылка соответствует двум частотным тонам. Снова $W_d = Mf_d$ и $W_s = 2^k W_d$. T_s и T_c связаны как $T_s = 2T_c = 2T$. Вообще при наличии шума или намеренных помех быстрая схема дает лучшее качество связи, чем медленная. Например, если для передачи каждой сигнальной посылки используются три частоты или более (элементарных сигналов), приемник принимает решение о том, какая сигнальная посылка была пос-

лана, основываясь на большинстве корректно принятых элементарных сигналов.

Как правило, ППРЧ предусматривает использование большого числа частот, следовательно, W_s намного больше W_d . Одним из преимуществ такого подхода является большая устойчивость системы с большим значением k к воздействию намеренных помех. Предположим, например, что имеется передатчик MFSK с шириной полосы W_d и источник намеренных помех с полосой такой же ширины и фиксированной мощностью S_j на несущей частоте. Тогда отношение энергии сигнала на бит к плотности энергии шума на Герц записывается в следующем виде:

$$\frac{E_b}{N_j} = \frac{E_b W_d}{S_j}$$

При использовании скачкообразной перестройки частоты генератор намеренных помех вынужден будет создавать шум на всех 2^k частотах.

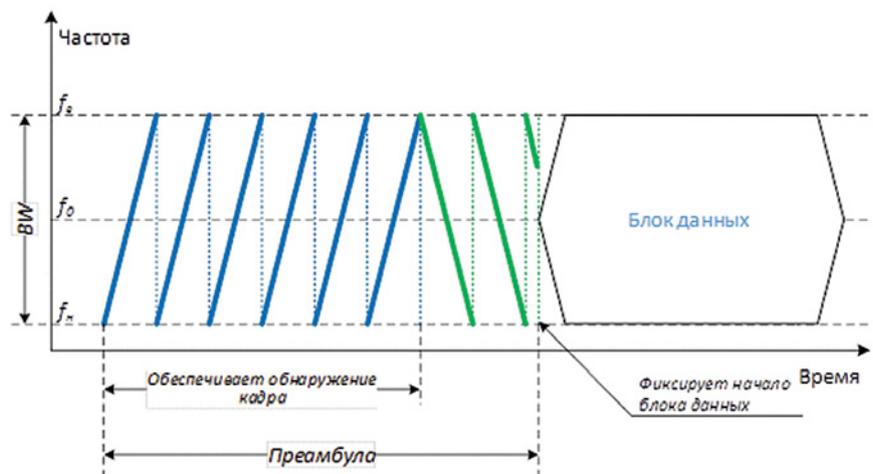


Рис. 7. Структура LoRa-сигнала

Поскольку мощность генератора помех фиксирована, мощность шума на каждой из частот будет равна $S_j/2^k$. Значит, отношение мощности сигнала к мощности шума возрастет на величину, именуемую коэффициентом расширения спектра:

$$G_p = 2^k = W_s/W_d.$$

КОМБИНИРОВАННЫЕ МЕТОДЫ РАСШИРЕНИЯ СПЕКТРА

Исследование расширения спектра методом комбинирования ППРЧ-ЛЧМ. Современные реалии требуют новых подходов к передаче информации с более высокой степенью точности и защиты, одним из таких методов стало комбинирование ППРЧ и ЛЧМ [7, 8]. Такой метод на сегодняшний день применяется массово в FPV-БПЛА (беспилотных летательных аппаратах). Данный метод передачи является крайне помехоустойчивым даже к системам радиоэлектронной борьбы.

Основой для данного комбинированного метода послужили популярный на сегодняшний день LoRa протокол обмена [9] (рис. 7) и программно-реализованная ППРЧ на цифровом сигнальном процессоре.

LoRa-сигнал крайне устойчив к сосредоточенным помехам. Как показывает практика, для подавления такого канала связи требуется генерировать ПСП сигнал с параметрами ЛЧМ-импульсов, идентичными полезному сигналу.

В технологии ELRS за основу взят протокол LoRa, но при передаче применяется ППРЧ. Диапазон перестройки 900...930 МГц. Ширина полосы 1 канала – 500 кГц. Длительность передачи 1 скачка – 20 мс (50 скачков в секунду). Пример приема такого сигнала на SDR приемнике приведен на рис. 8.

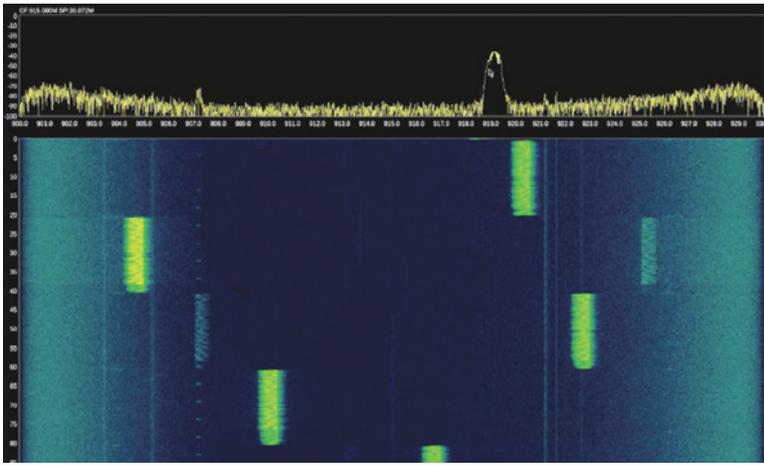


Рис. 8. **Сигнал, модулированный комбинированным методом МППЧ–ЛЧМ**
Здесь каждый пакет на отдельной частоте соответствует рис. 1

Исследование расширения спектра методом комбинирования МПП–ЛЧМ. При использовании данного метода каждый бит информации кодируется псевдослучайной последовательностью (ПСП), имеющей острую

автокорреляционную (АКФ), но при этом каждый элемент ПСП представляет собой ЛЧМ-импульс, имеющий свою острую АКФ (рис. 9).

Была построена и исследована математическая модель модулятора МПП–

ЛЧМ в среде Matlab [8]. Пример сгенерированного сигнала для 5-элементного кода Баркера, модулированного ЛЧМ-импульсами, для логической последовательности «1 0 1» приведен на рис. 10.

Исследование АКФ комбинированного сигнала показало существенный выигрыш по сравнению с АКФ только ЛЧМ-сигнала или ПСП-модулированного сигнала.

Если параметры ЛЧМ импульсов А, В, С, D, Е одинаковы, то при вычислении АКФ можем наблюдать ряд высоких боковых лепестков (рис. 11).

При вычислении автокорреляционной функции

$$\psi(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)f^*(t-\tau)dt;$$

при смещении копии сигнала на t кратное длительности одного ЛЧМ-импульса наблюдаем следующие наложения (рис. 11):

при $A_1 = E_2$ и $B_1 = E_2$ уровень боковых лепестков (УБЛ) АКФ = 1;

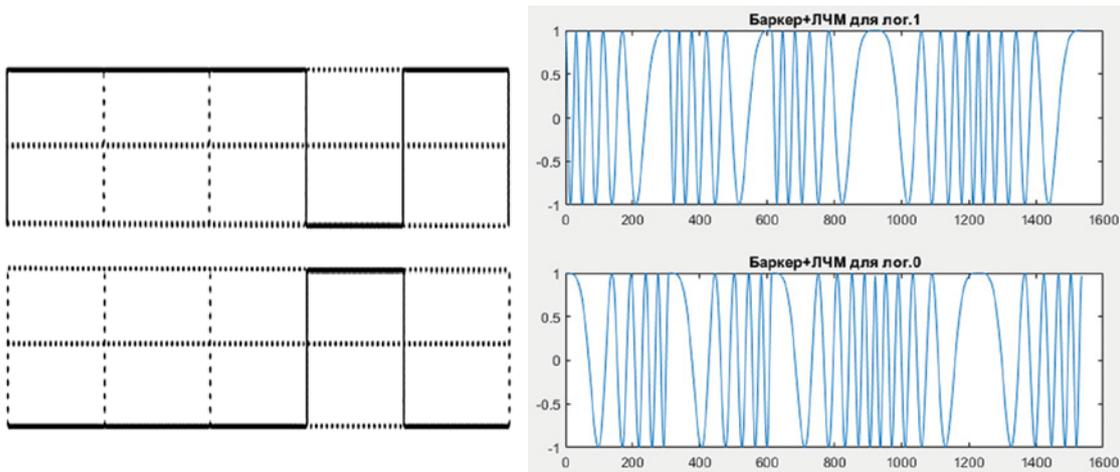


Рис. 9. **Пятиэлементный код Баркера, модулированный ЛЧМ-импульсами**

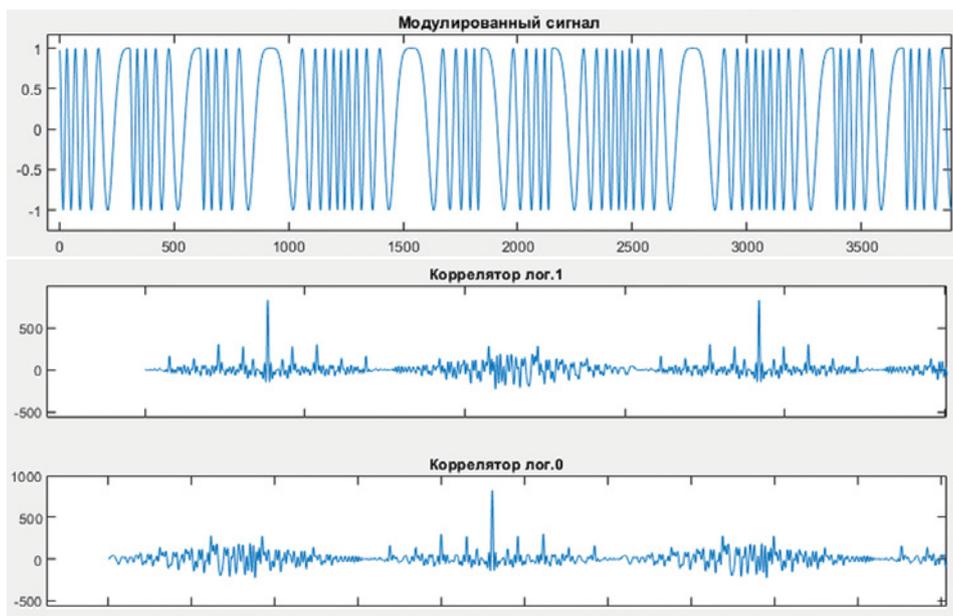


Рис. 10. **ПСП «1 0 1», модулированная комбинированным методом МПП-ЛЧМ для 5-элементного кода Баркера АКФ принятого сигнала на выходе двух корреляторов: логических «0» и логических «1»**

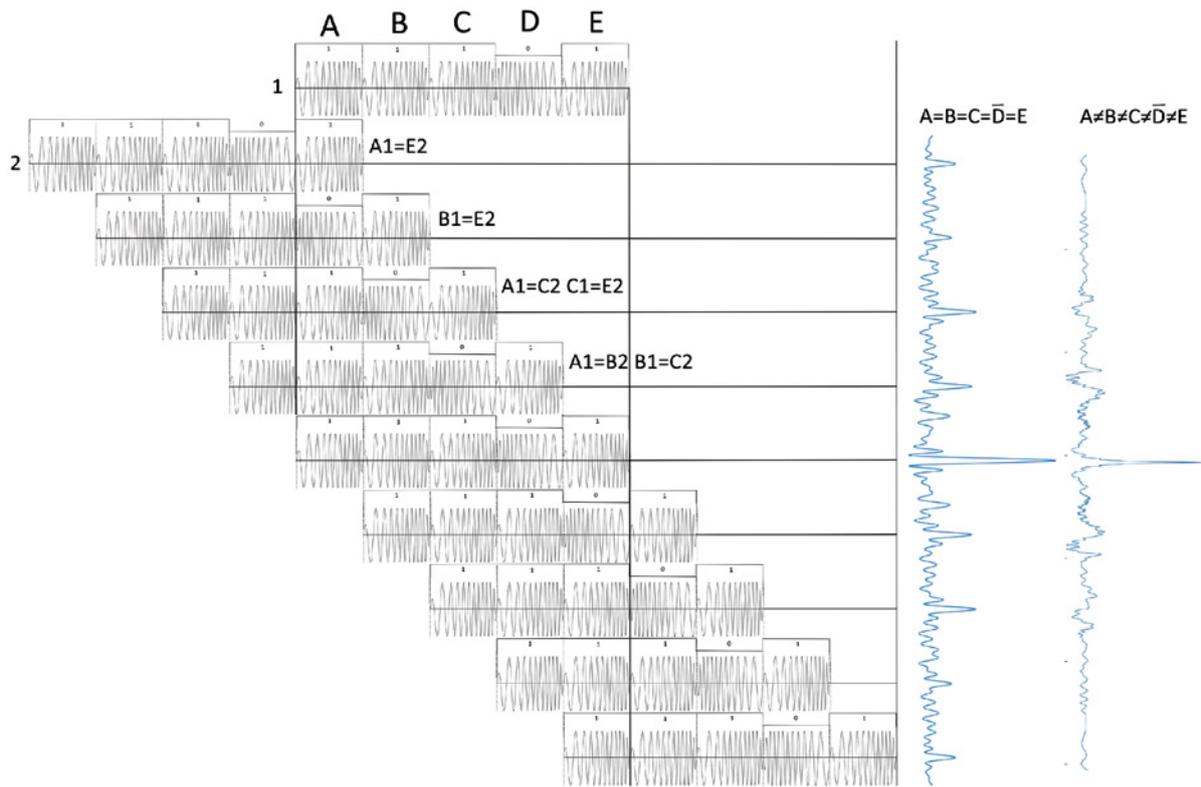


Рис. 11. Последовательное вычисление АКФ 5-элементного сигнала МПП-ЛЧМ

при $A_1 = C_2, C_1 = E_2$ и $A_1 = B_2, B_1 = C_2$ УБЛ АКФ = 2;

соответственно, при полном совпадении $A_1 = A_2, B_1 = B_2, C_1 = C_2, D_1 = D_2, E_1 = E_2$ размер основного лепестка.

Однако, если подобрать параметры всех ЛЧМ-импульсов в последовательности так, чтобы при вычислении АКФ импульсы A, B, C, D, E не коррелировали между собой, можно добиться понижения УБЛ АКФ. Для компенсации предлагается использовать для каждого ЛЧМ-импульса отличные от других ЛЧМ-импульсов в пачке ПСП параметры: длительность, начальную и конечную частоты. Таким образом, при оптимальном подборе параметров всех ЛЧМ в пачке ПСП можно достигнуть требуемого УБЛ.

Основной задачей оптимизации является подбор параметров, при которых УБЛ АКФ комбинированного сигнала компенсируется АКФ отдельных ЛЧМ-сигналов в пачке ПСП. На рис. 11 АКФ без компенсации УБЛ приведена слева, после оптимизации – справа.

Кроме того, возможно уменьшение уровня боковых лепестков центрального максимума. На рис. 12 и рис. 13 демонстрируется результат подбора АКФ отдельных ЛЧМ-импульсов, взаимно компенсирующих боковые лепестки друг друга после оптимизации параметров ЛЧМ-сигналов в пачке ПСП: максимум УБЛ АКФ ЛЧМ-сигнала в пачке может совпадать с минимумом УБЛ АКФ следующего ЛЧМ-сигнала (см. рис. 12).

Для качественной оценки преимуществ модулированного сигнала МПП-ЛЧМ над классической модуляцией с прямым расширением спек-

тра был сформирован 5-элементный код Баркера, модулированный в первом случае сигналом с двоичной фазовой манипуляцией ДФМ (BPSK), а во

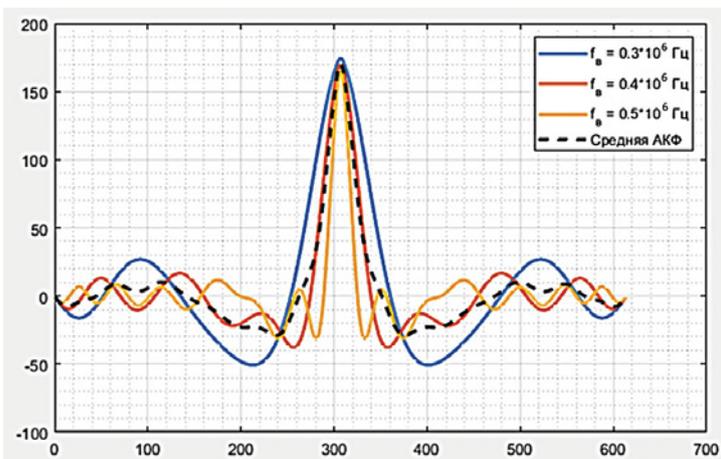


Рис. 12. АКФ ЛЧМ-сигнала с различными граничными частотами и взаимная компенсация боковых лепестков в общей АКФ ПСП

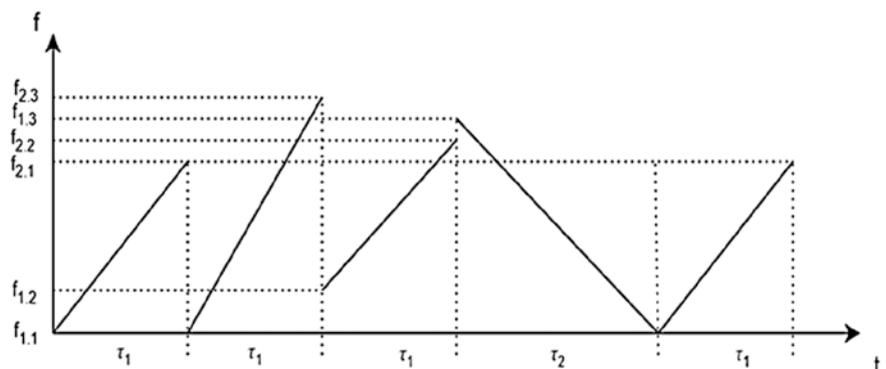


Рис. 13. Кодирование лог. «0» 5-элементной ПСП с совместным изменением сразу трех параметров ЛЧМ-сигнала – f_n, f_n, t_u

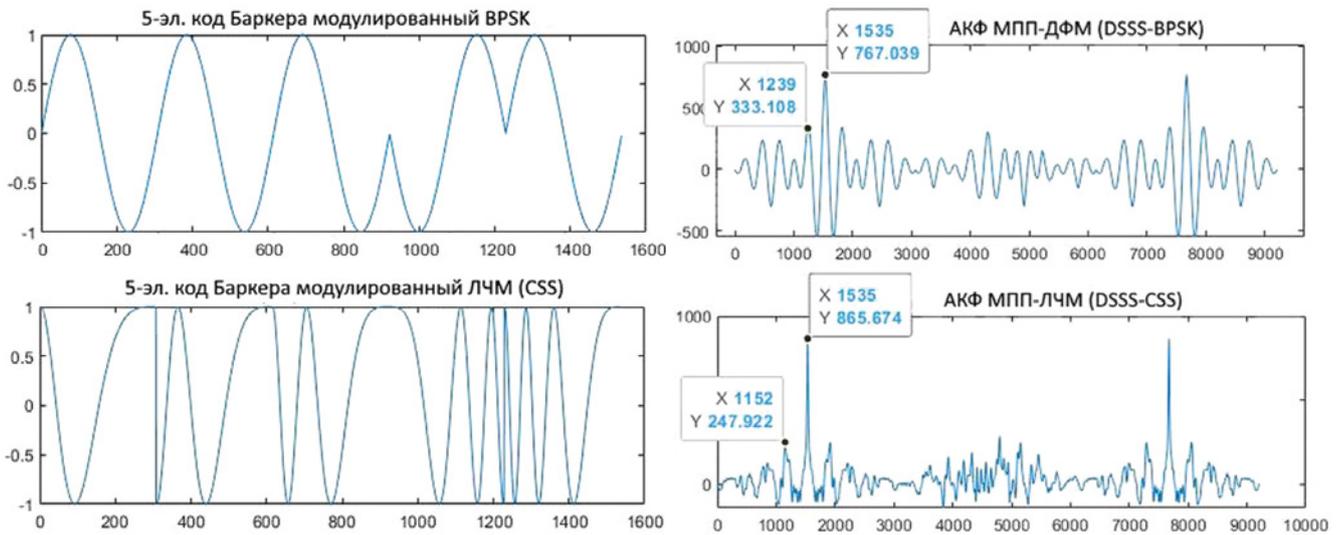


Рис. 14. Пятиэлементный код Баркера модулированный ДФМ и ЛЧМ (слева) и АКФ при приеме логической последовательности «1 0 1» модулированной двумя способами (справа)

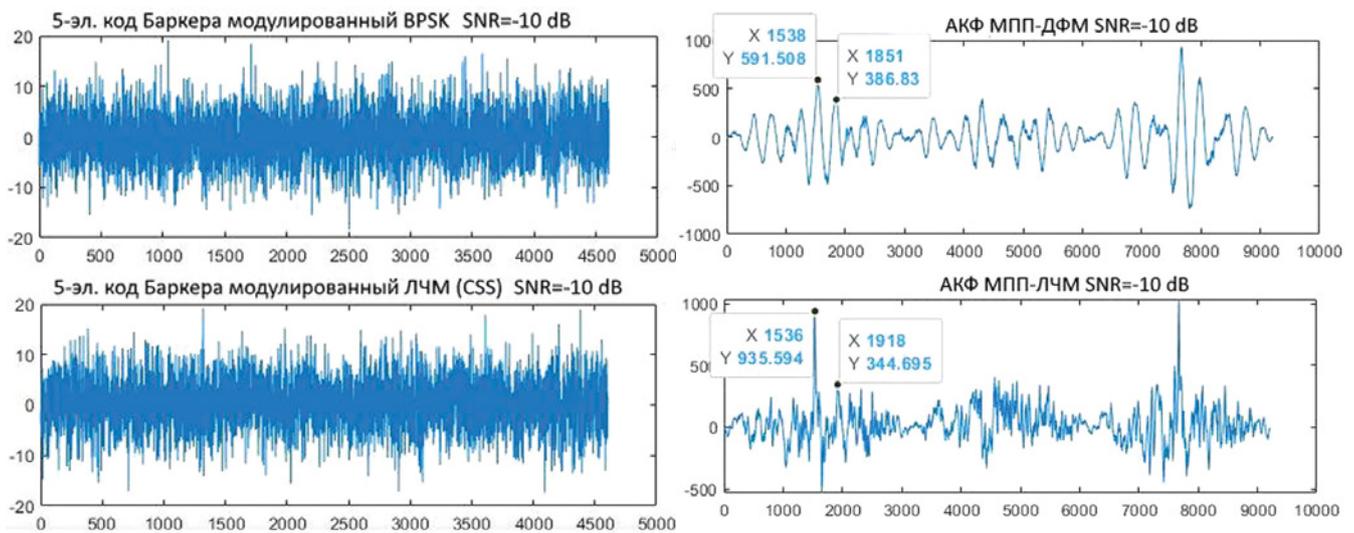


Рис. 15. Пятиэлементный код Баркера, модулированный ДФМ и ЛЧМ, прошедший через канал с АБГШ $C/Ш = -10$ дБ (слева) и АКФ при приеме логической последовательности «1 0 1» при отношении $C/Ш = -10$ дБ для двух случаев (справа)

втором случае последовательностью оптимизированных по характеристикам f_n и f_v ЛЧМ-импульсов (рис. 14) при одинаковой центральной частоте сигналов. Справа от синтезированных сигналов показан выход приемного автокоррелятора для логической последовательности «1 0 1» для обоих случаев.

На рис. 14 виден выигрыш по уровню максимума АКФ на 0,52 дБ в случае МПП-ЛЧМ. УБЛ в случае МПП-ДФМ составляет $-3,62$ дБ, а в случае МПП-ЛЧМ $-5,44$ дБ.

Также сгенерированные сигналы были исследованы при прохождении через канал с аддитивным белым гауссовским шумом (АБГШ) при отношении $C/Ш = -10$ дБ. Результаты представлены на рис. 15. Выигрыш по уровню максимума АКФ в случае модуляции МПП-ЛЧМ составляет 1,99 дБ по отношению к МПП-ДФМ.

УБЛ в случае МПП-ДФМ составляет $-1,85$ дБ, а случае МПП-ЛЧМ $-4,34$ дБ.

Расширение спектра методом комбинирования МПП-ЛЧМ-ППРЧ. Метод, описанный в предыдущем разделе, можно усовершенствовать, применив псевдослучайную перестройку рабочей частоты. Таким образом, в сформированном сигнале появляется сразу три псевдослучайных последовательности, кодирующие сигнал: ПСП параметров ЛЧМ, ПСП прямой расширяющей последовательности, ПСП перестройки радиочастоты. Перехват и декодирование такого сигнала противником многократно усложняется. Примерный вид спектра такого сигнала в водопаде SDR приемника приведен на рис. 16.

В статье [3] приводится зависимость вероятности возникновения ошибки от отношения сигнал/по-

меха в сравнении с тремя модуляциями: МПП, ППРЧ и комбинированным МПП+ППРЧ (рис. 17). Из графика видно, что при малых значениях сигнал/помеха модуляция МПП-ППРЧ лучше, чем просто МПП, а при значениях больших, чем 20 дБ, лучше, чем быстрая псевдослучайная перестройка рабочей частоты (ППРЧ).

В статье [7] в результате моделирования, показаны графики (рис. 18) зависимости возникновения битовой ошибки в системах с расширением спектра в рэлеевском канале передачи. Из графиков видно, что гибридная система МПП-ППРЧ превосходит остальные – это связано с тем, что ППРЧ уменьшает вероятность встречи с помехой, а ПСП подавляет узкополосные помехи и помехи многолучевого распространения.

Таким образом, учитывая показанный выше выигрыш от применения

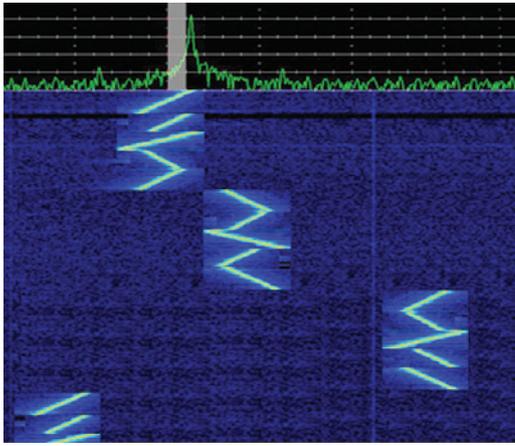


Рис. 16. Расширение спектра комбинированным методом МПП-ЛЧМ-ППРЧ

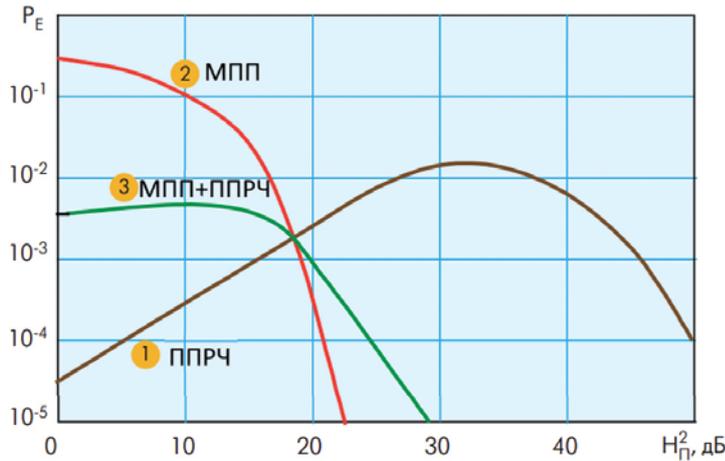


Рис. 17. Вероятность ошибки на бит в зависимости от соотношения сигнал/помеха: 1 – ППРЧ и ответная следящая помеха, 2 – МПП и заградительная помеха, 3 – комбинированная МПП+ППРЧ

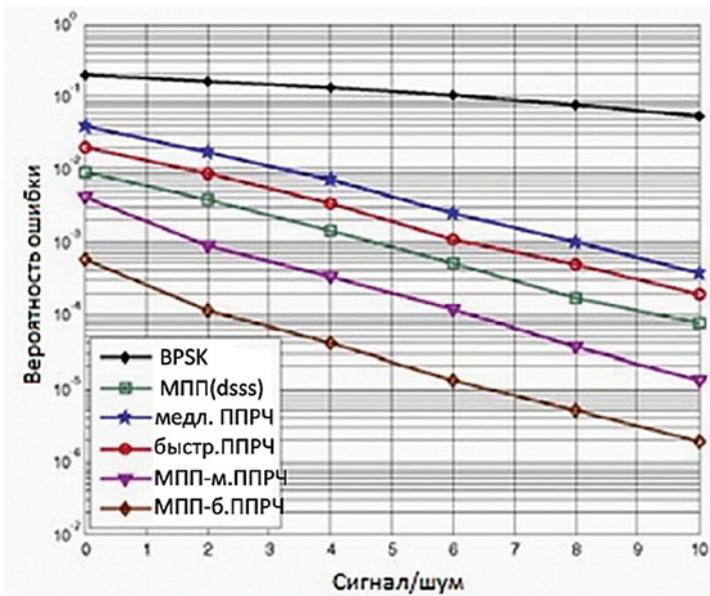


Рис. 18. Вероятность возникновения битовой ошибки в системах с расширением спектра в рэлеевском канале передачи

ЛЧМ сигналов в сравнении с классическими модуляциями, применяемыми при МПП в процессе расширения спектра, а также выигрыш применения ППРЧ, комбинированный метод

МПП-ЛЧМ-ППРЧ будет обладать преимуществом в части противодействия узкополосным помехам, следящим помехам и многолучевому распространению.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Современные реалии показали острую необходимость развития цифровых каналов связи, обеспечивающих скрытную работу под шумами и имеющими высокую стойкость к средствам радиоэлектронной разведки и радиоэлектронной борьбы.

Разработанная модель комбинированного способа модуляции также позволяет проводить исследования более сложных ПСП (например, часто применяемых в связи М-последовательностей или последовательностей Голда) для получения МПП-ЛЧМ сигналов и анализ их характеристик. Сгенерированные и оптимизированные с помощью данной модели сложные сигналы могут также быть усложнены передачей в режиме ППРЧ, что приведет к повышению скрытности и помехозащищенности радиолиний.

ЛИТЕРАТУРА

- Надымов А.В., Титов П.Л. Перспективные средства связи: учеб. пособие для вузов. – Владивосток: Дальневосточный федеральный ун-тет, 2015.
- Феер К. Беспроводная цифровая связь, методы модуляции и расширения спектра. /Пер. с англ. Под ред. В.И. Журавлева. – М.: Радио и связь, 2000.
- Николаев В., Гармонов А., Лебедев Ю. Системы широкополосного радиодоступа 4 поколения: выбор сигнально-кодовых конструкций // Первая мила. – 2010. – Т. 20-21. – № 5-6. – С. 56–59. – EDN PVFTNN.
- Столинс В. Беспроводные линии связи и сети. – М.: ИД«Вильямс», 2003.
- IEEE Std 802.15.4a-2007. – Part 15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs).
- Кириллов С.Н., Лукашин И.В. Анализ эффективности функционирования профиля CSS стандарта IEEE 802.15.4a в условиях действия мешающих факторов // Вестник Рязанского гос. радиотех. ун-та. – 2015. – № 52. – С. 6–10.
- Чебыкин А.Е. Гибридная модуляция с применением прямого расширения спектра и псевдослучайной перестройкой рабочей частоты. – молодых – Мат-лы Межвуз. науч.-техн.конфер. студентов, аспирантов и специалистов им. Е.В. Арменского. – М.: Московский ин-т электроники и математики НИУ ВШЭ, 2017, с. 191–192.
- Сорокин А.В., Рылов Е.А., Гольдибаев К.В., Галузов Е.В. Исследование комбинированных методов широкополосной модуляции цифровых сигналов// Науч.-техн. конфер. Санкт-Петербургского НТО РЭС им. А.С. Попова, посвященная Дню радио. – 2025. – № 1(80). – С. 100–103. – EDN JDGNHXH.
- Технологии связи (iTech). – Офф. сайт. – URL: <https://itechinfo.ru/node/46> ■

С усложнением корабельных систем и роботизированных комплексов повышаются требования к квалификации операторов. Подготовка персонала сложных технических систем должна носить упреждающий характер и формировать устойчивые навыки управления до ввода техники в эксплуатацию.

Традиционные натурные и полунатурные тренажеры [1] сопряжены с высокими затратами и длительными сроками разработки, что часто приводит к их позднему вводу в эксплуатацию или вовсе к отказу от их производства. Данное обстоятельство вынуждает проводить обучение операторов на теоретических макетах или на действующем оборудовании, повышая риски аварийности.

Эффективным решением данного противоречия является переход к широкому внедрению виртуальных тренажеров. Виртуальные решения, имея существенно меньшую стоимость и высокую скорость разработки, способны закрыть значительный объем функциональных задач подготовки (изучение алгоритмов, отработка штатных и аварийных процедур) в соответствии с принципом минимальной достаточности [1]. Однако ключевым требованием к таким тренажерам остается точность моделирования. Под точностью в данном контексте понимается не только фотореалистичность визуального окружения (иммерсивность), но, в первую очередь, адекватность реакции виртуального объекта управления на воздействия оператора [2].

Существующие инструменты разработки трехмерных приложений (так называемые 3D-движки) обладают мощными средствами визуализации, но их встроенные физические ядра оптимизированы для игровых задач и не позволяют выполнять высокоточные инженерные расчеты динамики морских объектов (гидродинамика, баллистика, работа энергетических установок). Специализированные среды математического моделирования (СММ) обеспечивают необходимую точность расчета физических процессов, но лишены средств интерактивной трехмерной визуализации.

Таким образом, возникает необходимость объединения преимуществ обоих классов программного обеспечения. Создание качественного виртуального тренажера невозможно без интеграции среды 3D-визуализации со средой математического моделирования, выступающей в роли «физического ядра» системы. При этом такой подход должен быть универсальным, допускающим использование как за-

АРХИТЕКТУРА И АЛГОРИТМЫ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ИНТЕГРАЦИИ СРЕД МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И 3D-ВИЗУАЛИЗАЦИИ В ТРЕНАЖЕРАХ МОРСКОЙ ТЕХНИКИ

*И. П. Саитов, вед. инженер,
АО «СПМБМ «Малахит»,
контакт. тел. +7 (921) 399 8942, born_s13@mail.ru*

рубежного, так и отечественного программного стека.

Целью настоящей статьи является разработка архитектурных и алгоритмических решений для создания универсального программного комплекса, обеспечивающего интеграцию сред математического моделирования и трехмерной визуализации в единый контур виртуального тренажера морской техники.

ОБЩАЯ АРХИТЕКТУРА КОМПЛЕКСА

Для реализации поставленной цели предложена трехуровневая архитектура программного комплекса (рис. 1), обеспечивающая гибкость, масштабируемость и независимость от конкретных инструментальных средств [1]. В основе архитектуры лежит принцип разделения ответственности между функциональными блоками: среда математического моделирования (СММ) отвечает за расчет физики, среда трехмерной визуализации (3D-движок) – за отображение обстановки и взаимодействие с оператором, а связующим звеном выступает специализированный модуль интеграции (сервер обмена данными).

Среда математического моделирования (СММ). Данный компонент выполняет роль «математического ядра» тренажера. В нем реализуются верифицированные модели динамики морского объекта (уравнения движе-

ния в шести степенях свободы, гидродинамические характеристики, работа движительно-рулевого комплекса и др.). СММ работает в жестком цикле реального времени с фиксированным шагом интегрирования (как правило, от 10 до 100 мс), обеспечивая детерминированность расчетов. В качестве СММ могут выступать как широко распространенные зарубежные пакеты (Matlab Simulink [3], Amesim [4]), так и отечественные решения (SimInTech [5]), обладающие развитыми библиотеками блоков.

Среда трехмерной визуализации (3D-движок). Этот компонент обеспечивает визуальное представление внешней обстановки (акватория, подводный рельеф, погодные условия) и интерьера поста управления (пульты, приборы, индикаторы). В отличие от СММ, 3D-движок (Unity [6], Unreal Engine [7], Unigine [8]) работает в режиме мягкого реального времени, стремясь обеспечить максимальную частоту кадров (FPS) для комфортного восприятия оператором. Его задача – получить текущие параметры состояния объекта от СММ (координаты, углы, значения датчиков) и передать управляющие воздействия оператора (положение рукоятки, нажатие кнопок) обратно в **математическую модель**.

Модуль интеграции (сервер обмена данными) – это ключевой элемент архитектуры, выполняющий функции

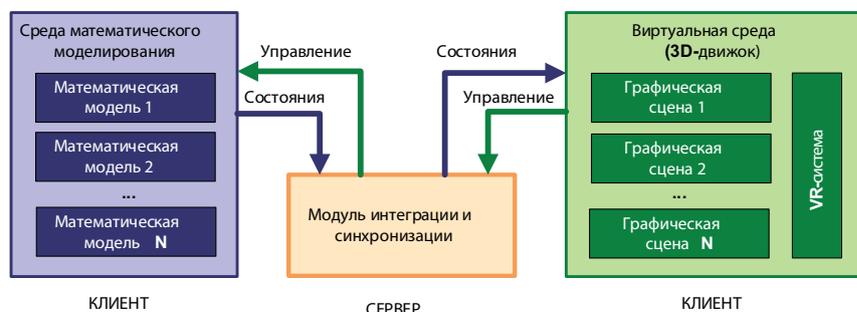


Рис. 1. Структурная схема предлагаемого решения

арбитра, буфера и синхронизатора потоков данных между СММ и 3D-движком. Реализация прямой связи «точка-точка» между разнородными средами нецелесообразна ввиду различий их внутренней логики (тактовая частота физики против переменного FPS графики) и форматов данных. Топология «Звезда» обеспечивает унификацию протоколов, масштабируемость системы и независимость вычислительных процессов математики и графики. В качестве транспортного протокола выбран TCP/IP, обеспечивающий гарантированную доставку данных и возможность распределенного развертывания.

Таким образом, предложенная архитектура тренажера, объединяя лучшие качества специализированных математических пакетов и современных графических технологий, позволяет создать единое информационное пространство.

АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИНТЕГРАЦИИ

Эффективность работы предложенного программного комплекса напрямую зависит от качества реализации алгоритмов обмена данными. Специфика тренажерных систем накладывает жесткие требования: минимальные задержки передачи (Latency), отсутствие потерь управляющих команд и стабильность работы при длительных нагрузках [9,10]. Для выполнения этих требований в модуле интеграции реализован ряд специальных алгоритмических решений.

1. *Алгоритм потоковой обработки данных и борьба с фрагментацией.* Использование протокола TCP гарантирует доставку данных, но не сохраняет границы сообщений – при передаче больших массивов параметров (сотни тысяч сигналов) возможна фрагментация пакетов или их склеивание.

Для решения этой проблемы применен алгоритм чтения «Header First» («Заголовок вперед»). Суть метода заключается в строгой типизации структуры пакета, который всегда начинается с фиксированного заголовка, содержащего информацию о длине полезной нагрузки (размера пакета данных). Процесс приема данных на стороне сервера включает: чтение фиксированного заголовка (8 байт), извлечение размера данных (N), гарантированное чтение N байт.

Такой подход полностью исключает риск обработки неполных или «битых» пакетов, обеспечивая целостность данных математической модели на каждом такте расчета.

2. *Модель разделяемой памяти и синхронизация потоков.* Сервер интеграции функционирует в многопоточном режиме, обслуживая асинхронные запросы от СММ (работающей с фиксиро-

ванным тактом) и среды визуализации (работающей с переменной частотой кадров). Для исключения конфликтов доступа (Data Race), когда один процесс пытается прочитать данные, которые в этот момент обновляет другой процесс, применена модель разделяемой памяти (Shared Memory) с механизмом атомарной блокировки.

В оперативной памяти сервера выделяются два глобальных буфера: «буфер состояния объекта» (записывается СММ, читается визуализацией) и «буфер управления» (записывается визуализацией, читается СММ). Доступ к этим буферам регулируется легковесным механизмом синхронизации (lock), блокирующим память только при копировании массива. Операция занимает наносекунды, не создавая задержек, но гарантируя целостность данных.

3. *Протоколы асинхронного обмена.* Для развязки частот работы разнородных сред реализована гибридная схема обмена. Среда математического моделирования, являясь ведущим звеном, работает в синхронном режиме «Запрос–Ответ», иницируя обмен на каждом шаге интегрирования. Это гарантирует, что физическое время в модели течет строго линейно. Среда визуализации, напротив, работает в асинхронном режиме. Она запрашивает актуальное состояние объекта из буфера сервера с максимально возможной частотой рендеринга и отправляет накопленные управляющие воздействия. Сервер при этом выступает в роли «буфера последнего значения», всегда отдавая клиентам самую свежую имеющуюся информацию. Такой подход позволяет избежать «фризов» (замираний) картинки даже в случае кратковременных задержек в расчетах математики, используя экстраполяцию на стороне визуализации при необходимости.

Совокупность описанных алгоритмов обеспечивает высокую стабильность информационного обмена и позволяет масштабировать систему, увеличивая количество передаваемых параметров до тысяч без существенной деградации производительности.

РЕАЛИЗАЦИЯ КЛИЕНТСКОЙ ЧАСТИ В СРЕДЕ 3D-ВИЗУАЛИЗАЦИИ

Одной из главных проблем интеграции является различная степень готовности программных сред к сетевому взаимодействию [10]. Если современные пакеты математического моделирования зачастую имеют встроенные библиотеки блоков TCP/UDP-коммуникации «из коробки», то графические 3D-движки ориентированы преимущественно на игровую логику и не содержат специализированных инструментов для обмена массивами инженерных данных. В связи с этим необходима разработка

собственной клиентской части на стороне среды визуализации.

В рамках предлагаемого подхода разработана универсальная архитектура программного клиента, реализованная на языке C# (стандарт де-факто для скриптования в современных 3D-движках) [11]. Данная архитектура абстрагирована от специфики конкретного графического ядра и может быть адаптирована для любой среды визуализации. Структурно клиентская часть разделена на три логических уровня:

1. *Сетевой транспортный слой (Network Layer)* – нижний уровень системы, отвечающий за TCP-соединение с сервером интеграции. Реализует алгоритм «Header First» для сборки входящих пакетов и буферизацию исходящих данных. Важной особенностью реализации является использование предварительно выделенных массивов памяти. Это позволяет избежать динамического выделения памяти в каждом кадре, что критично для поддержания стабильной частоты кадров и плавности визуализации, исключая микро-задержки («фризы»), характерные для управляемых языков программирования.

2. *Шина данных (Data Bus)* – центральный компонент клиента, представляющий собой хранилище текущего состояния системы (State). Шина данных реализует паттерн «Одиночка» (Singleton) и предоставляет остальным компонентам приложения единую точку доступа к актуальным значениям физических параметров. Она полностью изолирует сетевую логику от игровой: объекты сцены не «знают», откуда пришли данные (из сети, из файла или из локальной эмуляции), они просто запрашивают необходимые значения у Шины данных.

3. *Прикладной уровень контроллеров (Controllers)* – верхний уровень, связывающий абстрактные числа из Шины данных с конкретными 3D-объектами сцены. Для ускорения разработки тренажеров применен компонентный подход. Создан набор универсальных компонентов-шаблонов, которые могут быть назначены на любой объект сцены (например, стрелку манометра, штурвал, сигнальную лампу). Настройка связей осуществляется через механизм машинга имен. Вместо жесткого кодирования индексов массивов, разработчик тренажера оперирует читаемыми человеком именами параметров, задаваемыми в конфигурационном файле. При инициализации система автоматически сопоставляет имена с индексами в сетевом пакете. Это позволяет инженерам и дизайнерам настраивать тренажер без вмешательства в программный код ядра, что существенно сокращает сроки разработки и отладки.

Предложенная архитектура клиента успешно апробирована в среде Unigine [8], однако, благодаря четкому разделению слоев, логика Сетевого транспорта и Шины данных может быть перенесена в среды Unity [6] или Unreal Engine [7] с минимальными изменениями, затрагивающими только специфичные вызовы функций самого движка.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ АПРОБАЦИИ

Для подтверждения эффективности предложенных архитектурных и алгоритмических решений был создан экспериментальный стенд и проведен ряд натурных испытаний.

Экспериментальная установка включала в себя следующие компоненты, возвращенные в рамках локальной сети:

1. Среда математического моделирования – модель в SimInTech [5], реализующая генерацию эталонных тестовых сигналов и прием обратной связи.

2. Модуль интеграции – реализованный сервер обмена данными, запущенный в консольном режиме.

3. Среда визуализации – клиентское приложение на базе 3D-движка Unigine [8] с интегрированным программным модулем сетевого обмена.

Для верификации точности и скорости обмена данными был реализован тест по схеме «Петля» (Loopback): пакет гармонических сигналов различной частоты и амплитуды передавался из СММ в среду визуализации и немедленно возвращался обратно.

В среде SimInTech [5] проводилось сравнение двух графиков: исходного (отправленного) сигнала и возвращенного сигнала, прошедшего полный путь через все звенья системы (СММ → Сервер → 3D-движок → Сервер → СММ). Сравнительный анализ исходных и возвращенных сигналов в SimInTech [5] показал их полную идентичность (рис. 2).

Количественная оценка временных задержек (Latency) показала, что при частоте обмена 60 Гц средняя круговая задержка составила не более 16 мс, что значительно меньше порога реакции человека-оператора (100–150 мс). Визуализация в среде Unigine [8] происходила плавно и без артефактов, стабильно удерживая частоту на уровне 60 кадров в секунду.

Полученные результаты подтверждают то, что разработанный программный комплекс обеспечивает синхронизацию данных в жестком реальном времени и пригоден для создания профессиональных тренажеров морской техники, где критична точность реакции модели на управляющие воздействия [9, 10].

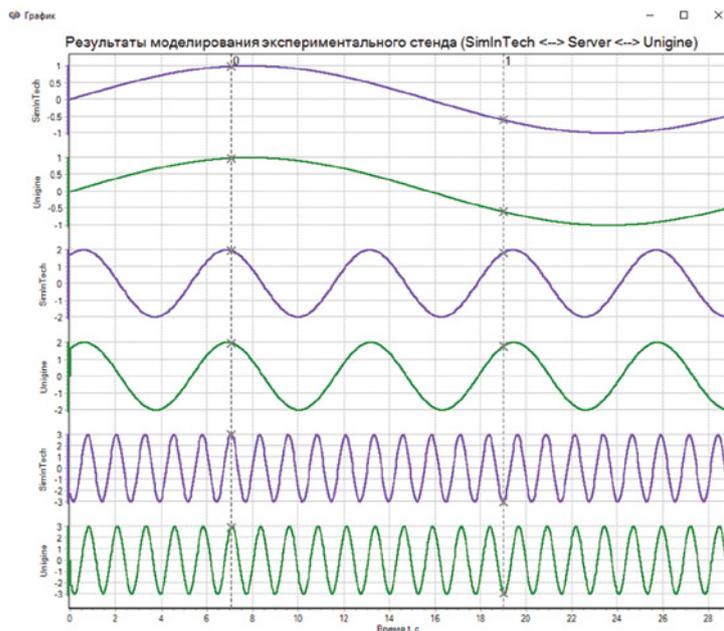


Рис. 2. Результаты экспериментальной апробации

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе представлен комплексный подход к созданию программного обеспечения виртуальных тренажеров для сложных морских технических систем. Разработанная архитектура и алгоритмы интеграции позволяют эффективно объединить вычислительную мощь специализированных сред математического моделирования и визуальные возможности современных 3D-движков.

Ключевым результатом исследования является создание универсального модуля интеграции и клиентского программного обеспечения, решающего проблему несовместимости разнородных сред. Применение алгоритмов потоковой обработки данных («Header First»), модели разделяемой памяти и асинхронных протоколов обмена позволило обеспечить стабильную синхронизацию физических процессов и их визуальное отображения в реальном времени.

Важно отметить, что предложенное решение инвариантно к используемому стеку программного обеспечения. Оно успешно апробировано на базе отечественных продуктов (SimInTech [5], Unigine [8]), что подтверждает возможность создания технологически независимых тренажерных комплексов, но с тем же успехом может применяться для интеграции любых других открытых или коммерческих платформ. Это открывает широкие перспективы для удешевления и ускорения разработки тренажеров, обеспечивая при этом необходимый уровень качества подготовки специалистов морской отрасли.

ЛИТЕРАТУРА

1. Методический подход к разработке виртуальных тренажерных комплексов

для сложных технических систем / Саитов И. П., Ровник В. В., Курьянов А. В. // *Морская радиоэлектроника*. – 2025. – № 4 (94). – С. 50–56

2. Кузуркова В. В. Автоматизированный подход для создания многопользовательских тренажеров в виртуальной реальности // *Научный сервис в сети Интернет*. – 2018. – № 20. – С. 313–320. DOI 10.20948/abrau-2018-59

3. Simulink Documentation. – MathWorks: [официальный сайт]. – URL: <https://www.mathworks.com/help/simulink/> (дата обращения: 13.02.2026)

4. Simcenter Amesim. – Siemens Digital Industries Software: [официальный сайт]. – URL: <https://plm.sw.siemens.com/en-US/simcenter/systems-simulation/amesim/> (дата обращения: 13.02.2026)

5. Справочная система. – SimInTech: [официальный сайт]. URL: <https://help.simintech.ru/index.html> (дата обращения: 10.02.2026)

6. Unity Documentation // Unity Technologies: [официальный сайт]. – URL: <https://docs.unity3d.com/Manual/index.html> (дата обращения: 13.02.2026)

7. Unreal Engine 5 Documentation. – Epic Games: [официальный сайт]. URL: <https://dev.epicgames.com/documentation/en-us/unreal-engine/> (дата обращения: 13.02.2026).

8. Документация. – Unigine: [официальный сайт]. – URL: <https://developer.unigine.com/ru/docs/latest> (дата обращения: 10.02.2026)

9. Immersive virtual simulation system design for the guidance, navigation and control of unmanned surface vehicles / Huang F., Chen X., Xu Y. // *Ocean Engineering*. 2023. Vol. 281. 114884. DOI:10.1016/j.oceaneng.2023.114884

10. Hardware-in-the-loop controller testing and visualization of an industrial gantry / Moreira M. L., Singh R., Gomez-Badillo A. // *Frontiers in Mechanical Engineering*. – 2024. – Vol. 10. – P. 1–10. DOI: 10.3389/fmech.2024.1451042

11. Документация по .NET. – Microsoft Learn: [официальный сайт]. – URL: <https://learn.microsoft.com/ru-ru/dotnet/> (дата обращения: 10.02.2026) ■

Современные информационные системы (ИС) критически зависят от отказоустойчивой и производительной сетевой инфраструктуры. Проектирование и тестирование таких сетей требует использования специализированного программного обеспечения (СПО), позволяющего создавать детализированные и достаточно функциональные макеты. На сегодняшний день самыми известными средами для построения и моделирования компьютерных сетей ИС являются Cisco Packet Tracer и GNS3. Однако в связи с введением санкций и изменением законодательства в зарубежных странах, в которых находятся производители данного программного обеспечения (ПО), компании Cisco Systems и SolarWinds Worldwide (GNS3) покинули рынок российского сетевого программного и технического обеспечения. Поставки их продукции полностью прекращены, и ее использование в данный момент неправомерно, так, доступ ко всем информационным ресурсам Cisco на территории РФ полностью заблокирован.

QSWOT-АНАЛИЗ СРЕДСТВ ВИРТУАЛИЗАЦИИ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ В ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

*Д.О. Курьянов, студент, преподаватель,
Е.М. Гадаев, студент,
А.В. Примак, студент, преподаватель,
А.А. Пирогов, ст. преподаватель,
С.Я. Галушин, канд. техн. наук, доцент,
СПбГМТУ,
контакт. limbosmtu@yandex.ru*

В связи с изложенным становится очевидной потребность в продукте, позволяющем эмулировать гетерогенную среду, в которой можно использовать сетевое оборудование и операционные системы (ОС) от различных производителей для задач проектирования, тестирования и безопасного изменения конфигураций в рамках информационных систем. Анализ рынка ПО, которое позволяет виртуализировать локальные вычислительные сети (ЛВС) на высоко-

детализированном уровне по аналогии с Cisco Packet Tracer и GNS3, показал, что наиболее близкими по функционалу продуктами являются EVE-NG, PNETLab, Boson NetSim и Dynamips. С целью выбора двух лучших средств для последующего тестирования был проведен системный анализ их свойств и характеристик с использованием обобщенного метода квалиметрического анализа факторов развития с оценкой сильных (S) и слабых (W) сторон,

Фрагмент QSWOT-анализа. Сильные и слабые стороны

Таблица 1

Название ПК	Назначение средства. Лицензия	R. Экспресс-оценка рейтинга	S. Сильные (внутренние) стороны	S	W. Слабые (внутренние) стороны	W
EVE-NG	Бесклиентное программное обеспечение, созданное на базе Ubuntu LTS 16.04 server для многопользовательской сетевой эмуляции, которое предоставляет специалистам по сетевой безопасности возможность построения сетевой модели, состоящей из широкого набора вендоров. Community (OpenSource), PRO (коммерческая)	1	Возможность построения гетерогенных ЛВС. Широкий спектр поддерживаемых образов оборудования и ОС. Высокий уровень оптимизации. Возможность одновременной многопользовательской работы с разграничением доступа. Поддержка кластеризации.	9,5	Высокая стоимость коммерческой лицензии. Ограничение в 2 пользователя в Community-версии. Высокие системные требования при масштабировании. Иностраный производитель.	2,5
PNETLab	Некоммерческую среду виртуализации компьютерных сетей, созданное на базе Ubuntu LTS 16.04 server для многопользовательской сетевой эмуляции. Open Source	2	Возможность построения гетерогенных ЛВС. Очень похож на EVE-NG. Широкий спектр поддерживаемых образов оборудования и ОС. Возможность одновременной многопользовательской работы с разграничением доступа. Поддержка кластеризации.	8,5	Крайне низкий уровень оптимизации и высокие системные требования. Ограничение в 10 пользователей в Offline-режиме. Отсутствие связи с разработчиками. Отсутствие лицензии. Значительно меньший перечень поддерживаемых образов оборудования по сравнению с EVE-NG. Иностраный производитель.	3,5
GNS3	Программный симулятор сетевого оборудования, предназначенный для построения моделей виртуальных сетей. GNS3 поддерживает большое количество различных виртуальных сетевых устройств от различных поставщиков сетевого оборудования, таких как Cisco и Juniper, а также серверов под управлением разных операционных систем. GPL-3.0	3	Возможность построения гетерогенных ЛВС. Широкий спектр поддерживаемых образов оборудования и ОС. Открытый исходный код.	8,5	Иностраный производитель. Отказ предоставить готовое ПО для клиентов из РФ, несмотря на лицензию. Низкий уровень оптимизации. Высокие системные требования.	4
Cisco Packet Tracer	Симулятор сети передачи данных, выпускаемый фирмой Cisco Systems. Позволяет делать работоспособные модели сети, настраивать (командами Cisco IOS) маршрутизаторы и коммутаторы, взаимодействовать между несколькими пользователями (через облако). Open Source for students	4	Возможность подготовки специалистов по работе с оборудованием Cisco с нуля. Подготовка к сдаче экзамена для получения сертификата Cisco CCNA	7	Packet Tracer в основном ориентирован для участников Программы Сетевой Академии Cisco в качестве бесплатного учебного пособия, помогающего им изучить основные концепции Сертификации Cisco. Невозможность построения гетерогенных ЛВС. Нет доступа в РФ.	5
Boson NetSim	Симулятор, ориентированный на подготовку к экзаменам треков CCNA и CCNP официальной сертификации Cisco. Коммерческая	5	Включает в себя не-Cisco устройства, такие как TFTP Server, TACACS+ и генератор пакетов. Подготовка к сдаче экзамена для получения сертификата Cisco CCNA и CCNP. Содержит готовые ЛР.	8	Только коммерческая лицензия. Отсутствие возможности построения гетерогенных сетей. Иностраный производитель.	6
Dynamips	Компьютерная программа-эмулятор, написанная для эмуляции маршрутизаторов Cisco. GPL-2.0	6	Dynamips работает на большинстве Linux-систем, Mac OS X и Windows, при этом позволяет эмулировать аппаратную часть маршрутизаторов, непосредственно загружая и взаимодействуя с реальными образами Cisco IOS	6	Отсутствие графического интерфейса. Построение сетей с большим количеством устройств затруднено. Отсутствие возможности построения гетерогенных сетей.	6,5

Фрагмент QSWOT-анализа. Возможности и угрозы

Название ПК	Назначение средства. Лицензия	R. Экспресс-оценка рейтинга	O. Возможности развития с учетом внешних факторов	O	T. Угрозы развития с учетом внешних факторов	T	Q
EVE-NG	Бесклиентное программное обеспечение, созданное на базе Ubuntu LTS 16.04 server для многопользовательской сетевой эмуляции, которое предоставляет специалистам по сетевой безопасности возможность построения сетевой модели, состоящей из широкого набора вендоров. Community (OpenSource), PRO (коммерческая)	1	Повышение уровня оптимизации решения. Увеличение количества пользователей, доступных для создания в Community-версии.	9	Повышение стоимости коммерческой лицензии. Возможность появления санкций (Разработчик Великобритании).	2,8	8,2
PNETLab	Некоммерческую среду виртуализации компьютерных сетей, созданное на базе Ubuntu LTS 16.04 server для многопользовательской сетевой эмуляции. Open Source	2	Повышение уровня оптимизации решения. Повышение количества поддерживаемых образов оборудования.	8	Возможность появления санкций. Угроза закрытия проекта.	3	7,5
GNS3	Программный симулятор сетевого оборудования, предназначенный для построения моделей виртуальных сетей. GNS3 поддерживает большое количество различных виртуальных сетевых устройств от различных поставщиков сетевого оборудования, таких как Cisco и Juniper, а также серверов под управлением разных операционных систем. GPL-3.0	3	Повышение уровня оптимизации решения. Повышение количества поддерживаемых образов оборудования. Переход к многопользовательской работе.	7,5	Сохранение санкций, приводящее к возможности установки ПО только путем сборки из исходного кода с GITHUB.	3,5	7,1
Cisco Packet Tracer	Симулятор сети передачи данных, выпускаемый фирмой Cisco Systems. Позволяет делать работоспособные модели сети, настраивать (командами Cisco IOS) маршрутизаторы и коммутаторы, взаимодействовать между несколькими пользователями (через облако). Open Source for students	4	Долгосрочная перспектива развития.	6,5	Сохранение санкций.	4	6,1
Boson NetSim	Симулятор, ориентированный на подготовку к экзаменам трекв CCNA и CCNP официальной сертификации Cisco. Коммерческая	5	Долгосрочная перспектива развития.	7	Сохранение санкций.	5	5,8
Dynamips	Компьютерная программа-эмулятор, написанная для эмуляции маршрутизаторов Cisco. GPL-2.0	6	GNS3. Расширение спектра поддерживаемых изображений устройств Cisco. Используется как основа для новых проектов.	7	Технологическая избыточность (сложность) гетерогенного пути развития.	4	5,4

а также возможностей (O) и угроз (T) развития. QSWOT-анализ названных выше решений проведен с помощью специального программного комплекса, созданного на основе разработок СПбГМУ. Результаты оценки представлены в табл. 1 и табл. 2.

По итогам квалиметрического анализа лучшими программными комплексами для решения задач виртуализации ЛВС информационных систем признаны ПО PNETLab и EVE-NG (Q = 7,5 и

Q = 8,2 соответственно) (см. табл. 1 и табл. 2), что удовлетворяет требованиям при выборе двух решений из перечня для последующего тестирования.

АНАЛИЗ СРЕДЫ ВИРТУАЛИЗАЦИИ ЛВС PNETLAB. СРАВНЕНИЕ С ПО EVE-NG*

*Анализ ПО EVE-NG рассматривается в отдельной статье [4].

ПО PNETLab – некоммерческая среда виртуализации компьютерных

сетей информационных систем, сильно похожая на EVE-NG по интерфейсу и функционалу, а также имеющая открытый исходный код. С целью проведения параллелей при сравнении интерфейса и функциональных возможностей PNETLab со средой EVE-NG тестирование рассматриваемого продукта проводится на собранном демонстрационном стенде, состав которого не отличается от стенда, использованного для изучения EVE-NG. (рис. 1):

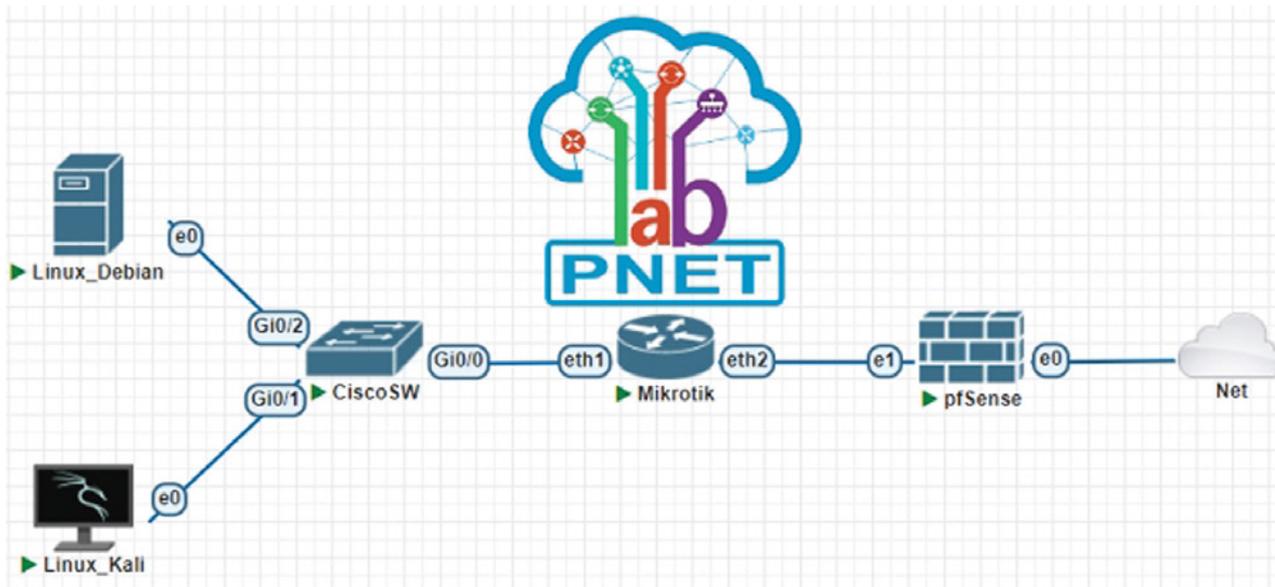


Рис. 1. Тестовый демонстрационный стенд

- виртуальная машина (ВМ) под управлением операционной системы (ОС) Kali Linux;
- ВМ с ОС Linux Debian;
- коммутатор Cisco L2;
- межсетевой экран (МСЭ) pfSense ver. 2.7.0;
- маршрутизатор Mikrotik с ОС RouterOS 7.11;
- выход в сеть Интернет через NetCloud.

По результатам тестирования PNETLab были выявлены ее следующие достоинства, а именно возможность:

- 1) свободного распространения ПО;
- 2) эмуляции гетерогенных ЛВС;
- 3) анализа трафика с помощью интегрированного контейнера Wireshark;
- 4) многопользовательской эксплуатации с разграничением доступа ролям;
- 5) работы ПО в двух режимах: online и offline;
- 6) интеграции с Docker;
- 7) интеграции с GitHub-репозиториями образов, которые можно установить с помощью терминала или веб-интерфейса.

Наряду с этим, у PNETLab есть и недостатки:

- 1) высокие системные требования к масштабированию стенда виртуализации;
- 2) неудобная система управления аккаунтами пользователей в online-режиме;
- 3) несовместимость с гипервизорами 1-го типа (VMware ESXi и т.д.). Попытки интеграции приводят к отказу в запуске любых нод;
- 4) ограничения доступа к репозиториям со стороны GitHub для многих отечественных организаций;
- 5) отсутствие в государственных реестрах ПО.

Также во время тестирования ПО EVE-NG и PNETLab был проведен сравнительный анализ данных сред виртуализации ЛВС ИС, который выявил неоднозначные результаты. К сходствам можно отнести:

- идентичность интерфейса и функциональных возможностей;

- схожесть принципов взаимодействия со средой;
- схожесть алгоритмов установки и эксплуатации образов ПАС.

Из вышеперечисленных сходств можно сделать вывод, что PNETLab является скопированной версией EVE-NG Community Edition с интеграцией возможностей EVE-NG PRO / Corporate Edition. Однако, несмотря на высокое сходство и преимущества, этот открытый продукт, относительно не подлежащий импортозамещению, имеет ряд серьезных различий – недостатков, а именно:

- отсутствие полноценной документации по типу EVE-NG Cookbook;
- перечень поддерживаемых образов ПАС для виртуализации намного меньше, чем у оригинала;
- крайне низкий уровень оптимизации, влекущий за собой невозможность эксплуатации в многопользовательском режиме при отсутствии мощного серверного оборудования;
- отсутствие возможности кластеризации;
- отсутствие связи с разработчиками;
- непонятный статус правомерности использования системы. (Отсутствие лицензии на сайте, обвинения в плагиате со стороны разработчиков ПО EVE-NG).

Проведенное сравнение позволяет сделать вывод о том, что среда PNETLab вследствие выявленных функциональных и архитектурных недоработок не может быть рекомендована для развертывания в качестве среды виртуализации ЛВС в крупных ИС. Несмотря на это, ее функционал может быть приемлем для использования в некритичных средах, например, для целей моделирования и отладки систем, где она представляет собой альтернативу решению EVE-NG Corporate Edition.

ВЫВОДЫ

Проведен квалиметрический OSWOT-анализ программных комплексов для решения задач виртуализации ЛВС, по результатам которого были выявлены два перспективных продукта для применения их в ИС – ПО PNETLab

и EVE-NG. Однако прямое внедрение этих решений сопряжено с рядом существенных ограничений:

1. PNETLab обладает рядом существенных архитектурных и функциональных недоработок, которые препятствуют его развертыванию в качестве стабильной и отказоустойчивой платформы для критически важных ИС. В свою очередь, использование EVE-NG в корпоративной редакции (Corporate Edition) требует значительных финансовых затрат, что может быть экономически затруднительно для многих организаций.

2. Для применения обоих решений требуются аппаратные ресурсы серверной инфраструктуры. Для развертывания и поддержки высокопроизводительной среды виртуализации ЛВС нужны существенные капиталовложения в оборудование и его обслуживание.

3. Не поддерживается эмуляция многих отечественных решений.

Для преодоления указанных ограничений предлагается разработать собственную (отечественную) программную платформу для виртуализации ЛВС информационных систем. Такое решение позволит устранить зависимость от иностранных вендоров и обеспечить техническую поддержку и развитие в соответствии с потребностями российского рынка.

ЛИТЕРАТУРА

1. EVE – The Emulated Virtual Environment For Network. – Security and DevOps Professionals. – [Электронный ресурс] – URL: <https://www.eve-ng.net/>
2. Dzerkals Uldis, Doe Michael, Lim Christopher. EVE-NG. – Professional Cookbook. – Version 5.3. – © EVE-NG LTD. – [Электронный ресурс] – URL: <https://www.eve-ng.net/wp-content/uploads/2023/03/EVE-CE-BOOK-5.3-2023.pdf>
3. PNETLab: Lab is Simple. – Documentati. – [Электронный ресурс] – URL: <https://pnetlab.com/pages/documentation>
4. Курприянов Д.О., Гадаев Е.М., Примаков А.В., Пирогов А.А. Использование современных средств виртуализации структурированных компьютерных сетей в учебной практике // Неделя науки СПбГМТУ–2023: сб. докл. Всеросс.фестиваля науки «Наука 0+». – В 2 т. – Т. 1. – 483–488 с. ■

Эксплуатация акваторий промышленных объектов в значительной степени сопряжена с риском их загрязнений. Эта проблема продолжает оставаться актуальной на протяжении десятков лет [1–3], в том числе и потому, что темпы индустриального развития зачастую опережают темпы развития сопровождающих его технологий. Целенаправленное проектирование методов, средств и систем обеспечения экологической безопасности промышленных акваторий во многом базируется на моделировании сценариев развития ситуаций, представляющих собой угрозу экологической безопасности [4–6].

СИСТЕМАТИКА КОНЦЕПЦИЙ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЙ

Концепции, методы и технические средства моделирования экологических рисков чрезвычайно разнообразны даже в узкой конкретной предметной области исследования и прогнозирования разливов загрязняющих веществ на промышленных акваториях.

Не претендуя на исчерпывающую полноту систематизации, выделим следующие примечательные направления в данной области:

- использование готовых (как правило, закрытых для модификации) моделей распространения загрязнений: крупными научными центрами обоснованы и разработаны математические описания динамики процессов распространения загрязнений (прежде всего, нефтяных) на воде, учитывающие воздействия значительного количества факторов – состава и свойств загрязняющей смеси, ветровых характеристик, течений, перемешивания слоев воды и др. Зачастую такие модели объединены с геоинформационными и/или спутниковыми системами, что в ряде случаев позволяет выполнять моделирование в конкретной географической локации (рис. 1). К этому направлению относятся исследования, опубликованные, в частности, в [7–10];
- использование общепромышленных пакетов прикладных программ анализа потоков жидкостей и частиц, что позволяет вносить некоторые нестандартные дополнения в модели, но и выполнять моделирование стандартными, широко известными средствами, в ряде случаев менее ресурсоемкими, чем средства первой категории (рис. 2) [11–13];
- создание новых моделей: несмотря на представительную статистику

КОМПЬЮТЕРНЫЙ ТРЕНАЖЕР ДЛЯ РАЗРАБОТКИ СРЕДСТВ МОДЕЛИРОВАНИЯ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЖИДКОСТНЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ПРОМЫШЛЕННЫХ АКВАТОРИЙ

*А. Е. Васильев, д-р техн. наук, зав. кафедрой,
А. С. Ворожейко, ст. преподаватель,
Д. Е. Кунгурцев, ассистент,
А. В. Протасов, лаборант,
С. А. Токаренко, ассистент,
кафедра ТСМ СПбГМТУ,
контакт. тел. (812) 713 8405*



Рис. 1. Пример средств моделирования первой квалификационной группы [7]

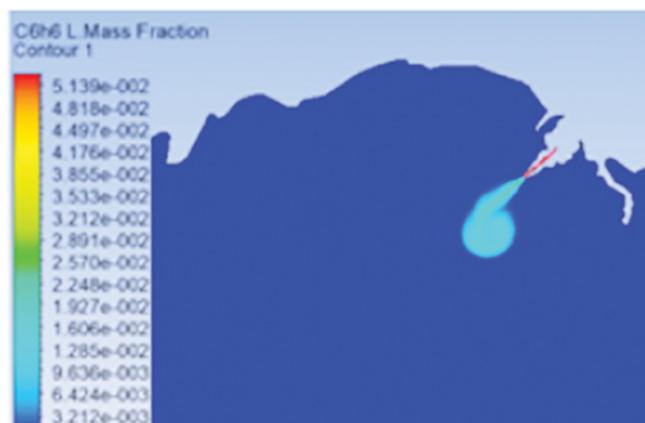


Рис. 2. Пример средств моделирования второй квалификационной группы [13]

тику результативного использования и многократно подтвержденную адекватность готовых моделей в целом, на практике встречаются случаи, требующие учета факторов, отсутствующих в «стандартных» моделях в силу узкой специфики этих факторов. В подобных случаях прибегают к разработке нового математического аппарата, модели в случаях ее особой значимости (например, методической). К многочисленным публикациям, отражающим это направление исследований, относятся [14–20] (рис. 3);

- разработка прикладных систем моделирования для: решения конкретных задач (например, производственных) либо задач, имеющих относительно небольшую вариативность, целесообразно применение готовых программных средств. К таковым относятся средства, описанные, в частности, в [21–23];
- наконец, отдельно следует выделить исследования, посвященные системному анализу существующих концепций и выработке дальнейших направлений их развития [24–25].

ПРЕПОСЫЛКИ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ КОМПЬЮТЕРНОГО ТРЕНАЖЕРА

Анализ результатов проведенного классификационного анализа средств моделирования распространения жидкостных загрязнений на поверхности промышленных акваторий показывает, что существенным потенциалом развития имеет предметная область, объединяющая инженерно-машинно-строительный, экологический и педагогический аспекты – область экологической подготовки инженеров-машинистов для судостроительной отрасли; актуальна задача подготовки профессионалов в области судового машиностроения, обладающих компетенциями в области экологической безопасности инженерно-технических разработок. Инженер-разработчик судовых энергетических установок (использующих в значительном количестве случаев углеводородное топливо), их комплексов и их элементов должен обладать навыками создания необходимых расчетных моделей экологических рисков эксплуатации объектов судовой энергетики, технического воплощения таких моделей и их применения в задачах анализа и минимизации этих рисков.

Таким образом, ему должен быть предоставлен инструмент, позволяющий для конкретного случая степени детализации и специфичности, разра-

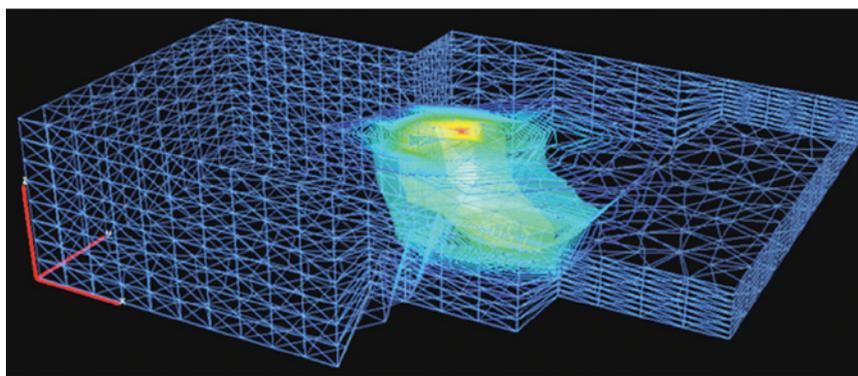


Рис. 3. Пример средств моделирования третьей квалификационной группы [20]

батывать необходимый и достаточный информационный интерфейс и применять результаты в практике экологического обоснования своей инженерной деятельности.

Анализ инструментальных средств поддержки разработки динамических моделей показал, что одним из наиболее целесообразных вариантов является среда AnyDynamics, ставшая развитием широко известных сред моделирования ModelVision и RandModelDesigner. Сравнительный анализ ее возможностей, позволяющих подтвердить правомочность такого вывода, приведен в [26].

Среда AnyDynamics позволяет создавать структурно-функциональные схемы сложных систем, задавать гра-

фовые модели изменения их поведения в соответствии с изменяющимися условиями и описывать элементы этих моделей совокупностью алгебро-дифференциальных уравнений, что предоставляет широкие возможности для моделирования непрерывных, дискретных и дискретно-непрерывных систем. Кроме того, среда обладает развитыми возможностями построения 2D- и 3D-сцен динамической визуализации.

Внешний вид интерфейса среды моделирования проиллюстрирован рис. 4 [27].

Идея применения среды AnyDynamics в рассматриваемой задаче разработки компьютерного тренажера отражена на рис. 5.

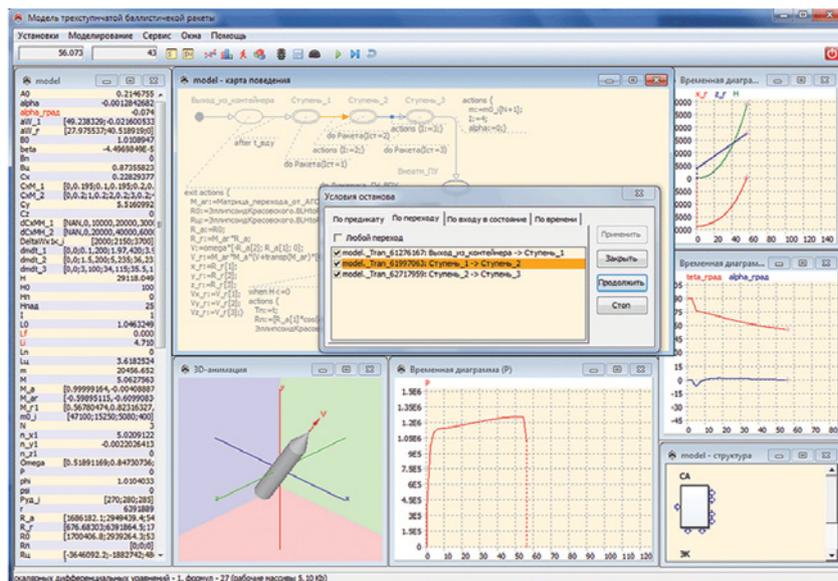


Рис. 4. Внешний вид среды моделирования AnyDynamics [27]

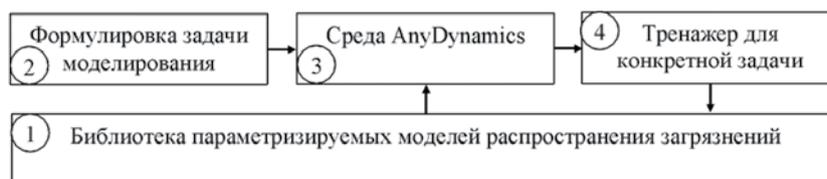


Рис. 5. Обобщенная схема проектирования требуемой модели распространения загрязнений на основе библиотек готовых решений

В среде AnyDynamics разработана совокупность готовых моделей распространения загрязнений различной степени сложности и детализации, содержащих описание модели в терминах синтаксиса среды AnyDynamics и интерфейс экспериментатора (рис. 5, 1). Каждая из моделей этой библиотеки готовых решений снабжена документацией, позволяющей эффективно (в целях минимизации затрат) проводить ее параметризацию и/или модификацию для конкретной задачи моделирования. Инженер-разработчик энергетической установки для оценки экологических рисков ее эксплуатации формулирует задачу исследования (2), определяет наиболее близкую модель из библиотеки, при необходимости модифицирует ее для наиболее полного удовлетворения целям и задачам моделирования и выполняет необходимые модельные эксперименты (3). Созданная или модифицированная модель в свою очередь пополняет библиотеку готовых решений (4).

ПРИМЕР ПРИМЕНЕНИЯ ТРЕНАЖЕРА В ЗАДАЧЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ РАЗЛИВОВ НЕФТЕПРОДУКТОВ

Проиллюстрируем применимость предлагаемого подхода к построению моделей тренажеров распространения загрязнений на промышленных акваториях на простейшем примере использования стандартных моделей загрязнений от нескольких источников (например, аварийном сбросе из нескольких резервуаров). Экспериментатору предоставляется возможность указать локализацию и интенсивность сброса загрязнений; в процессе функционирования модель визуализирует процесс распространения загрязнений с увеличением их площади и последующим снижением уровня концентрации загрязнения (рис. 6–8).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Как показал проведенный анализ тенденций и методов моделирования распространения загрязнений, актуальным направлением в рамках концепции экологически ориентированной энергетики (экоэнергетики) является создание подходов к формированию у инженеров в области судового машиностроения комплексной совокупности навыков системного анализа и математического описания разливов нефтесодержащих продуктов, навыков построения на основе такого описания компьютерных моделей и проведения их исследований. Растущая масштабность влияния техно-

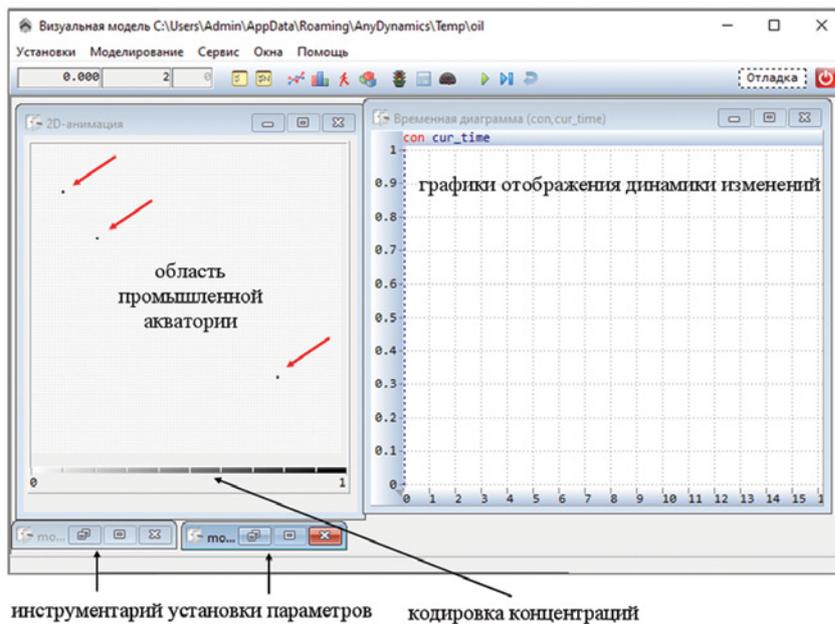


Рис. 6. Задание начальных условий моделирования: установка точек локальных разливов

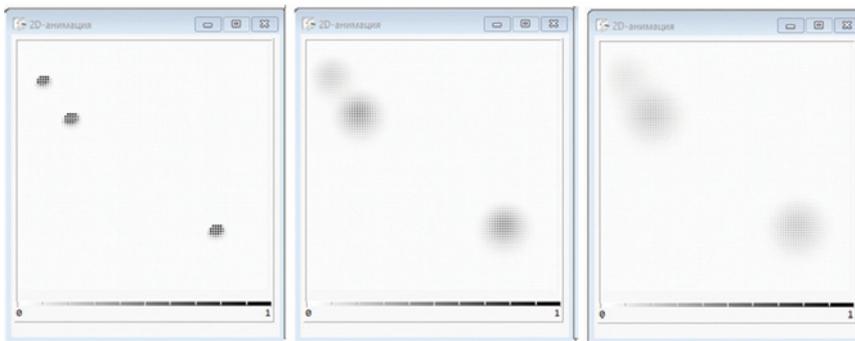


Рис. 7. Динамика распространения загрязнений во времени и пространстве

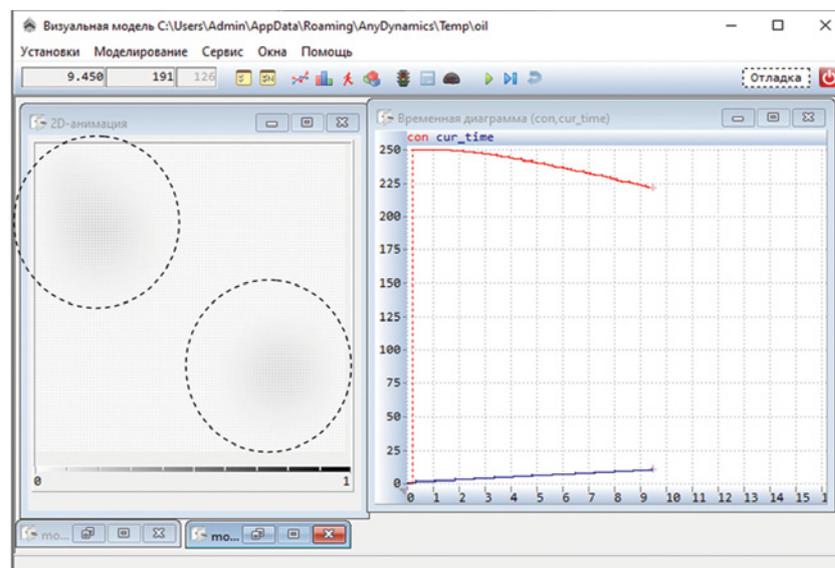


Рис. 8. Общий вид модели на завершающей стадии

генных факторов на экосистемы обуславливает значимость предиктивного анализа экологических рисков эксплуатации объектов энергетики для инженеров будущего и потому является их значимой профессиональной компетенцией; ближайшее возможное

направление применения описанных результатов – их внедрение в образовательный процесс по программе подготовки магистратуры «Обеспечение экологической безопасности энергетического оборудования морской техники».

ЛИТЕРАТУРА

1. Бессонова Е. А., Зверев С. А., Карнаух В. Н., Червицкая И. В. Геомагнитные исследования для решения задач промышленной экологии на акватории с высокой техногенной нагрузкой//Подводные исследования и робототехника. – 2023. – № 1 (43). – С. 67–76.
2. Серебрякова О. А. Геоэкологическое обеспечение промышленной безопасности при работах в морских акваториях//Геология, география и глобальная энергия. – 2012. – № 4 (47). – С. 98–106.
3. Степанько Н. Г. Оценка взаимодействия промышленного производства прибрежных территорий с морской акваторией. – Сб. тезисов конфер. «Экономика освоения океана: научные основы комплексного освоения океана», Владивосток, 1985, с. 96–98.
4. Математические модели прогнозирования экологической угрозы техногенных аварий и катастроф в составе интегрированных систем безопасности региона/Сауренко Т. Н., Анисимов В. Г., Анисимов Е. Г., Горбатов М. Ю., Соныки М. А., Грачев В. Л.//Технологии гражданской безопасности. – 2019. – Т. 16. – № 3 (61). – С. 62–67.
5. Шестаков А. В., Шемякин А. С., Яковлев С. Ю. Трёхмерное моделирование в задачах расчёта и визуализации региональных техногенно-экологических рисков//Тр. Кольского науч. центра РАН. – 2019. – Т. 10. – № 9–9. – С. 59–68.
6. Бракович А. И., Колесников В. Л. Компьютерный комплекс «Моделирование и оценка рисков экологических ситуаций в локальных зонах территорий»//Тр. БГТУ. Физико-математические науки и информатика. – 2013. – № 6 (162). – С. 135–138.
7. Казанцев А. Ю., Пластинин А. Е., Бородин А. Н., Кочнев Ю. А. Моделирование нефтяного загрязнения с судов в районе Куршской косы Балтийского моря//Морские интеллектуальные технологии. – 2025. – № 3–3 (69). – С. 194–200.
8. Кубряков А. А., Станичный С. В. Глобальная система расчета распространения нефтяных загрязнений FOTS в морской среде на основе спутниковых данных и численного моделирования. – В сб. мат-лов конфер. «Обеспечение комплексной безопасности населения и территорий в экстремальных климатических условиях», Архангельск, 2025, с. 165–168.
9. Куракин Н. И., Агадилов А. В. Алгоритм моделирования аварийных разливов нефти в технологии геоинформационных систем//Изв. СПбГЭТУ ЛЭТИ. – 2019. – № 4. – С. 43–48.
10. Оперативно-прогностическое моделирование распространения нефтяных загрязнений в Финском заливе/Становой В. В., Еремина Т. Р., Карлин Л. Н., Исаев Д. И., Неелов И. А., Ванкевич Р. Е.//Ученые записки Российского гос. гидрометеорол.ун-та, 2011. – № 18. – С. 151–169.
11. Домнина О. Л., Липатов И. В. Влияние гидроморфологических особенностей речного русла на характер распределения шлейфа загрязнения нефтью при авариях судов//Морские интеллектуальные технологии. – 2022. – № 2–1 (56). – С. 258–268.
12. Ташимов Б. М., Родина Н. С., Бородин А. Н., Каленков А. Н. Определение координат пятна дизельного топлива при затоплении судна в порту. – Сб. тр. науч.-промышл. форума «Транспорт. Горизонты развития». – Нижний Новгород, 2021, с. 46–49.
13. Телагисова Д. М., Исахов А. А. Численное моделирование аварийного разлива нефти и нефтепродуктов на водные поверхности//Вестник Dulary University, 2022. – № 2 (6). – С. 181–193.
14. Тукмаков Д. А. Исследование загрязнения водотока взвесью с помощью стационарной двухмерной математической модели//Вестник Пермского нац. исслед. политех. ун-та. Прикладная экология. Урбанистика. – 2022. – № 1 (45). – С. 88–98.
15. Lyashchenko T. V., Chistyakov A. E., Nikitina A. V., Porksheyev M. V. Modeling pollution distribution processes in shallow water bodies taking into account gravitational sedimentation processes//Computational Mathematics and Information Technologies. – 2022. – Vol. 1. – Iss. 3. – P. 137–150.
16. Вишневецкий В. Ю., Старченко И. Б. Численное моделирование диффузии загрязняющих веществ в реках: одно- и двумерная задачи//Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2019. – Т. 7. – № 1 (24). – С. 264–273.
17. Чураков А. О., Желинский Е. А. Моделирование распространения выбросов загрязняющих веществ методом сеток. – Сб. мат-лов конфер. «Фундаментальные и прикладные исследования в информатике и цифровизации», Кемерово, 2025, с. 41–44.
18. Моделирование растекания нефти и распространения загрязнений в морской среде бессеточным методом/Архипов Б. В., Котеров В. Н. Солбаков В. В., Шапочкин Д. А., Юрезанская Ю. С.//Метеорология и гидрология, 2007, № 6. – С. 44–59.
19. Цветова Е. А. Численное моделирование гидродинамических процессов, ответственных за распространение загрязняющих примесей в глубоком водоеме//Вычислительные технологии. – 1999. – Т. 2. – № 2. – С. 102–108.
20. Амосова Е. В., Кикелин Д. С. Математическое моделирование распространения зон загрязнения взвесью и другими примесями//Ученые записки Комсомольского-на-Амуре ГТУ. – 2021. – № 3 (51). – С. 8–13.
21. Мальышкин Т. Е., Кожелин В. И. Программа моделирования распространения нефтяных загрязнений в морских акваториях. – Свид. о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2025617782. Оpubл. 28.03.2025//Бюлл. № 4.
22. Тренажерный комплекс для мониторинга экологических параметров окружающей среды в условиях работы горнообогатительного комбината/Саухин С. И., Афанасьев А. П., Мосиенко Д. Ф., Гладков М. А., Екимов П. С. – Свид-во о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2025688348, опубл. 17.10.2025//Бюлл. № 10.
23. Илларионова Л. В., Погорелов С. А., Кожевникова Т. В. Программа для численного моделирования распространения загрязняющих примесей в реке на основе двумерной математической модели. – Свид-во о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2022667361. – Оpubл. 19.09.2022//Бюлл. № 9.
24. Зацепя С. Н., Ивченко А. А., Солбаков В. В., Становой В. В. Прогнозирование распространения нефти и нефтепродуктов в случае аварийного разлива на морских акваториях (науч.-метод. пособие). – М.: АО «Финпол», 2018. – 140 с.
25. Кузьмин В. Р. Методический подход, алгоритмы и программы для оценки загрязнения окружающей среды объектами энергетики. – Дисс. на соискание уч. степени канд.техн.наук. – Иркутск: ИГУПС, 2023. – 175 с.
26. Колесов Ю. Б., Сениченков Ю. Б. AnyDynamics – новая версия среды Rand Model Designer. – Сб. тр. конфер. «Имитационное моделирование. Теория и практика», Санкт-Петербург, 2021, с. 232–242.
27. AnyDynamics. Скриншоты. Электронный ресурс – URL: <https://www.mvstudium.com/shots.htm> (дата обращения 20.01.2026). ■

Беспилотные надводные аппараты (БНА) отражают новейшие технологии и применяются в различных сферах. Эти автономные устройства способны выполнять разнообразные задачи без участия человека, функционируя в морских и океанских условиях (рис. 1).

БНА обладают рядом уникальных преимуществ, которые делают их незаменимыми в различных областях деятельности. Рассмотрим основные из них:

- автономность: способность работать без необходимости постоянного управления оператором, что делает возможным длительное и эффективное их функционирование в удаленных и труднодоступных районах. Это снижает риски для человека в опасных условиях;
- эффективность и точность: способность выполнять различные операции с высокой степенью точности, скорости и эффективности, благодаря оснащению современными датчиками, системами навигации и искусственным интеллектом;
- многофункциональность: возможность применения в различных областях, таких как морское исследование, охрана окружающей среды, обнаружение и устранение утечек нефти, обеспечение безопасности на море, поисково-спасательные операции, а также в коммерческих целях, включая добычу полезных ископаемых и разведку подводных структур;
- экономическая эффективность: значительное снижение затрат на выполнение различных морских задач, благодаря работе продолжительное время без перерывов, что увеличивает производительность и экономическую эффективность;
- экологическая безопасность: благодаря мониторингу состояния окру-

РАЗРАБОТКА СИМУЛЯТОРА БЕСПИЛОТНОГО НАДВОДНОГО АППАРАТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КРОССПЛАТФОРМЕННОЙ СРЕДЫ

К. В. Лукин, бакалавр,

Ю. В. Ясинская, канд. техн. наук, доцент кафедры

«Системы автоматического управления и бортовой вычислительной техники»,

Е. А. Калякина, бакалавр,

СПбГМТУ,

контакт. тел. +7 (911) 320 8829

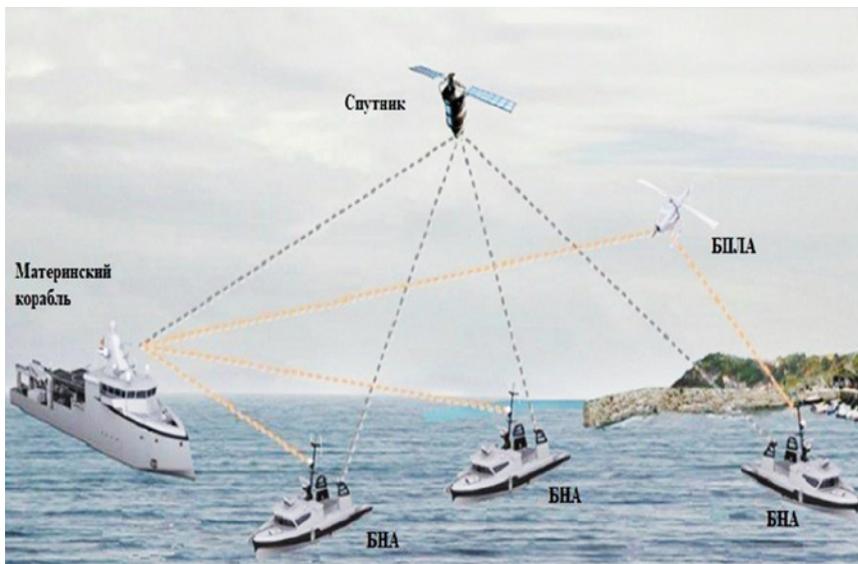


Рис. 1. Исходные позиции наблюдателя и объекта поиска

жающей среды с их помощью, контролю за загрязнением водных ресурсов, охране и защите морской фауны и флоры можно минимизировать влияние человеческой деятельности на морскую среду, что способствует сохранению биоразнообразия;

- инновационность: благодаря применению при создании БНА передовых технологических решений открываются новые перспективы для науки, техники и экономики [3].

Таким образом, БНА представляют собой современные технические аппараты с огромным потенциалом применения в различных сферах.

При разработке симулятора БНА был выбран движок Unity, хотя в процессе обсуждения рассматривался также Unreal Engine. Основными критериями были кроссплатформенность, простота использования, доступные ресурсы и возможность привлечения различных специалистов (см. таблицу).

Таблица

Сравнительный анализ кроссплатформенных движков

Параметр	Unity	Unreal Engine
Кроссплатформенность	Поддерживает множество платформ, включая мобильные	Широкая поддержка, включая консоли и VR
Простота использования	Интуитивный интерфейс Быстрый старт	Более сложный интерфейс Требуется больше времени на освоение
Сообщество	Огромное сообщество Много учебных ресурсов	Активное сообщество, но меньше материалов
Графические возможности	Мощный, но уступает Unreal в практике	Высокое качество графики, особенно для AAA-игр
Производительность	Хорошая производительность на большинстве платформ	Отличная производительность, но требует мощного оборудования
Стоимость	Бесплатная версия с широкими возможностями, Pro-версия	Бесплатная версия с ограничениями, высокая стоимость для бизнеса
Расширяемость	Легкость интеграции сторонних библиотек и инструментов	Труднее интегрировать некоторые сторонние решения

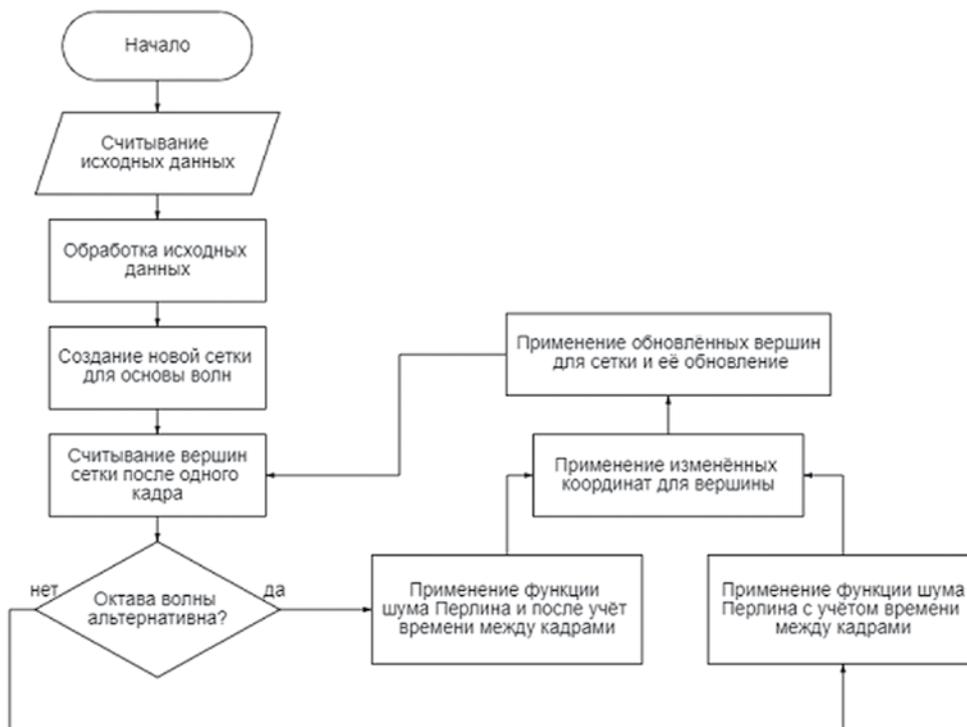


Рис. 2. Структурная схема кода симуляции водной среды

В процессе разработки симулятора БНА одной из ключевых задач было создание реалистичной водной поверхности. Для достижения этой цели использовался стандартный объект Plane в Unity, который служил базой для водной поверхности. Однако для создания эффекта волн и динамического взаимодействия с аппаратом требовалось значительно усовершенствовать его меш [2].

Был разработан алгоритм, который модифицировал меш Plane, добавив ему волнообразные деформации. Это было реализовано путем программно-

го изменения вершин меша в зависимости от заданных параметров волны, таких как скорость, высота и частот (рис. 2).

Благодаря использованию тригонометрических функций, таких как синус и косинус, удалось создать плавные и реалистичные волны, которые реагировали на изменения параметров в реальном времени (рис. 3). Этот подход не только улучшил визуальное восприятие симулятора, но и позволил моделировать поведение беспилотного аппарата в различных усло-

виях водной среды, обеспечив более точное и достоверное тестирование его алгоритмов.

Кроме моделирования волн на водной поверхности, также необходимо было разработать шейдер, который обеспечил бы реалистичную визуализацию воды. Шейдер позволил создать эффекты отражения и преломления света, добавил прозрачность и имитацию движения поверхностных волн. Используя Shader Graph в Unity, был разработан сложный материал, который динамически изменял внешний вид воды в зависимости от угла освещения и положения камеры. Это значительно повысило реалистичность симуляции (рис. 4).

Помимо создания водной поверхности, были разработаны отдельные надводные объекты для улучшения реалистичности и функциональности симулятора: буи и доски. Каждый объект был визуализирован с помощью средств выбранного движка. Было реализовано их взаимодействие с водной средой, а также была разработана логика взаимодействия с другими надводными объектами и самим БНА.

Для создания катера в Unity были использованы примитивы, такие как кубы и цилиндры. Начав с базовой структуры, был сформирован корпус катера из нескольких соединенных кубов, придав ему обтекаемую форму. Цилиндры послужили основой для создания перил. Объединив эти примитивы, был создан достаточно детализированный катер.

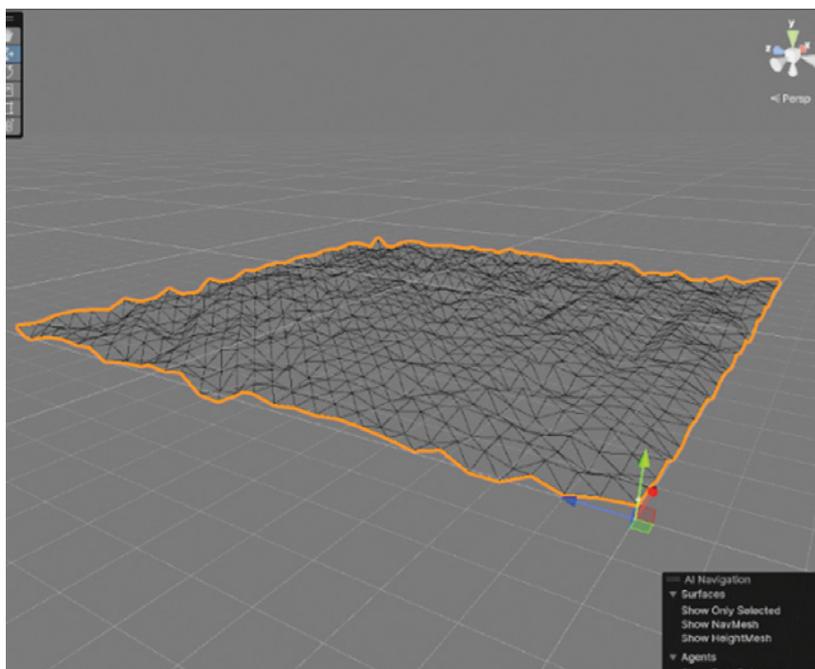


Рис. 3. Модель деформированной плоскости с симуляцией волн

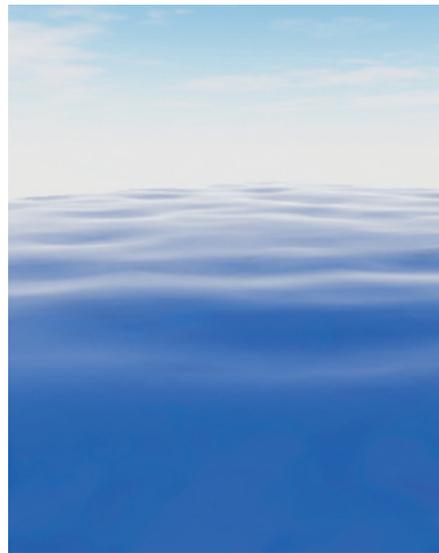
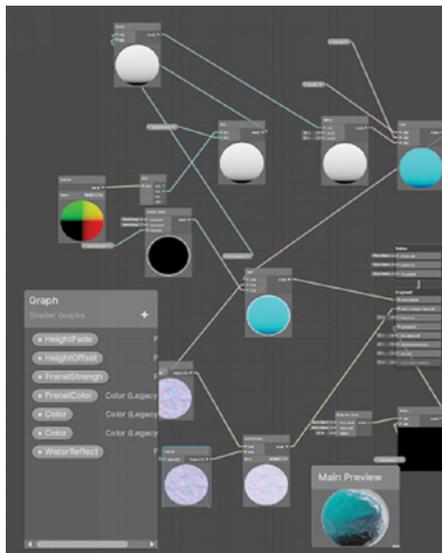


Рис. 4. Итоговый внешний вид водной поверхности. Разработка шейдера воды [4]

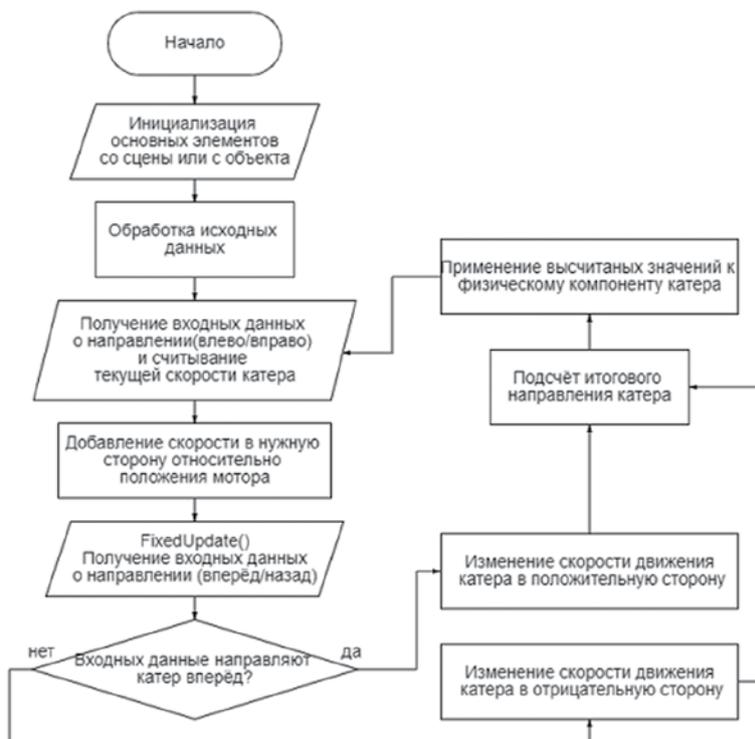


Рис. 5. Структурная схема кода управляющего движением катера

Для обеспечения реалистичного перемещения катера была предложена система управления и настроена физика его движения. Используя компоненты движка, были приданы катеру масса и плавучесть. Через скрипты реализовано управление, что позволяет катеру ускоряться, замедляться и поворачивать. Параметры физики были тщательно откалиброваны для правдоподобного взаимодействия с волнами и другими объектами, что улучшило реализм симулятора (рис. 5, рис. 6).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотрены основные этапы разработки симулятора беспилотного аппарата с использованием кроссплатформенного движка «Unity» на языке C#.

Разработана симуляция водной поверхности, которая может взаимодействовать с другими объектами. Также ее визуальная часть реализована с помощью средств движка. Разработаны отдельные объекты, которые имитируют поведение на водной поверхности.

Помимо этого был написан симулятор управления беспилотным надводным аппаратом, достоверно повторяющий поведение реального катера.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рихтер, Джеффри. CLR via C#. Программирование на платформе Microsoft.NET Framework 4.5 на языке C#. – СПб.: Питер, 2013. – 896 с.
2. Мэннинг, Джозеф, Джонсон, Уилбур, Харрис, Райан. Unity в действии. Мультиплатформенная разработка на C#. – М.: ДМК Пресс, 2019. – 624 с.
3. Меркулов А.А., Маслюк Е.В. Беспилотные морские дроны. – М.: Техносфера, 2020. – 256 с.
4. Ламмерс, Кенни. Шейдеры и эффекты в Unity: Книга рецептов. – М.: Питер, 2018. – 320 с. ■

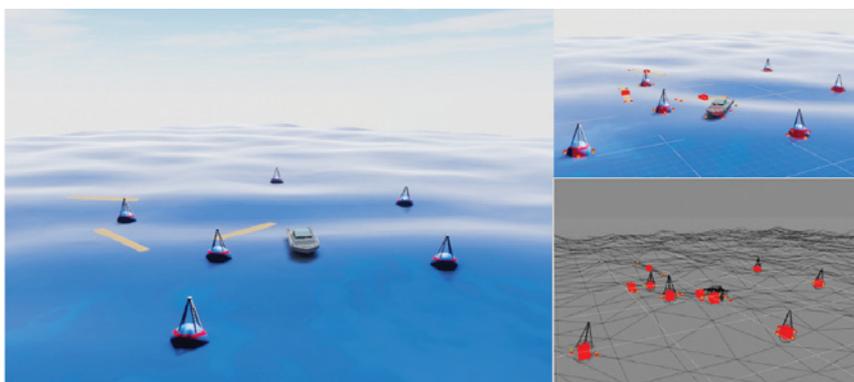


Рис. 6. Результат разработки симулятора

Ограниченность частотного диапазона – серьезная проблема при организации пакетных передач в сетях морской подвижной радиосвязи в режиме адаптации или программной перестройки рабочей частоты (ППРЧ) [1–5]. Особенно остро стоит проблема с выбором рабочего канала при очередной смене частоты [7]. Это связано в первую очередь с высокой загруженностью частотных каналов при нахождении кораблей и судов в акватории морских портов [8, 9].

Учитывая, что анализ пригодности рабочих каналов, как правило, осуществляется по результатам оценки уровня их шумов с использованием тестов на основе реализации процедур энергетического обнаружения сигналов [10], не исключена вероятность назначения частично занятого канала [11]. Это возможно в том случае, если в обрабатываемой входной реализации сигнал сторонних радиоэлектронных средств (СРЭС) содержится только в части выборки. То есть работа стороннего РЭС началась в процессе накопления входной реализации обнаружителем. Очевидно, что непосредственно при назначении такого канала для передачи информации в нем будет присутствовать сигнал СРЭС, и такой канал уже будет непригоден для работы.

При высоких скоростях перестройки рабочих частот как в адаптивном режиме, так и в режиме с ППРЧ [12], вынужденная смена канала приведет к снижению коэффициента готовности радиолинии и как результат к общей скорости передачи информации.

Рассмотренные обстоятельства обуславливают актуальность разработки модели расчета вероятности обнаружения сигналов в каналах при их частичной занятости. В дальнейшем под частичной занятостью канала в статье понимаются условия, когда в обрабатываемой реализации сигнал СРЭС содержится только в части ее временного интервала.

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ОБНАРУЖИТЕЛЯ ПО ОБРАБОТКЕ ЧАСТИЧНО ЗАНЯТЫХ КАНАЛОВ

С целью оценки возможностей канонических тестов обнаружения сигналов рассмотрим условия выбора канала [13]. Пусть

H_0 – гипотеза, согласно которой канал свободен и в нем содержится только шум;

H_1 – гипотеза о частичной занятости канала, в соответствии с которой в части входной реализации содержится сигнал СРЭС.

МОДЕЛЬ РАСЧЕТА ВЕРОЯТНОСТИ ОБНАРУЖЕНИЯ СИГНАЛОВ В КАНАЛАХ ПРИ ИХ ЧАСТИЧНОЙ ЗАНЯТОСТИ

А.А. Катанович, д-р техн. наук, проф.,

заслуженный изобретатель РФ, гл. науч. сотрудник,

Е.И. Ролдугина, мл. науч. сотрудник,

Е.В. Пыков, канд. техн. наук, зам. начальника отдела,

НИИ ОСИС ВМФ ВУНЦ ВМФ «ВМА им. Н.Г. Кузнецова»,

Д.В. Васильева, ст. преподаватель ГУАП,

С.В. Дворников, д-р техн. наук, проф., ГУАП и ВАС им. С.М. Будённого, контакт. тел. (812) 247 9400

Тогда входную реализацию $z(t)$, подлежащую обработке, представим как

$$z(t) = \begin{cases} n(t) & H_0; \\ n(t) + s(t) & H_1, \end{cases} \quad (1)$$

где $s(t)$ – сигнал СРЭС, который представляет собой радиоизлучение с постоянной амплитудой; $n(t)$ – аддитивный белый гауссов шум (англ. Additive White Gaussian Noise – AWGN) [14].

В каналах квадратурного обнаружителя компоненты входной реализации будут представлять произведение некоторой детерминированной постоянной составляющей E_{cp} на случайную величину, характеризующую амплитудные изменения $A \times \cos(\varphi)$ ($A \times \sin(\varphi)$), соответственно в синфазном z_c и квадратурном z_k каналах [15]:

$$\begin{cases} z_c = E_{cp} A \cos(\varphi); \\ z_k = E_{cp} A \sin(\varphi). \end{cases} \quad (2)$$

Поскольку в рассматриваемой ситуации амплитуда A мгновенных значений z_c и z_k будет распределена по закону Релея, а значения полной фазы φ – по закону Гаусса, результирующая величина компонент обрабатываемых выборок будет подчиняться закону Релея [16].

Таким образом, искомую выборку входной реализации можно представить в виде сигнала с известными амплитудой и фазой, значения которых под воздействием шумов приобрели случайный характер.

Тогда дискретные отсчеты входной реализации на входе обнаружителя можно интерпретировать в виде суммы независимых гауссовых величин случайного характера с нулевым средним значением и суммарной дисперсией, определяемой выражением

$$\sigma_z^2 = \sigma_s^2 + \sigma_n^2 = \sigma_n^2(1 + h_0^2), \quad (3)$$

где h_0^2 – величина отношения сигнал/шум (ОСШ).

Под ОСШ будем понимать

$$h_0^2 = N_0 / E_{0cp}, \quad (4)$$

где N_0 – спектральная плотность мощности двухстороннего шума; E_{0cp} – средняя мощность сигнала.

Согласно [17] квадрат модуля обрабатываемых значений выборки $z(t)$ на выходе обнаружителя с учетом предположения о детерминированности параметров сигнала будет распределен по экспоненциальному закону с дисперсией, определяемой шумовой и сигнальной составляющей:

$$w(z^2) = \frac{1}{2\sigma_z^2} \exp\left[-\frac{z^2}{2\sigma_z^2}\right]. \quad (5)$$

Для рассмотренных условий вероятность правильного обнаружения можно рассчитать в соответствии с выражением [16]

$$D = \int_{G_0}^{\infty} w(z^2) dz^2 = \exp\left[-\frac{G_0}{2\sigma_z^2}\right] = \exp\left[-\frac{G_0}{N_0 \bar{E}(1 + h_0^2)}\right], \quad (6)$$

где G_0 – величина порога принятия решения.

Соответственно, вероятность ложной тревоги определяется как [18]

$$F = \exp\left[-\frac{G_0}{N_0 \bar{E}}\right]. \quad (7)$$

Тогда, подставляя (7) в (6), получаем

$$D = \exp\left[\frac{\ln(F)}{1 + h_0^2}\right]. \quad (8)$$

График зависимости $D(h_0^2)$ при значениях $F = 10^{-3}, 10^{-2}, 10^{-1}$ представлен на рис. 1.

На рис. 1 показаны значения ОСШ (в децибелах), соответствующие достоверности правильного принятия решения $D = 0,95; 0,67$.

Анализ результатов показывает существенную зависимость вероятности правильного обнаружения от показателя ложной тревоги. Так, для обеспечения $D = 0,67$ при $F = 10^{-3}$ необходимо обеспечить качество канала по показателю ОСШ порядка 5,8 дБ; при $F = 10^{-2}$ требования к ОСШ снижаются до 4,9 дБ, а при $F = 10^{-1}$ допустимо снижение ОСШ в канале примерно до 3,2 дБ. В то же время для реализации вероятности приема на уровне $D = 0,95$ требуемая величина ОСШ должна быть в пределах от 10,1 дБ при $F = 10^{-3}$ до 7,8 дБ при $F = 10^{-1}$.

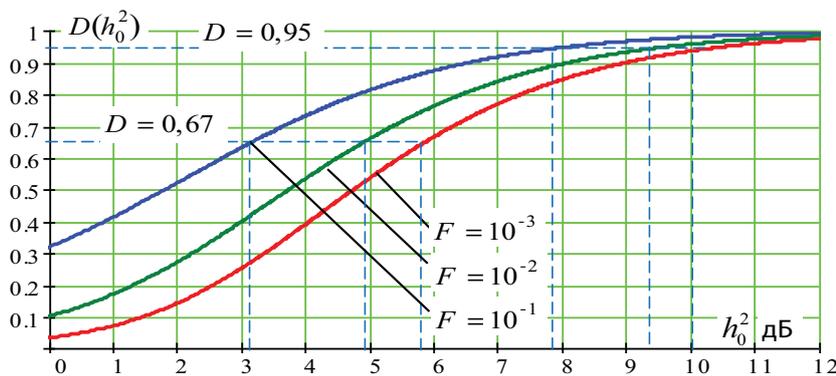


Рис. 1. Зависимость вероятности правильного обнаружения от ОСШ в канале

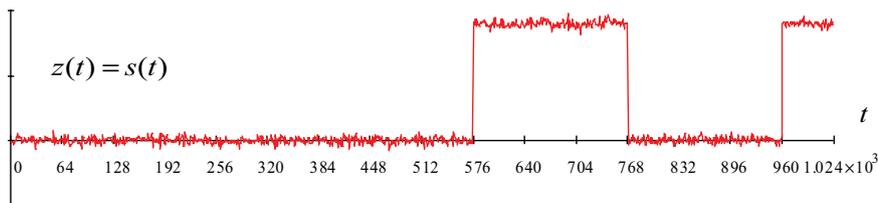
ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО МОДИФИЦИРОВАНИЮ ТЕСТА ОБНАРУЖЕНИЯ СИГНАЛА ПРИ ЧАСТИЧНОЙ ЗАНЯТОСТИ

Поскольку задачей исследования является достоверное выявление сигнала при частичной занятости канала, правило принятия решения на основе критерия максимального правдоподобия $\Lambda(z)$ о наличии или отсутствии сигнала СРЭС будет зависеть от выбором гипотез H_0 и H_1 .

С предложенных позиций величина порога G_0 будет определяться следующим правилом:

$$\begin{cases} H_0 \rightarrow n(t) & \Lambda(z) < G_0; \\ H_1 \rightarrow n(t) + s(t) & \Lambda(z) \geq G_0. \end{cases} \quad (9)$$

а)



б)

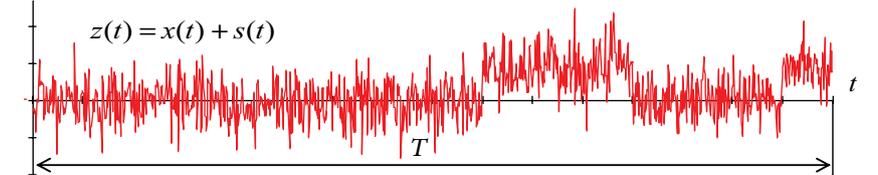


Рис. 2. Обработываемая входная реализация в канале: а – при значении ОСШ 30 дБ; б – при значении ОСШ 7,5 дБ (в полосе сигнала)

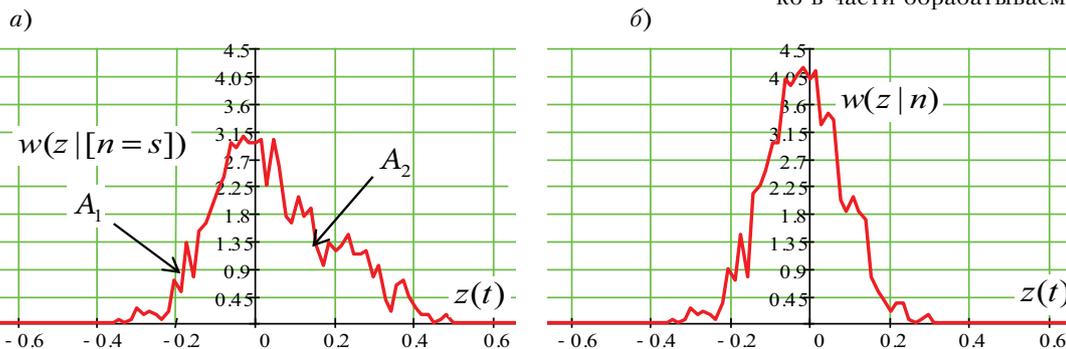


Рис. 3. Функции плотности распределения входных реализаций: а – при частичной занятости канала; б – содержащей только шум

Полагая, что пакетная передача характеризуется временными интервалами τ , длительность которых существенно меньше длительности обрабатываемой выборки входной реализации $\tau < T$, частично занятый канал можно представить, как показано на рис. 2.

На рис. 2, а показана входная реализация сигнала $z(t)$ на временном интервале выборки в шумах при ОСШ 30 дБ, а на рис. 2, б – в условиях шумов при ОСШ 7,5 дБ. На верхнем графике рис. 2, а по оси абсцисс представлена нумерация отсчетов для лучшего восприятия соотношения части выборки, занятой сигналом СРЭС, к общему интервалу входной реализации. При этом следует отметить, что в полосе обработки на длительности T суммар-

ная величина ОСШ составляет всего $h_0^2 = -0,8$ дБ.

В общем случае концепция разработки оптимального теста обнаружения сигналов базируется на процедурах оптимальной фильтрации и корреляции, результат которых затем сравнивается с пороговым значением G_0 принятия решения, определяемым условиями выражения (9) [16–18].

Вместе с тем следует отметить, что представленная концепция исходит из предположения о соответствии канальных шумов условию AWGN. Это позволяет плотность распределения вероятности входной реализации $z(t)$, являющейся случайной величиной, описывать в терминах нормального закона посредством выражения [17]

$$w(z | H_0) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left[-\frac{(z-m)^2}{2\sigma^2}\right], \quad (10)$$

где m – среднее значение выборки $z(t)$ (ее математическое ожидание); σ^2 – дисперсия выборки $z(t)$.

Однако обоснованность выбора выражения (10) для описания закона распределения входной реализации правильно только в том случае, если аддитивность условия (1) обеспечена на длительности T всей реализации. Но при частичной занятости канала огибающая функции плотности вероятности будет отличаться от гауссовой [19]. В качестве примера на рис. 3 изображено распределение амплитудных значений выборки для условия частично занятого канала (см. рис. 2,б). Здесь текущее значение ОСШ в пределах временного интервала существования сигнала составляет $h_0^2 = 7,5$ дБ, притом что ОСШ на длительности всей выборки T составляет $h_0^2 = -0,8$ дБ.

Функции плотности распределения $w(z | n)$ и $w(z | [n + s])$, отображенные на рис. 3, построены в одинаковом масштабе. Вместе с тем анализ формы функции распределения, представленной на рис. 3, а, указывает на ее явную асимметричность относительно нулевого уровня, которая обусловлена тем, что сигнал СРЭС содержится только в части обрабатываемой выборки

(см. рис. 2, б). А учитывая, что канонические тесты обнаружения ориентированы на обработку функций распределения вероятностей описываемых нормальным законом [16], можно предположить, что в рассматриваемых условиях их применение приведет к ошибке.

Поскольку решение задачи обнаружения в общем случае сводится к сравнению порога принятия решения с отношением правдоподобия [17, 20], целесообразно установить, насколько отношение правдоподобия может измениться в связи с отличием функции плотности распределения от нормального закона. Отношение правдоподобия согласно [16] при неизвестной априорной информации о параметрах обрабатываемой выборки строится на основе апостериорных вероятностей:

$p_0(z | H_1)$ – условная вероятность того, что в обрабатываемой выборке содержится сигнал СРЭС, что соответствует гипотезе H_1 ;

$p_1(z | H_0)$ – условная вероятность того, что в обрабатываемой выборке содержится только шум, что соответствует гипотезе H_0 :

$$\Lambda = \frac{p_0(z|H_1)}{p_0(z|H_0)} = \frac{\int_{G_0} w(z(t)|[n(t)+s(t)])dt}{\int_{-\infty}^{\infty} w(z(t)|n(t))dt}. \quad (11)$$

Для критерия максимального правдоподобия порог принятия решения G_0 следует определять, исходя из следующего условия:

$$G_0 = \frac{m[w(z|n)] + m[w(z|(n+s))]}{2}, \quad (12)$$

где $m[w(z|n)]$ – математическое ожидание функции плотности распределения $w(z|n)$; $m[w(z|(n+s))]$ – математическое ожидание функции плотности распределения $w(z|(n+s))$.

Поскольку функция плотности распределения $w(z|(n+s))$ для описания частично занятых каналов не имеет аналитического выражения, то первоначально предлагается оценить различия левой и правой части распределения (см рис. 3, а, здесь левая и правая области распределения обозначены как A_1 и A_2), вызванных наличием сигнала СРЭС только в части обрабатываемой выборки. Для этого во временной фрагмент обрабатываемой выборки $z(t)$ длительностью T в ходе эксперимента постепенно добавлялся сигнал СРЭС с дискретным шагом $T/16$. Текущее значение ОСШ на интервале существования сигнала – в пределах от 7 до 5 дБ.

Затем формировалась функция плотности распределения амплитудных значений выборки, которое относительно медианного значения делилось пополам. Различия левой и правой половины оценивались показателем различия

K_w , представляющего собой отношение правой части функции $w(z|(n+s))$ к ее левой части:

$$K_w = \frac{\sum_{i=\text{Med}[w(z|H_1)]}^{N_w} w_i(z|(n+s))}{\sum_{i=0}^{\text{Med}[w(z|H_1)]} w_i(z|(n+s))}, \quad (13)$$

где $\text{Med}[w(z|H_1)]$ – медиана функции $w(z|(n+s))$; N_w – предельное значение дискретных интервалов ($z|(n+s)$).

Результаты вычисления K_w представлены в таблице.

Таблица
Значения показателя различия K_w при различной длительности выборки, занятой сигналами стороннего ИРИ источника распространения информации

Длительность фрагмента, занятого сигналом СРЭС, $\Delta\tau$	K_w
T/16	1,15
2T/16	1,3
3T/16	1,47
4T/16	1,67
5T/16	1,87
6T/16	1,61
7T/16	1,45
8T/16	1,22
9T/16	0,84
10T/16	0,71
11T/16	0,68
12T/16	0,53
13T/16	0,67
14T/16	0,74
15T/16	0,81
T	0,88

Данные в таблице усреднены по результатам 200 измерений.

Анализ полученных результатов позволяет сделать следующее заключение: максимальные различия, определяемые показателем различия K_w , наступают при длительности сигнала СРЭС в пределах 25% и 75% длительности обрабатываемой реализации. Это обусловлено тем, что в первом случае (при 25%) основные компоненты будут максимально локализованы в правой части распределения,

тем самым обеспечивая наибольшую асимметрию распределения.

Особенности таких распределений в [11] предложено учитывать в расчетных выражениях путем внесения поправочных коэффициентов. Поэтому предлагается выражение (8) модифицировать следующим образом:

$$D = \begin{cases} \exp\left[\frac{\ln(F)}{1+h_0^2+K_w^2}\right] & \text{при } K_w \geq 1; \\ \exp\left[\frac{\ln(F)}{1+h_0^2+1/K_w^2}\right] & \text{при } K_w < 1. \end{cases} \quad (14)$$

Полученное выражение позволяет рассчитать достоверность обнаружения по результатам оценки функции плотности распределения амплитудных значений.

Для общего понимания полученного результата на рис. 4 представлены графики, построенные согласно выражению (14) для среднего значения показателя различия, полученного по результатам обработки данных табл. 1.

В соответствии с полученными результатами для достоверности правильного обнаружения $D = 0,95$ при вероятности ложной тревоги $F = 10^{-3}$ введение дополнительного параметра снижает требования к ОСШ в пределах 0,2 дБ; при $F = 10^{-2}$ – соответственно на 1 дБ до величины ОСШ 8,2 дБ; при $F = 10^{-1}$ допустимые границы ОСШ раздвигаются на 2 дБ до величины 6,1 дБ. Для вероятности обнаружения $D = 0,67$ введение коэффициента различия обеспечивает снижение требований к ОСШ более чем на 2 дБ, до значения 3,1 дБ при $F = 10^{-3}$, и 1,8 дБ при $F = 10^{-2}$.

Следует отметить, что графики на рис. 4 наиболее точно характеризуют результаты в области значений ОСШ от 3 до 8 дБ, поскольку при низких значениях ОСШ текущая величина показателя различия K_w уже существенно отличается от среднего значения, используемого при построении этих графиков.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проблема поиска новых показателей в тестах обнаружения сигналов при частичной занятости каналов актуальна не только для пакетных передач морской

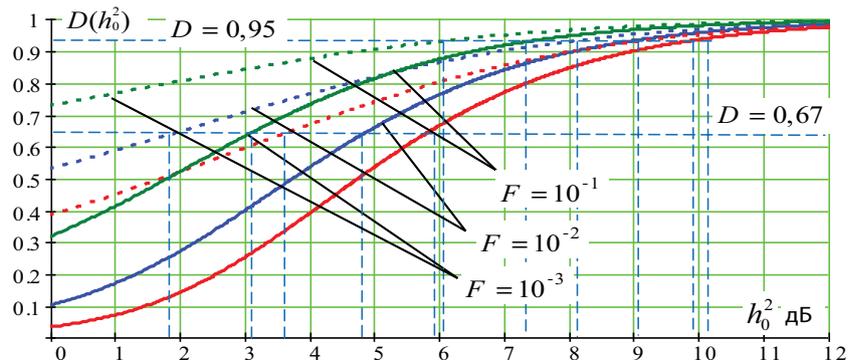


Рис. 4. Зависимость вероятности правильного обнаружения от ОСШ в канале с учетом уточненных выражений

подвижной радиосвязи. Аналогичные ситуации возникают и в каналах широкополосных передач стандарта 5G. По результатам их анализа в [15, 19] предложены тесты, базирующиеся на дополнительных параметрах, полученных по результатам обработки гистограмм амплитудных распределений, в частности, использования критерия Жака-Бера [11], основанного на учете статистических моментов высоких порядков. А в [21], разработанные авторами тесты и вовсе ориентированы на учет кумулянтов 4-го и 6-го порядков.

Данные обстоятельства позволяют заключить о правильности выбранного направления совершенствования тестов за счет учета в них показателя различия, представляющего собой отношение левой и правой части гистограмм распределений, формируемых из амплитудных значений обрабатываемой выборки.

Использование данного показателя в аналитической модели обнаружителя расширяет его границы по показателю отношения сигнал/шум на 40%, что обеспечивает его работу с достоверностью правильного принятия решения от 0,67 до 0,87 при ОСШ, равном 3–8 дБ.

Дальнейшее исследование авторы связывают с повышением общей помехоустойчивости приема, используя подходы, предложенные в [22–24].

Исследование выполнено за счет гранта Российского государственного научного фонда (проект № 24-79-10259).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Синица А.Р., Милкин В.И.* Исследование повышения надёжности радиосвязи с удалёнными подвижными объектами Северного морского пути // *Научные горизонты.* – 2022. – № 5(57). – С. 70–79. – EDN EX1HAU.
2. *Метод мобильной радиосвязи / Павликов С.Н., Копалева Е.Ю., Колесов Ю.Ю. [и др.]* // *Морские интеллектуальные технологии.* – 2022. – № 3-1(57). – С. 282–287. – DOI 10.37220/MIT.2022.57.3.036. – EDN XLSDMK.
3. *Дворников С.В., Пшеничников А.В., Русин А.А.* Обобщенная функциональная модель радиолинии с управлением её частотным ресурсом // *Вопросы радиоэлектроники.* – Сер.: *Техника телевидения.* – 2016. – № 3. – С. 49–56. – EDN WKODPZ.
4. *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 VUYFFO.
5. *Пугачев В.А., Крючков И.Б.* Ретрансляционный узел специальной подвижной радиосвязи морского базирования // *Информация и космос.* – 2009. – № 3. – С. 12–14. – EDN KXEJAD.
6. *Дворников С.В., Дворников С.С., Жезлов К.Д.* Проактивный контроль пригодности радиоканалов в режиме ППРЧ // *T-Comm: Телекоммуникации и транспорт.* – 2022. – Т. 16. – № 11. – С. 15–20. – DOI 10.36724/2072-8735-2022-16-11-15-20. – EDN YLWCFH.
7. *Пашицев В.П., Белоконов Д.А., Диптан П.А.* Зависимость пропускной способности однолучевого коротковолнового канала связи от степени диффузности ионосферы и выбора рабочей частоты // *Изв. Ин-та инженерной физики.* – 2025. – № 2(76). – С. 25–31. – EDN NRBRVI.
8. *Потехин А.И., Потехин А.А.* Устройство автоматического выбора дискретного канала // *Успехи современной радиоэлектроники.* – 2017. – № 9. – С. 69–72. – EDN ZMRGOP.
9. *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.
10. *Двойрис Л.И., Иванов В.А., Галев К.В.* Критерий энергетического обнаружения объектов на основе анализа параметров закона распределения центрированных и нормированных фоновых сигналов // *Радиотехника.* – 2019. – № 2. – С. 34–39. – DOI 10.18127/j00338486-201902-07. – EDN VXCPYU.
11. *Nikonowicz J. and Jessa M.* Gaussianity Testing as an Effective Technique for Detecting Discontinuous Transmission in 5G Networks. – Received January 22, 2021, accepted January 31, 2021. – 2021, February 3, date of current version, 2021, February 9.
12. *Работа линий радиосвязи с ППРЧ в условиях преднамеренных помех / Вознюк М.А., Дворников С.В., Винокуров М.Е. [и др.]* // *Информационные технологии.* – 2012. – № 10. – С. 64–67. – EDN PDWUNB.
13. *Larshin V., Lishchenko N., Pitel Ja.* Detecting systematic and random component of surface roughness signal // *Herald of Advanced Information Technology.* – 2020. – Vol. 3. – No. 2. – P. 61–71. – DOI 10.15276/hait.03.2019.6. – EDN WRKTEB.
14. *Artemiev V. M., Kostromitsky S.M., Naumov A.O.* Detection of signals of moving objects based on the time selection method // *Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. – Physico-Technical Series.* – 2021. – Vol. 66. – No. 3. – P. 335–342. – DOI 10.29235/1561-8358-2021-66-3-335-342. – EDN ZWHVDR.
15. *Ханцев В.Г., Ользен Б.А.* Непараметрическое обнаружение сигналов с использованием обобщенного рангового знакового критерия. – *Зарубежная радиоэлектроника.* – 1972. – №9. – С. 28–41.
16. *Сосулин Ю.Г.* Теория обнаружения и оценивания стохастических сигналов. – М.: Сов. радио, 1978. – 320 с.
17. *Левин Б.Р.* Теоретические основы статистической радиотехники. – Т. 1. – М.: Сов. радио. – 522 с; Т. 2. – 504 с; Т. 3. – 285 с.
18. *Орошук И.М., Сучков А.Н., Мельник С.Л., Соловьев М.В.* Вероятностная оценка обнаружения радиолокационного сигнала цифровой антенной решеткой с пространственно-корреляционным методом обработки сигналов // *Журнал радиоэлектроники.* – 2019. – № 6. – С. 1. – DOI 10.30898/1684-1719.2019.6.2. – EDN YBNRTK.
19. *Nikonowicz J. and Jessa M.* A novel method of blind signal detection using the distribution of the bin values of the power spectrum density and the moving average // *Signal Process.* 2017. – Vol. 66 (July). – P. 1828.
20. *Гужва А.Ю., Дворников С.В., Русин А.А., Пшеничников А.В.* Методика трансформации сигнального созвездия сигнала КАМ-16 с изменением его формы // *Электросвязь.* – 2015. – № 2. – С. 28–31. – EDN TIRREJ.
21. *Bozovicand R., Simic M.* Spectrumsensing-based on higher order cumulants and kurtosis statistics tests in cognitive radio // *Radioengineering.* – 2019. – Vol. 27. – No. 2 (June). – P. 464472.
22. *Дворников С.В., Пшеничников А.В., Манаенко С.С.* Помехоустойчивая модель сигнала КАМ-16 с трансформированным созвездием // *Информационные технологии.* – 2015. – Т. 21. – № 9. – С. 685–689. – EDN UMHSME.
23. *Демодуляция сигналов ОФТ на основе адаптивного порога / Дворников С.В., Устинов А.А., Пшеничников А.В. [и др.]* // *Вопросы радиоэлектроники. Серия: Техника телевидения.* – 2013. – № 2. – С. 90–97. – EDN TFTIET.
24. *Дворников С.В., Осадчий А.И., Дворников С.С., Родин Д.В.* Демодуляция сигналов на основе обработки их модифицированных распределений // *Контроль. Диагностика.* – 2010. – № 10. – С. 46–54. – EDN NBEXTJ. ■

К числу основных задач корабельной системы связи относятся обеспечение безопасности мореплавания и охрана человеческой жизни на море [1]. Высокий уровень конструктивной безопасности современных кораблей и надежные средства кораблевождения и связи не гарантируют защиту от аварий и катастроф на море, которые ежегодно уносят тысячи человеческих жизней. Корабли и суда, терпящие бедствие, не всегда имеют возможность передавать сигналы о случившемся и получать своевременную помощь. В арктической части РФ ситуация с безопасностью кораблевождения осложнена тем, что значительная доля приполярных районов НАВАРЕА/МЕТАРЕА XX и XXI и трасс Северного морского пути (СМП) находятся за пределами радиогоризонта геостационарных спутников и не охвачены спутниковой связью, т. е. по классификации Международной морской организации находятся в морском районе А4, на который информация о безопасности мореплавания (ИБМ) передается радиосредствами ПВ/КВ диапазона.

В КВ диапазоне радиосвязь кораблей с портами может быть осложнена на длительное время внезапным поглощением радиоволн ионосферой и полярным сиянием. Полярное сияние само по себе – источник радиощума, который ухудшает качество радиосвязи, а поглощение радиоволн КВ диапазона в полярной шапке становится причиной «непроехождения» и обрыва связи от нескольких часов до нескольких суток. В этих условиях стабильная радиосвязь кораблей с портами может осуществляться за счет своевременной смены рабочих частот для работы «земной волной» или «ионосферной волной» с ретрансляцией через удаленный континентальный радиодиацентр. В последнем случае точка отражения радиоволн от ионосферы находится за пределами полярной зоны, что обеспечивает устойчивую радиосвязь с корреспондентами в Арктике [2].

Так как корабли оснащены передатчиками небольшой мощности, как правило 100 Вт, и штыревыми антеннами, энергетический баланс радиолинии с кораблем обеспечивается за счет береговых радиодиацентров:

- на передающих береговых радиодиацентрах высокие показатели качества связи с кораблями на трассах СМП достигаются при мощностях передатчиков 5 кВт и своевременном частотном обеспечении кораблей;

- на приёмных береговых радиодиацентрах энергетический баланс радиолинии может быть увеличен на 8–10 дБ за счет применения системы антенн с переключением поляри-

ОБЕСПЕЧЕНИЕ КОРАБЛЕЙ НАДЕЖНОЙ И БЕСПЕРЕБОЙНОЙ РАДИОСВЯЗЬЮ В АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ РФ

С. В. Русин, канд. техн. наук, вед. науч. сотрудник,

В. А. Долгих, ген. директор,

В. Д. Пашкевич, начальник отдела,

АО «Научно-технический институт «Радиосвязь»,

С. В. Волвенко, ст. науч. сотрудник

*Высшей школы прикладной физики и космических технологий СПбПУ,
контакт. тел. (812) 305 2586, доб. 14135, rusin_sw@ntiradio.ru*

зации «горизонтальная – вертикальная – круговая» и выбора режима поляризационного согласования антенны с сигналом и поляризационно-разнесенного приема [2].

Бесперебойное частотное обеспечение кораблей может осуществляться круглосуточно на всем протяжении СМП средствами метеорной радиосвязи [1, 3, 4].

Практическое использование средств метеорной радиосвязи (СМРС) продолжается с начала 1950-х гг. На метеорных радиолиниях с передатчиками умеренной мощности доступно достаточное количество метеорных следов для поддержания телетайпной связи на умеренных скоростях и, «... хотя один наблюдатель может видеть всего два-три видимых следа в час, за тот же период можно обнаружить с помощью чувствительной радиоаппаратуры сотни следов» [5]. Наибольший практический интерес представляет использование СМРС в системе частотного обеспечения, требующей передачи небольших объемов информации с высокой имитостойкостью, скрытностью и стойкостью к радиоподавлению.

Характеристики метеорной радиосвязи достаточно полно описаны в трудах [5–9]. Антенны средств метеорной радиосвязи ориентируют в плоскости большого круга так, чтобы главные лепестки диаграмм направленности пересекались примерно на высоте 110 км, образуя так называемое «пятно засветки ионосферы» – область пространства на пересечении главных лепестков диаграмм направленности антенн.

Благоприятными условиями для метеорной радиосвязи являются трассы протяженностью 700–1400 км в утренние часы (0–6 ч по местному времени) в летне-осенний период, неблагоприятными – короткие трассы, меньше 500 км, или протяженные, более 1400 км, радиотрассы в вечерние часы в зимне-весенний период.

В соответствии с существующей классификацией метеоры характеризуются звёздной величиной, а метеорные следы (МСл) – электронной концентрацией. Метеоры 1–5 звездных величин оставляют «переуплотненные» МСл (МСлП) с электронной концентрацией $N > 10^{14}$, обеспечивающие среднечасовую скорость до 2–3 кбит/с. Метеоры 6–10 звездных величин оставляют «неуплотненные» МСл (МСлН) с электронной концентрацией $N < 10^{14}$, обеспечивающие среднечасовую скорость до 30–40 бит/с [5, 9].

Количество метеорных следов, попадающих в «пятно засветки», зависит от интенсивности метеорных потоков и размера «пятна засветки». При использовании 3–5 элементных антенн «Уда-Яги» в суммарно неблагоприятных условиях среднее количество метеоров 1–5 звездных величин, попадающих в «пятно засветки», составляет $K \approx 40$ в час, т. е. за 10-минутный интервал появляется 6–7 переуплотненных следов.

В суммарно неблагоприятных условиях в течение часа могут наблюдаться только метеоры 6–10 звездных величин (от следов которых еще происходит фиксируемое отражение радиоволн). Среднее количество таких метеоров $K \approx 500$ в час, т. е. за 10-минутный интервал появляется ~1750 неуплотненных следов.

Береговые центральные метеорные радиостанции должны находиться на передающих радиодиацентрах в портах Мурманск, Архангельск, Сабетта, Игарка, Дудинка, Диксон, Тикси, Певек, Мыс Шмидта и работать на фиксированной частоте в штатном режиме (например, 60 МГц с полосой 20 кГц и с дискретом несущих частот через 25 кГц со скоростью 50 бит/с) [1]. Основным требованием, предъявляемым к системе частотного обеспечения кораблей, является установление устойчивой связи с большим количеством персональных абонентов, находящихся

ся на расстояниях до 1700 км от береговой центральной метеорной радиостанции.

Корабельные метеорные радиостанции имеют бортовой антенный модуль и радиопередатчик мощностью порядка 60 Вт и предназначены для приема частотного плана, передачи, текстов оповещения, поступающих абонентам по назначенным им персональным адресам. В связи с тем, что при работе в сетевом режиме корабельные метеорные станции постоянно находятся в режиме ожидания и отвечают на запрос центральной станции только в моменты образования случайного метеорного канала, скважность работы передатчика оказывается очень высокой (порядка 60–150), а его средняя мощность равна 8 Вт. Это обстоятельство позволяет уменьшить габаритные размеры самого передатчика и источника питания, а следовательно, и снизить стоимость корабельной метеорной станции. Режим периодического опроса более экономичен, чем режим непрерывного слежения, выгоден с точки зрения электромагнитной совместимости [1, 3].

Между береговыми центральными станциями метеорной радиосвязи может быть организована прямая связь по метеорному радиоканалу со средней скоростью 50–100 бит/с и средним временем ожидания связи 3 мин.

Для обоснования решения по автоматическому частотному обеспечению кораблей средствами метеорной радиосвязи выполнен анализ качества связи на радиолиниях ионосферных волн в КВ диапазоне и на радиолиниях метеорной радиосвязи в УКВ диапазоне в условиях ионосферных возмущений.

Расчет вероятности обеспечения связи в условиях высокой и низкой солнечной активности с кораблем, находящимся на трассах СМП, выполнен на модели ионосферы IRI с помощью программного обеспечения «Трасса» [10]. В расчетах приняты следующие технические параметры радиолинии: мощность корабельного передатчика – 100 Вт и 1 кВт, корабельная антенна – штырь 8 м, мощность передатчика на передающем радиоцентре – 5 кВт, передающая антенна РГД65/4 1.

Приёмная антенна на приёмном радиоцентре – ОБ-Е. Результаты расчета дали высокую вероятность обслуживания – 90% при времени действия 80–90% и своевременном автоматическом частотном обеспечении кораблей. В качестве средства доставки на корабли частотного расписания авторы предлагают использовать в Арктической зоне метеорную радиосвязь между портами (береговыми объектами связи) и кораблями.

Радиоцентры морских портов, береговые объекты связи и удаленные континентальные радиоцентры-ретрансляторы получают частотное расписание по Единой автоматизированной системе связи (ЕАСС). Корабли на дальностях до 1750 км получают частотное расписание по метеорным радиолиниям от радиоцентров морских портов и береговых объектов связи. Процесс радиообмена короткими сообщениями по метеорным радиолиниям исследован на модели Matlab Simulink и на экспериментальной метеорной радиолинии. Метеорная радиосвязь является новым инструментом частотного обеспечения [4]. Она обеспечит обмен служебной информацией, в том числе доставку на корабли частотного расписания без использования частотного ресурса КВ диапазона.

ВЫВОД

Предлагаемая система частотного обеспечения КВ радиосвязи с кораблями в Арктической зоне, в том числе на трассах Северного морского пути, позволит иметь бесперебойную коротковолновую радиосвязь с кораблями в условиях ионосферных возмущений. Имеющиеся в НТИ «Радиосвязь» теоретический и практический заделы в области радиосвязи и SDR технологий позволяют реализовать программно-аппаратный комплекс частотного обеспечения КВ радиосвязи нового поколения, в состав которого входят средства метеорной радиосвязи и который обеспечивает бесперебойную доставку частотного расписания на корабли в Арктической зоне в автоматическом режиме по метеорным радиоканалам в соответствии со складывающейся сигнально-помеховой обстановкой.

ЛИТЕРАТУРА

1. Катанович А.А., Цыванюк В.А. Принципы построения автоматизированных систем управления и связи ВМФ на основе новых технологий. – СПб: Морская энциклопедия, 2024. – 331 с.
2. Мешалкин В.А., Пашкевич В.Д., Русин С.В. Возможности континентальных радиоцентров в обеспечении связи с кораблями на трассах Северного морского пути//Техника средств связи. – 2019. – № 1 (145). – С. 145–149.
3. Катанович А.А. Автоматизированная система управления безопасностью кораблей и судов на базе метеорной связи//Морской сборник. – 2013. – № 9.
4. Обеспечение устойчивости системы радиосвязи в условиях радиоподавления//Русин С.В., Долгих В.А., Пашкевич В.Д., Волвенко С.В., Мух В.А., Дасаев Р.А./Тр. учебных заведений связи. – 2025. – Т. 11. – № 4. – С. 87–96. DOI: 10.31854/1813–324X-2025–11–4–87–96. EDN: OELOOW.
5. Forsyth P. A., Vogan E. L., Hansen D. R., Hines C. D. The Principles of JANET-A Meteor-Burst Communication System. – Engineering, Physics Proceedings of the IRE. – December 1957. – P. 1642–1657.
6. Crook A. G., Sytsma D. Meteor burst telemetry in hydrologic data acquisition. Remote Data Transmission (Proceedings of the Vancouver Workshop, August 1987)//LAHS Publ. – 1989. – No. 178. – P. 9–17.
7. Боковое распространение радиоволн на коротких метеорных радиотрассах /Асири Т., Карпов А.В., Кодиров А.И., Латипов Д., Попов В.И., Рубцов Л.Н., Шарипов М./Изв. вузов. – Сер.: Радиофизика. – 1989. – Т. 32. – № 7. – С. 912–913.
8. Справочник по радиоэлектронным системам. – В 2 т. – Т. 1/Захаров В.Н., Кривицкий Б.Х., Мамаев Н.С., Мановцев А.П., Матов В.И., Николаев О.А., Пелехатый М.И. Под ред. Б.Х. Кривицкого. – М.: Энергия. – 1979. – 350 с.
9. Мирошников В.И., Будко П.А., Жуков Г.А. Основные направления развития метеорной связи//Научные технологии в космических исследованиях Земли. – 2019. – Т. 11. – № 4. – С. 30–47.
10. Барабашов Б.Г., Анишин М.М. Программный комплекс прогнозирования траекторных и энергетических характеристик радиоканалов диапазона 2–30 МГц «Трасса» (Ч. 1). – Техника радиосвязи. – Омск: ОАО «ОНИИП». – 2013. – Вып. 1 (19). – С. 25–34.■

Для проектирования и эксплуатации корабельной радиоприемной аппаратуры одни из определяющих являются вопросы, связанные с измерением воздействующих на них радиоэлектронных помех [1–3]. На практике для оценки их интенсивности широко применение нашли измерители радиопомех (ИРП) с квазипиковым вольтметром. Проведенные исследования показывают, что результат измерения широкополосных помех в этом случае получается в значениях «эквивалентного синусоидального напряжения» (ЭСН), которое зависит не только от мощности помехи, но и от рабочей полосы ИРП и постоянных времени вольтметра. Причем в смежных диапазонах результаты измерений могут отличаться на порядок, что представляется их существенным недостатком.

Рассмотрим и проанализируем измерение спектральной плотности широкополосных радиопомех.

ИЗМЕРЕНИЕ СПЕКТРАЛЬНОЙ ПЛОТНОСТИ ШИРОКОПОЛОСНЫХ РАДИОПОМЕХ

На рис. 1, отображающем реакцию ИРП на импульсы в диапазоне настройки 0,15–30 МГц, представлены графики

$$A = U(F) / \Phi_n,$$

где $U(F)$ – отсчет по ИРП в среднеквадратических значениях замещающего синусоидального напряжения; F – частота повторения импульсов; Φ_n – спектральная плотность напряжения (СПН) испытательных импульсов, описываемых функцией $f(t)$:

$$\Phi_n = 2 \left| \int f(t) \exp\{-i\omega t\} dt \right|.$$

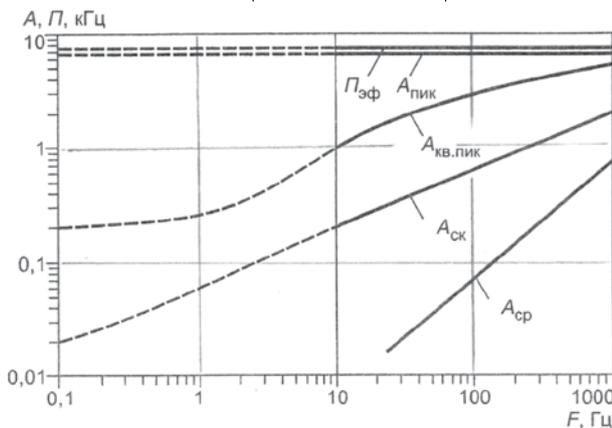


Рис. 1. Амплитудные соотношения для различных видов детекторов ИРП в диапазоне настройки частот 0,15–30 МГц

$\Pi_{эф}$ – эффективная полоса пропускания; $A_{пик}$, $A_{кв.пик}$, $A_{ск}$, $A_{ср}$ – пиковые, квазипиковые, среднеквадратические и средние амплитудные соотношения

Анализ представленных на рис. 1 зависимостей показывает, что результаты показаний вольтметра с пиковым детектором в широком диапазоне частот не зависят от частоты повторения импульсов. Таким образом, СПН можно рассчитывать по формуле

$$\Phi_n = U_{пик} / A_{пик} \text{ или } \Phi_n = \sqrt{2} U_{пик} / \Pi_{имп}, \quad (1)$$

где $U_{пик}$ – отсчет по пиковой шкале ИРП в среднеквадратических значениях, В; $\Pi_{имп} = \sqrt{2} A_{пик}$ – импульсная полоса, Гц.

СПН может характеризовать интенсивность помехи для «рецепторов», чувствительных к максимальным напряжениям, например, для цифровых технических средств на выходе избирательного усилителя приемника.

ИЗМЕРЕНИЕ СПЕКТРАЛЬНОЙ ПЛОТНОСТИ ШИРОКОПОЛОСНЫХ РАДИОПОМЕХ КОРАБЕЛЬНОЙ РАДИОПРИЕМНОЙ АППАРАТУРОЙ

Е.К. Самаров, д-р техн. наук, декан факультета естественных наук, **Я.Ю. Ионченкова**, ст. преподаватель кафедры математики, СПбГМТУ, контакт. тел. +7 (812) 757 0977, omega511@mail.ru, ionchenkova_yana@mail.ru

На рис. 1 характеристики среднеквадратического и квазипикового вольтметров в значительной части параллельны, что подтверждает справедливость приводимого в литературе замечания о том, что процесс заряд–разряд в квазипиковом вольтметре имеет энергетический характер.

В диапазонах настройки ИРП 0,01–0,15 и 30–1000 МГц наблюдается аналогичная закономерность (рис. 2, а, б).

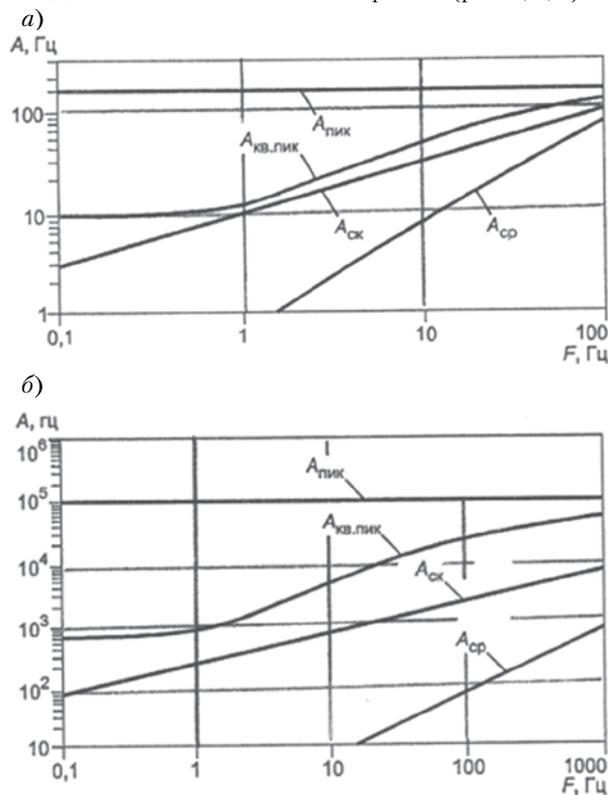


Рис. 2. Амплитудные соотношения для различных видов детекторов ИРП и диапазонов частот настройки: а – 0,01–0,15 МГц; б – 30–1000 МГц

Анализ представленных на рис. 2 зависимостей $A_{кв.пик}$ и $A_{ск}$ показывает, что можно сделать замену измерения квазипикового значения на среднеквадратическое, т. е. на измерение мощности помехи в полосе частот ИРП. При этом возможен переход на измерение спектральной плотности мощности (СПМ) делением на эффективную полосу пропускания на выходе усилителя промежуточной частоты (УПЧ) ИРП:

$$\Pi_{эф} = \int_{f_1}^{f_2} \frac{K^2(f)}{K_0^2} df,$$

где K_0 , $K(f)$ – коэффициенты передачи полосового усилителя в полосе пропускания.

СПМ последовательности импульсов или шума («гладких помех»)

$$\Phi_m = \frac{P_{ср}}{\Pi_{эф}} = \frac{U_{ск}^2}{R \Pi_{эф}}, \quad (2)$$

Номинальные значения коэффициентов перевода

Диапазон частот, МГц	A, дЛкГц	R (дЛОм)+П _{эф} (дЛкГц)
0,01–0,15	–7,82	17 – 7,82 = 9,18
0,15 – 30	8,27	17 + 8,27 = 25,72
30–1000	19,52	17 + 20 = 37

где $P_{\text{ср}}$ – средняя мощность в эффективной полосе пропускания, Вт; $U_{\text{ск}}$ – отсчет по шкале среднеквадратического значения; R – сопротивление, на котором выделяется мощность, Ом.

В перспективе переход на измерение СПН и СПМ как основных характеристик широкополосных помех представляется желательным, так как эти величины соответствуют избирательным свойствам радиоприема. Поэтому во вновь разрабатываемых ИРП следует, например, для среднеквадратической шкалы расширить вниз по отношению к $F=10$ Гц диапазон частот повторения, который ограничивается запасом линейности УПЧ. Этого ограничения можно избежать вариацией усиления не только на промежуточной, но и низкой частоте, причем на низких частотах повторения сигнал становится слабым.

Диапазон частот повторения можно также расширить путем вычисления $U_{\text{ск}}$ по гистограмме на выходе УПЧ.

В [4, 5] предложено измерять спектральную плотность широкополосных радиопомех в числах, при этом основная калибровка ИРП проводится в децибелах по отношению к 1 мкВ, т. е. в логарифмических единицах, удобных для оценки относительных величин.

Представляя СПМ (2) в децилогах (дЛ) [6], получаем

$$10 \lg \frac{P}{\Pi_{\text{эф}}} = 2 \times 10 \lg U_{\text{ск}} - 10 \lg R - 10 \lg \Pi_{\text{эф}} \quad (3)$$

или

$$\bar{\Phi}_m \left[\text{дЛ} \frac{\text{пВт}}{\text{кГц}} \right] = 2 \bar{U}_{\text{ск}} [\text{дЛмкВ}] - \bar{R} [\text{дЛОм}] - \bar{\Pi}_{\text{эф}} [\text{дЛкГц}].$$

Величины, выраженные в децилогах, – это $1/10$ логарифма отношения данной величины к опорной. Полоса в килоГерцах взята по [6] во избежание слишком больших значений для $\bar{\Phi}_m$.

С учетом того, что

$$2 \bar{U}_{\text{ск}} [\text{дЛмкВ}] = \bar{U}_{\text{ск}} [\text{дБмкВ}]; R = 50 \text{ Ом};$$

$$\Pi_{\text{эф}} = 7,45 \text{ кГц (номинальное значение)}$$

и что

$$10 \lg R = 17 [\text{дЛОм}], 10 \lg \Pi_{\text{эф}} = 8,72 [\text{дЛкГц}],$$

получаем

$$\bar{\Phi}_m \left[\text{дЛ} \frac{\text{пВт}}{\text{кГц}} \right] = \bar{U}_{\text{ск}} [\text{дБмкВ}] - 25,72. \quad (4)$$

Удвоение логарифма в первом члене выражения (3) соответствует возведению напряжения в квадрат, что оправданно только для ваттметра среднеквадратического значения, но не для квазишпикового, как это иногда практикуется.

Для СПН импульсов (1) с учетом того, что $A_{\text{шнк}} = 6,72 \text{ кГц}$ и не зависит от частоты повторения, имеем

$$\begin{aligned} \bar{\Phi}_m \left[\text{дЛ} \frac{\text{мкВ}}{\text{кГц}} \right] &= \frac{1}{2} \bar{U}_{\text{шнк}} [\text{дБмкВ}] - 10 \lg A_{\text{шнк}} = \\ &= \frac{1}{2} \bar{U}_{\text{шнк}} [\text{дБмкВ}] - A_{\text{шнк}} [\text{дЛкГц}]; \end{aligned}$$

$$\bar{\Phi}_m \left[\text{дЛ} \frac{\text{мкВ}}{\text{кГц}} \right] = \frac{1}{2} \bar{U}_{\text{шнк}} [\text{дБмкВ}] - 8,27.$$

Таким образом, в диапазоне частот настройки 0,15–30 МГц спектральная плотность широкополосных радио-

помех можно рассчитать с использованием существующей градуировки ИРП по (4) и (5). Аналогичные вычисления можно выполнить для диапазонов частот настройки 0,01–0,15 и 30–1000 МГц.

Номинальные значения коэффициентов перевода отсчетов по ИРП для формул (4), (5) приведены в таблице.

Для отдельных ИРП можно использовать уточненные в пределах допусков индивидуальные коэффициенты.

В современных измерительных приемниках и анализаторах, применяемых для измерения эквивалентного напряжения радиопомех, стремление избавиться от влияния полосы пропускания приводит к необходимости оценки СПН импульсов [6–8].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, рассмотрены и проанализированы вопросы, связанные с измерением спектральной плотности широкополосных радиопомех корабельной радиоприемной аппаратурой. Показано, что основными характеристиками широкополосных радиопомех могут быть спектральная плотность напряжения для импульсных помех и спектральная плотность мощности как для импульсных, так и для «гладких» помех.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Никитин В.С., Моисеев Н.И.* Перспективные корабельные системы прямой радиосвязи. – СПб.: Элмор, 2004. – 224 с.
2. Судовая радиоэлектроника и радионавигационные приборы/ *Байрашевский А.М., Жерлаков А.В., Ильин А.А., Ничипоренко Н.Т., Сапегин В.Б.* – М.: Транспорт, 1988. – 271 с.
3. *Дуров А.А., Кан В.С., Ничипоренко Н.Т., Устинов Ю.М.* Судовые радиолокационные системы и САРП: Учеб. для вузов. – П. Камчатский: КамчатГТУ, 2005. – 280 с.
4. ГОСТ 30805.16.2.1–2013. Совместимость технических средств электромагнитная. Требования к аппаратуре для измерения параметров промышленных радиопомех и помехоустойчивости и методы измерений. – М.: Стандартинформ, 2020.
5. CISPR 16-2-1:2005, Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 2-1: Methods of measurement of disturbances and immunity – Conducted disturbance measurements, MOD. Publ. 16-2-1. – 2005.
6. *Переверзев Л.А.* Измерение спектральной плотности импульсов. – М.: Изд-во стандартов, 1982.
7. *Артюшенко В.М., Воловач В.И.* Нелинейное оценивание параметров сигнала при воздействии узкополосных негауссовских помех // Автометрия. – 2019. – Т. 55. – № 1. – С. 80–88.
8. *Артюшенко В.М., Воловач В.И.* Оценка погрешности измерения векторного информационного параметра сигнала на фоне мультипликативных помех // Радиотехника. – 2016. – № 2. – С. 72–82. ■

Морские собрания в разных видах создавались, существовали, вели свою деятельность одновременно с созданием и развитием Российского флота. Пробразом Морских собраний можно считать ассамблеи, введенные Петром I в конце 1718 г., как новая форма общения людей. Традиции общения, сложившиеся в ассамблеях, Петр I активно привнес в коллективы регулярных формирований армии и флота, где мнение военных собраний и клубов офицеров, появившихся во второй половине XVIII в., имело значение. Главная цель офицерских собраний – сплочение вокруг командира, формирование высоких духовно-нравственных основ военной службы, повышение военного образования, обмен служебным опытом, организация досуга. Рассмотрим этапы развития и их становления.

11 марта 1786 г. по инициативе главного командира Кронштадтского порта адмирала Самуила Карловича Грейга с санкции императрицы Екатерины II было создано Благородное собрание в Кронштадте, которое просуществовало до 1795 г. Первым Морским собранием было Кронштадтское, созданное 28 января 1802 г. по указу императора Александра I. Впоследствии Морские собрания создавались и активно работали в Ревеле, Либаве, Гельсингфорсе, Колпино (Ижорский и Обуховский заводы), Севастополе, Николаеве, Баку, Владивостоке, Санкт-Петербурге. По своим задачам и структуре Собрания практически не отличались друг от друга, вместе с тем каждое имело свои особенности, которые складывались в зависимости от региона и закреплялись уставами.

Только с февраля 1912 г. Морские собрания Балтийского моря стали действовать по единому уставу, утвержденному морским министром И. К. Григоровичем. Руководили его деятельностью командиры портов. Высшим органом Морских собраний было общее собрание их членов, которое созывалось председателями советов старшин с разрешения почетных председателей не реже одного раза в год. Непосредственной деятельностью руководили выборные советы старшин. Председателем на заседании совета старшин был старший по чину. Члены Морских собраний делились на обязательных и необязательных. Обязательными членами были «все состоящие на действительной службе в Балтийском флоте, в центральных учреждениях Морского министерства и в частях и учреждениях портов Балтийского моря: адмиралы, генералы, штаб- и обер-офицеры флота, корпусов, Военно-морского судебно-

МОРСКИЕ СОБРАНИЯ В СТАНОВЛЕНИИ И РАЗВИТИИ РОССИЙСКОГО ФЛОТА

С. Н. Иротин, 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



Портрет адмирала С. Грейга, около 1771–1773 г. Художник И. Аржанов



Портрет адмирала И. К. Григоровича, 1911 г. Художник П. Н. Базанов

го ведомства и морской строительной части, офицеры по Адмиралтейству, переведенные из флота, корпусов и Военного ведомства или произведенные из корабельных гардемарин и гардемарин, а также морские врачи» [Устав Морских собраний Балтийского моря от 28.02.1912 г., ст. 8.].

Необязательными членами Морских собраний могли быть «все лица, служившие с Морским ведомстве в одном из званий, поименованных в ст. 8», а также «все остальные, не предусмотренные выше лица офицерского звания (офицеры и классные чины), служащие в морском ведомстве, если имеют образование не ниже среднего» [Устав Морских собраний Балтийского моря от 28.02.1912 г., ст. 9].

В Морских собраниях большое внимание уделялось сохранению памяти славной истории флота: чествованию героев, проведению торжеств по случаю памятных дат с приглашением ветеранов войн в лучших традициях флота, просветительской деятельности, в том числе обмену и распространению опыта по развитию военно-морского дела с приглашением видных ученых и флотоводцев С. О. Макарова, А. С. Попова, А. Н. Крылова и др. В каждом Собрании обязательными были библиотеки с собранием книг по различным областям знаний, но предпочтение отдавалось военно-морской тематике.

Серьезное внимание уделялось досугу. Проводились литературно-художественные вечера с участием знаменитых певцов, популярных поэтов, писателей, артистов императорских театров, выставки и прочие мероприятия для членов Собрания и их семей.

Значительный интерес вызывает финансово-хозяйственная деятельность Собраний. Все денежные средства делились на расходный и запасной капитал. Расходный использовался для текущей деятельности, запасной капитал – для приобретения движимого и недвижимого имущества, образования заёмного капитала, картин, книг, посуды и пр. Морские собрания освобождались от уплаты патентного налога. Источниками поступления денежных средств были субсидии из государственного бюджета, взносы офицеров и собственные доходы. Из бюджета Собрания получали три вида пособия: процент на улучшение общественного быта офицеров, так называемый на наем, отопление и освещение помещения Собрания и в виде единовременной безвозвратной помощи. Офицерские взносы подразделя-

лись на ежемесячные, одновременные и ежегодные. С гостей членские взносы не взимались. Сумма взносов варьировалась и оговаривалась на общем собрании, исходя из места нахождения, развития хозяйства и умения его вести.

Свидетельством высокой оценки заслуг Морских собраний императорского флота является разрешение иметь на зданиях, яхтах и шлюпках свой собственный флаг.



Флаг Морских собраний 1912 г.

В эпоху советского флота (1917–1991 гг.) Морские собрания как таковые не существовали. В эти годы велась соответствующая работа в корабельных кают-компаниях, партийных организациях, судах чести, гарнизонных домах офицеров флота, ветеранских организациях. При этом сохранялись отдельные традиции Собраний.

После 1991 г. была неудачная попытка создать общероссийское Морское собрание (просуществовало два года). Жизнеспособными оказались Морские собрания в форме общественных организаций в Санкт-Петербурге, Вологде, Новороссийске, Гатчине, Ростове-на-Дону, Владивостоке, Петропавловске-Камчатском, Севастополе, Кронштадте, Башкортостане. Не все они смогли сохраниться и со временем прекратили свое существование (Мурманск, Калининград).

По инициативе Санкт-Петербургского Морского собрания была создана Межрегиональная ассоциация общественных организаций (МАОО).

В феврале 1910 г. императором Николаем II было принято решение об образовании Морского собрания в Санкт-Петербурге с целью улучшения работы с адмиралами и офицерами, служащими Морского ведомства и других ведомств, проживавшими и служившими в городе. В связи с этим Морским министром вице-адмиралом Воеводским Степаном Аркадьевичем был подписан приказ № 25 от 3 (16) февраля 1910 г., который гласил: «Предписываю кают-компанию офицеров флотских экипажей, расположенных в Санкт-Петербурге, именоваться впредь морским собранием при 2 Балтийском флотском экипаже и принять к руководству прилагаемый при сем устав собрания». С этого момента ведет отчет своей истории Санкт-Петербургское

Совет МАОО «Ассоциация Морских собраний»



г. Санкт-Петербург
2024 год

Гербы Морских собраний РФ, входящих в МАОО АМС



Заседание совета МАОО 29.01.2026 г.

Морское собрание. Дата 16 февраля является его годовым праздником.

6 марта 1912 г. Морской министр И. К. Григорович утвердил новый устав, ст. 3 которого предусматривала, что «Морской министр есть почетный председатель совета старшин».

Возрождение Собрания состоялось в 1995 г. Его Устав был принят 29 марта того же года на учредительной конференции. Организатором и вдохновителем был Николай Владимирович Орлов. Председателями совета старшин СПбМС в разные годы были капитан 1 ранга Андрей Сергеевич Загорянский-Кисель (1910–1911); генерал-майор от Адмиралтейства Александр Константинович Гирс (1911–1912); Николай Владимирович Орлов (1995–2021); с 2021 г. – капитан 1 ранга Сергей Николаевич Ирютин.

За период становления и развития Российского ВМФ:

– Почетными членами СПбМС стали Главнокомандующие ВМФ России Адмиралы флота Владимир Николаевич Чернавин, Феликс Николаевич Громов, Александр Алексеевич Моисеев, адмиралы Владимир Викторович Чирков, Николай Анатольевич Евменов;

– Почетными председателями были избраны адмирал флота Владимир Иванович Куроедов, Владимир Васильевич Масорин, адмиралы Владимир Сергеевич Высоцкий, Владимир Иванович Королёв.

16 февраля 2026 г. СПбМС исполнилось 116 лет со дня создания и 31 год со дня возрождения. За всю историю своего существования Собрание активно содействует возрождению морских традиций, воспитанию моряков на идеях патриотизма и беззаветного служения Отечеству и народу, принимает активное участие в различных программах и мероприятиях в соответствии с целями и задачами, провозглашенными в Уставе. На сегодняшний день в историческом журнале описаны основные мероприятия, проведенные Собранием в соответствии с целями и задачами.

В настоящее время в СПбМС более 500 человек. В их числе – представители высшего командного состава Вооруженных сил, Герои Российской Федерации, Советского Союза и Социалистического Труда:

– Главнокомандующий ВМФ, адмирал флота, Герой РФ Александр Алексеевич Моисеев;

- директор ОАО «Адмиралтейские верфи» (по 2011 г.), президент НТО им. А. Н. Крылова, Герой РФ В. Л. Александров;
- генеральный директор–генеральный конструктор АО «Научно-производственное предприятие «Радарммс», Герой труда РФ Г. В. Анцев;
- конструктор глубоководных технических средств и комплексов, генеральный конструктор КБ «Малахит», Герой РФ Ю. М. Коновалов и др.

За истекший период совет старшин Собрания проводил работу в соответствии с уставными целями. Вот только отдельные эпизоды его деятельности.

Участие и поддержка СВО (только в 2025 г.):

- непосредственное участие в боевых действиях – действительный член СПБМС С. В. Грачев;
- работа в зоне СВО почетного члена СПБМС архимандрита Алексия (Ганьжина);
- Участникам СВО переданы:
 - 4 дрон-детектора «Булат» и 12 наручных датчиков «Таир» к ним;
 - 5 бронезилов, 10 штурмовых бронезилов;
 - мобильная хлебопечь;
 - 50 IP-телефонов;
 - автомобиль «Ниссан Навара»;
 - 15 переносных генераторов бензиновых электрических ЛК-2800R с ЗИП.

Кроме того, был оборудован уголок СВО в музейной экспозиции СПБМС; проведен прием вдовы участника СВО Н. А. Федоровой с двумя сыновьями; вручены награды СПБМС л/с 1486 гвмсп (Ленинградский полк) в зоне СВО; проведено сопровождение поступления в пансион воспитанниц МО РФ дочери погибшего в СВО майора Д. Н. Жаркова.

В связи с назначением действительного члена СПБМС контр-адмирала С. П. Екимова начальником филиала Нахимовского военно-морского училища в г. Мариуполь Собрание передало для обеспечения учебно-воспитательного процесса более 700 книг, в том числе 16 экземпляров изданной СПБМС в 2025 г. книги О. А. Яковлева «Адмирал Лазарев».

Собранием были организованы и проведены десятки научно-практических конференций, военно-исторических чтений, научно-практические семинары, презентаций книг, «круглые столы». В 2006 г. Собрание издало труды военно-морских исторических конференций; принимало активное участие в подготовке и проведении празднования 300-летия Российского флота в 1996 г. Прошли четыре ассамблеи, посвященные этой дате, оплачен проект и поставлено 4 т бронзы для памятника

в честь 300-летия флота на Адмиралтейской набережной Санкт-Петербурга.

Оказана помощь в обеспечении реставрационных работ в Николо-Богоявленском Морском соборе в Петербурге и Екатерининском дворце (ГМЗ «Царское Село»). В усыпальнице адмиралов Владимирского собора в Севастополе восстановлены 70 мемориальных досок с именами героев первой Крымской войны 1853–1856 гг.

Летом 1998 г. на берегу бухты южного французского городка Вильфранш были установлены три бюста: Федору и Алексею Орловым и адмиралу Ф. Ф. Ушакову. Это торжественное событие было приурочено к 230-летию создания в Вильфранше военно-морской базы России.

По заказу Собрания была изготовлена памятная мемориальная доска с профилем последнего Морского министра императорской России адмирала И. К. Григоровича, которая 15 марта 2003 г. была открыта и освящена на здании Главного Адмиралтейства. Открыты памятные мемориальные доски русскому и советскому инженеру-кораблестроителю, одному из организаторов судостроения в СССР В. П. Костенко (Камменноостровский пр., 24), советскому конструктору-кораблестроителю, Герою Социалистического Труда Е. И. Юхнину (ул. Академика Павлова, 16 Б).

Установлены памятники на могилах адмирала В. А. Самойлова и вице-адмиралов В. А. Корнюшко и В. Л. Богденко, контр-адмирала В. М. Бусырева. Реставрирован и благоустроен мемориал на Серафимовском кладбище на Аллее героев командованию Тихоокеанского флота, погибшему при исполнении служебных обязанностей.

В июле 2004 г. СПБМС отметил 100-летний юбилей со дня рождения Адмирала флота Советского Союза Н. Г. Кузнецова. При материальной поддержке Собрания был создан документальный фильм о нем, который в юбилейные дни демонстрировался по центральным телевизионным каналам. 26 июля 2005 г. на Никольском кладбище Свято-Троицкой Александро-Невской лавры через 75 лет после смерти последнего Морского министра адмирала И. К. Григоровича был торжественно перезахоронен доставленный из Франции его прах, благодаря инициативе и содействию СПБМС при участии ВМФ России.

Летом 2010 г. в Выборге открыт памятник генерал-адмиралу Ф. М. Апраксину, сподвижнику Петра I, одному из создателей Российского флота. Памятник был разработан и создан Собранием совместно с Центром Национальной славы России. Собрание участвовало в разработке скульптурной

композиции «Полтава», установленной на набережной Невы.

СПБМС выступило инициатором и содействовало возрождению Кронштадтского и Севастопольского Морских собраний.

В 2014 г. СПБМС выступило инициатором и организатором подготовки и проведения мероприятий в России и за рубежом, посвященным празднованию 300-летия Гангутской победы, участие в которых приняли делегация Собрания и сотрудники различных морских организаций. Состоялись международная научно-практическая конференция и военно-историческая игра в Морском корпусе Петра Великого, были учреждены и изготовлены серебряные медали «В память 300-летия Гангутской битвы», проведены реконструкция Гангутского сражения на рейде г. Ханко (Финляндия), реставрация памятников на полуострове Ханко русским воинам, погибшим в этом сражении. В серии «Библиотека Морского собрания» изданы книги П. А. Кротова «Гангут. Сражение и корабли», О. А. Яковлева «Гангут. 1714». Возложены венки и отданы воинские почести на месте захоронения русских и шведских воинов.

В 2020 г. отмечалось 250-летие блестящей победы российского императорского флота в Чесменском сражении 26 июня (7 июля) 1770 г. СПБМС в условиях пандемии провело ряд мероприятий, посвященных юбилею: была выпущена серебряная медаль «В память 250-летия Чесменской битвы»; старшины Собрания приняли участие в торжественной церемонии полуденного выстрела с Нарышкина бастиона Петропавловской крепости; возложили цветы и венки к Чесменской колонне в Екатерининском парке в ГМЗ «Царское Село».

В 2024 г. в с. Нагорье городского округа Переславль-Залесский в сквере Г. А. Спиридова стараниями членов СПБМС открыта Аллея адмиралов Г. А. Спиридова, Ф. Ф. Ушакова и С. П. Хметевского.

В 2025 г. состоялся Чесменский ужин, посвященный 255-летию победы русского флота в Чесменском сражении. Комплекс мероприятий проведен членами СПБМС в селе Нагорье, где в Преображенском храме похоронен адмирал Г. А. Спиридов.

По инициативе Собрания имя председателя СПБМС с 1995 по 2021 г. Н. В. Орлова присвоено сухогрузному судну пр. RSD59, которое вот уже более трех лет находится в эксплуатации; имя старшины СПБМС И. П. Саутова присвоено одной из улиц г. Пушкин; решением Главнокомандующего ВМФ заложен малый морской танкер, которому присвоено имя почетного старшины

СПбМС контр-адмирала Ю. М. Халиуллина.

Топонимической комиссией при Правительстве Санкт-Петербурга рассматривается предложение СПбМС о присвоении безымянной набережной от набережной Макарова до Новосмоленской набережной в Василеостровском районе имени адмирала Спиридова.

Еще в 2003 г. СПбМС совместно с АНО «Церковь и флот» выступило с инициативой об установке памятника адмиралу Ф. Ф. Ушакову в Петербурге. В 2021 г. состоялась торжественная установка закладного камня на месте будущего памятника прославленному адмиралу на площади Труда, а 28 июля 2024 г., в день ВМФ его открытие. В церемонии приняли участие Президент РФ В. В. Путин, а также почетный член Собрания, Главнокомандующий ВМФ России адмирал флота А. А. Моисеев.

В СПбМС создана и работает наградная комиссия. Советом старшин создана стройная система награждения лиц за активное участие в его деятельности, высокие достижения в укреплении боевой готовности флота и его развитии, за существенный вклад в дело развития морского и речного транспорта, участие в значимых плаваниях и походах, а также за научные достижения. Все награды (ордена и медали) прошли регистрацию в Федеральном государственном геральдическом совете при Президенте РФ.

«Орденский знак» – высшая награда Собрания; вручают также ордена «За заслуги», «За воинскую доблесть», «За трудовую доблесть» (все 1-й и 2-й степени), «За заслуги в морской деятельности» (1-й – 3-й степеней), золотая медаль Петра I, серебряные медали адмиралов Н. Г. Кузнецова, М. П. Лазарева, П. С. Нахимова и академик А. Н. Крылова, юбилейные памятные медали («300 лет Балтийскому флоту», «300 лет Гангутскому сражению» и «250 лет Чесменской битвы»), золотой знак Собрания за 10, 15, 20, 25 и 30 лет безупречной службы в Морском собрании. За прошедшие годы более 15 000 человек были награждены орденами и медалями СПбМС. Кавалерами всех наград СПбМС являются генеральный директор ОАО «Адмиралтейские верфи», доктор технических наук, профессор Герой России В. Л. Александров, генеральный директор ОАО «Канонерский судоремонтный завод», доктор технических наук Н. М. Вихров и др.

В СПбМС установлена форменная одежда, образцы и правила ношения которой согласованы с мини-

стром транспорта и Главнокомандующим ВМФ.



Форменная одежда членов СПбМС

Отдельная сторона деятельности Собрания – это его историческая исследовательская работа и издательская деятельность. Выпущены десятки книг по истории ВМФ. Среди них – монографии доктора исторических наук П. А. Кротова «Гангут. Сражения и корабли» и «Российский флот на Балтике при Петре Великом» и доктора исторических наук Г. А. Гребенщиковой «Россия и Турция. Двенадцать невыученных уроков», «Чесменская победа. Триумф России в Средиземном море». Переизданы труды академика А. Н. Крылова «Мои воспоминания». Всего издана 51 книга.

С 2004 г. для воспитания чувства патриотизма у подрастающего поколения принято решение об издании детской серии книг «Морская слава России», посвященной самым ярким победам отечественного флота. В канун 300-летия первой морской победы Российского флота – Гангутской битвы – в 2014 г. была выпущена первая книга этой серии «Гангут. 1714». Всего за эти годы вышло 13 книг серии обо всех 13 крупнейших сражениях русских кораблей эпохи парусного флота от вплоть до «Синопа. 1853».

Книги, изданные Собранием, четырежды выдвигались на соискание Премии Министерства обороны РФ в области культуры и искусства в номинации «Литературное творчество и издательское дело» и трижды были отмечены высокими наградами. Книга «Военно-Морской Флот России. 320 лет» в 2019 г. была удостоена специального диплома Премии в номинации «Литературное творчество». Серия книг «Морская слава России» в 2023 г. также получила специальный диплом МО РФ в области культуры и искусства.

Санкт-Петербургское Морское собрание выдвинуло на соискание премии Министерства обороны Российской Федерации в области культуры и искусства:

- в 2023 году:
- проект «Судьбы морские» (серия книг военно-патриотической тема-

тики художественно-документальной прозы по истории армии и флота, посвященную судьбам морских офицеров Императорского флота России и советского Военно-Морского Флота) автора Лозы Александра Витальевича, члена СПбМС (номинация «Литературное творчество и издательское дело»);

- в 2025 году:
- проект взаимосвязанных научно-исторических, просветительских, спортивных, экологических мероприятий «В сиянии Андреевского флага», посвященный 80-летию Великой Победы, 320-летию победы войск Петра I в устье реки Омовжи на Чудском озере, 320-летию Кронштадта, 420-летию со дня рождения Афанасия Лаврентьевича Ордин-Нащокина, 110-летию создания контр-адмиралом Н. Н. Коломейцевым Чудской военной флотилии, 30-летию возрождения Санкт-Петербургского Морского собрания (номинация «Культурно-просветительские проекты»);
- проект – серия книг военно-патриотической тематики «Русские флотоводцы» (детская серия «Библиотеки Морского Собрания»), посвященную самым триумфальным победам русского флота в XVII–XX вв. и 350-летию со дня рождения создателя регулярного Военно-Морского Флота России императора Петра Великого (номинация «Литературное творчество и издательское дело»).

Начато издание книг для детей серий: «Корабли-герои» (издана первая книга серии «Бриг «Меркурий»); «Морские форпосты России» (издана книга «Кронштадт», в 2026 году планируется издание книги «Севастополь»).

В 2023 г. СПбМС при участии Клуба «Русская морская традиция» впервые издана книга карманного формата для нахимовских училищ, кадетских корпусов и морских учебных заведений в серии «Морские традиции русского флота» тиражом 1000 экземпляров. Все они выданы курсантам, нахимовцам и кадетам КМКВК. Кроме того, Собрание организовало переиздание уникального трехтомного сборника документов выдающегося русского военно-морского деятеля, героя русско-японской войны, полярного исследователя, кораблестроителя, ученого С. О. Макарова. Ранее эти документы были изданы в 1953 г.

Большое внимание СПбМС уделяет экспозиционно-выставочной работе. Наиболее значимыми реализованными проектами деятельности Собрания стали выставки:

- «Гангут – 300 лет» (2014 г.);
- «Чесма – 250 лет» (2020 г.);
- «Честь. Флот. Отечество – 110 лет

Санкт-Петербургскому Морскому собранию» в Центральном военноморском музее им. Петра Великого (2020 г.);

- «320 лет победы войск Петра Великого на реке Омовже» (2024 г.);
- «320 лет основания Кронштадта» (2024 г.).

Выставки 2024 г. экспонировались в ФГБУК «Государственный историко-архитектурный и природный музей-заповедник «Изборск» в рамках выставочного проекта «В сиянии Андреевского флага».

В 2025 г. прошли выставки:

- книжная выставка изданий Санкт-Петербургского Морского Собрания (48 книг), посвященная памятной дате – 115-летию СПбМС (16 февраля 2025 г.) в Центральной военноморской библиотеке;
- к 420-летию со дня рождения руководителя первого корабельного приказа Ордин-Нащокина в ФГБУК «Государственный историко-архитектурный и природный музей-заповедник «Изборск» в рамках выставочного проекта «В сиянии Андреевского флага».

В планах на 2026 г. проведение выставок:

- посвященной 250-летию со дня рождения адмирала П. И. Рикорда в ФГБУК «Государственный историко-архитектурный и природный музей-заповедник «Изборск» в рамках проекта «В сиянии Андреевского флага»;
- картин Почетного председателя СПбМС, морского министра императорской России адмирала И. К. Григоровича в Морском собрании.

Большое внимание традиционно уделяется работе с молодежью – нахимовцами, кадетами, курсантами высших военно-морских и морских учебных заведений, курсантами морской академии, учащимися общеобразовательных школ. Собрание на договорных началах сотрудничает при этом с различными некоммерческими организациями, учебными заведениями, музеями. В 2025 г. СПбМС организовало в своих стенах встречу воспитанников Клуба юных моряков «Флагман» для детей – участников похода на о. Шпицберген. В 2026 г. состоится такой же поход, участники которого окажут содействие в создании аналогичного клуба в русской колонии на о. Шпицберген (34 воспитанника). Возглавляет эту работу действительный член СПбМС С. В. Котенев.

В связи с изданием Указа Президента РФ от 13 августа 2024 г. № 691 «О Морской коллегии Российской Федерации» совет старшин Собрания уточнил состав своих секций: теперь работают секции военно-морская, капитанов



Председатель СПбМС С. Н. Ирютин и почетные гости ассамблеи. На фото слева направо: начальник объединённого штаба Организации Договора о коллективной безопасности, Герой Российской Федерации, генерал-полковник Андрей Николаевич Сердюков; Председатель СПбМС капитан 1 ранга Сергей Николаевич Ирютин; действительный член СПбМС, Герой Российской Федерации, вице-адмирал Олег Евгеньевич Белавенцев; член СПбМС, вице-адмирал Андрей Петрович Вернигора



Ассамблея СПбМС

Балтики, Арктики, историческая, парусная, бильярдная и, кроме того, экспертный совет по международному морскому праву.

Работа исторической секции осуществляется с учетом требований Указов Президента РФ от 8 мая 2024 г. № 314 «Об утверждении Основ государственной политики Российской Федерации в области исторического просвещения» и от 13 августа 2024 г. № 691 «О Морской коллегии Российской Федерации».

СПбМС участвует в подготовке и проведении Волконских, Крузенштернских, Ушаковских чтений и других мероприятиях, таких как, Круглые столы, научно-практические и истори-

ческие конференции. Представители Санкт-Петербургского Морского собрания регулярно проводят военно-исторические часы в Центральной военноморской библиотеке.

Санкт-Петербургское Морское собрание участвует в реализации проекта по созданию первого в мире антарктического стрит-арта. Этим проектом предусматривается нанесение в 3 декаде февраля 2026 г. фотореалистичных портретов первооткрывателей Ледового континента – Ф. Ф. Беллинсгаузена и М. П. Лазарева на стену здания российской антарктической станции «Прогресс». Акция приурочена к 205-летию открытия Ледового континента.

Долгие годы духовником СПбМС служил отец Богдан (Сойко), настоятель Николо-Богоявленского кафедрального морского собора. После его кончины Его Высокопреосвященство Митрополит Санкт-Петербургский и Ладонский Варсонофий благословил духовником Собрания протоиерея Алексия Георгиевича Складорова (отца Алексия), настоятеля того же собора. По просьбе церковных органов в церковно-приходские школы передано 300 экземпляров книги «Адмирал Макаров» из детской серии «Библиотеки Морского собрания», 100 экземпляров книги «Адмирал Ушаков». Настоятель Главного Морского собора России (Никольский морской собор г. Кронштадта), архимандрит Алексей является почетным членом СПбМС, он освещал ввод в эксплуатацию т/х «Николай Орлов» (п. Астрахань), малого морского танкера «Юрий Халиуллин».

3 февраля 2026 г. по поручению совета старшин Морского собрания и с благословения митрополита Санкт-Петербургского и Ладонского Варсонофия принял участие в премьерном просмотре фильма «Тайна адмирала Ушакова» в зале Церковных Соборов Храма Христа Спасителя г. Москва.

Музей СПбМС создан в 2014 г. В настоящее время в нем насчитывается свыше 200 экспонатов. Среди них – такие раритетные, как тарелка из сервиза СПбМС изготовления 1910 г. фабрики братьев Корниловых, книга «Краткий очерк столытиного существования Кронштадтского морского собрания» 1902 г. (оригинал). В музее регулярно проводятся экскурсии для новых членов СПбМС, гостей, делегаций научных, конструкторских, проектных учреждений, учебных заведений. В 2025 г. проведено 37 экскурсий для 141 посетителя.

Музей СПбМС принят в Ассоциацию военно-морских музеев и хранителей морских ценностей (сертификат № 119 от 13.04.2023 г.). В нем развернута экспозиция, посвященная специальной военной операции.

С 1995 г. проведено 58 ассамблей СПбМС и два Чесменских ужина, приуроченных и посвященных памятным датам и знаковым событиям, имеющим важное значение для морского сообщества Отечества. За последний год проведены:

- 57-я Ассамблея 7 февраля 2025 г. (посвящена 80-летию Победы в Великой Отечественной войне);
- Чесменский ужин 7 июля 2025 г. (посвящен 255-летию победы русского флота в Чесменском сражении 26 июня (7 июля) 1770 г.;
- 58-я Ассамблея 30.01.2026 г. (посвящена 330-летию Российского флота и 325-летию военно-морского и светского образования в России).

Все мероприятия освещаются в журнале «Морской вестник», на канале



Грамота ГК ВМФ

«Санкт-Петербург» (программа «Морские вести»). Работает собственный сайт СПбМС «morskoe-sobranie.ru», на котором отражаются все значимые события в деятельности Собрания, размещена значимая информация и контактные данные.

В 2025–2026 гг. материалы и статьи, подготовленные с обращением опубликованы в журналах «Морской сборник», газете «На страже Заполярья» и «Морской вестник».

10 февраля 2026 г. впервые в истории Морских собраний и высших органов управления ВМФ председатель Собрания С. Н. Ирютин выступил на научно-практической конференции с участием руководящего состава ВМФ России. Тема его доклада – «Морские собрания Российского флота в его становлении и развитии». Доклад был встречен с большим вниманием. С. И. Ирютин доложил о, мероприятиях СПбМС в интересах ВМФ России, обозначил направления работы:

1. Содействие развитию морской науки путем размещения публикаций молодых ученых в журнале «Морской вестник» (решением Президиума ВАК журнал включен в перечень ведущих научных журналов и изданий, выпускаемых в РФ, в которых могут быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, доктора наук).

2. Участие членов СПбМС (адмиралы, флотоводцы, ученые, конструкторы, судостроители, Герои Российской Федерации) в различных мероприятиях ВМФ (конференциях, круглых столах, встречах).

3. Передача книг, изданных СПбМС, в библиотеки военно-морских учебных заведений, кадетских корпусов, морских школ.

4. Участие военнослужащих ВМФ, ветеранов, участников СВО, членов их семей (возрастной состав участников – от 5 до 94 лет (контр-адмирал в отставке М. Б. Абрамов) в ежегодных литературных конкурсах на приз СПбМС.

5. Привлечение молодежи в военно-морские учебные заведения через подшефные кадетские корпуса, инженерные и морские школы.

6. Привлечение специалистов морского профилю студентов морских учебных заведений к службе по контракту (Петрозаводск, Воронеж, Мурманск, Архангельск, Санкт-Петербург).

7. Использование площадки СПбМС для проведения конференций, семинаров, круглых столов, в т. ч. с использованием музейной экспозиции Собрания.

8. Издание сборника трудов (Клуба адмиралов с включением работ адмирала флота В. И. Куроедова, адмирала А. В. Витко, капитана 1 ранга М. С. Монова и др.).

9. Издание Сборника материалов военно-исторической конференции ВМФ «330 лет со дня основания ВМФ России» 10.02.2026 г. под руководством Главнокомандующего ВМФ РФ, Героя РФ, адмирала флота А. А. Моисеева.

Грамота, которой Главнокомандующий Военно-морским флотом Российской Федерации, Герой Российской Федерации, адмирал флота Александр Алексеевич Моисеев наградил коллектив Санкт-Петербургского Морского собрания 20 февраля 2025 года за большой вклад в возрождение славных морских традиций и военно-патриотическое воспитание подрастающего поколения, мы рассматриваем как высокую оценку нашего труда и как признание работы СПбМС в деле развития нашего флота. Мы будем стремиться улучшать нашу работу во благо укрепления морской мощи государства, по содействию реализации морской политики России.

Таким образом, Морские собрания России, Санкт-Петербургское Морское собрание внесли и вносят реальный вклад в развитие нашего флота, способствуют сохранению в офицерской среде духовных и нравственных ценностей и традиций, выработанных в Военно-морском флоте, в Вооружённых силах России за многолетнюю историю. ■

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 629.5.01 **Ключевые слова:** Северное проектно-конструкторское бюро, ведущий центр корабельной инженерии, цифровое проектирование, компьютерные технологии, ракетный крейсер, эсминец, сторожевой корабль, фрегат, отечественный ВМФ

А.В. Архипов. Северное проектно-конструкторское бюро ОСК: 80 лет на службе Отечеству и флоту, История, достижения и взгляд в будущее//Морской вестник. 2026. № 1 (97). С. 6

Статья посвящена 80-летию юбилею одного из ключевых предприятий отечественного судостроения – Северного проектно-конструкторского бюро ОСК. Роль Северного ПКБ в обеспечении обороноспособности России невозможно переоценить. Корабли, созданные по проектам Северного ПКБ, находятся в составе всех флотов РФ. Это современные крейсера, фрегаты, эсминцы, большие противолодочные корабли. ПКБ готово предложить передовые, компетентные, инновационные решения в интересах ВМФ России. Ил. 7.

УДК 629.5.01 **Ключевые слова:** контейнеровоз, сухогрузные суда специализированные, 2500TEU, контейнер, судоходство, СМП

В.Ю. Светова, А.В. Кошелев. Инфраструктурные ограничения как драйвер инноваций: от анализа пропускной способности портов к проекту нового контейнеровоза//Морской вестник. 2026. № 1 (97). С. 9

Представлен опыт разработки морских судов для транспортировки контейнерных грузов. Описаны изменения рынка морских контейнерных перевозок, существующие ограничения и потребность в его развитии. Проанализированы характеристики и устройство существующих судов для транспортировки контейнерных грузов. Выбраны оптимальные характеристики для нового судна с учетом габаритных ограничений портов, условий эксплуатации, оборудования и возможностей отечественного производства судового машиностроения. Обозначены тенденции дальнейшего развития проекта и отечественного судостроения в области создания специализированных торговых судов. Т. 4. Ил. 5. Библиогр. 30 назв.

УДК 620.9 **Ключевые слова:** плавсредство, охрана, оборона, автономный объект береговой инфраструктуры, средство поражения, беспилотный летательный аппарат, катер, специальная военная операция, быстродходность, маневренность, защищенность, килеватость, водометный движитель, двигатель, импортозамещение, эффективность

В.В. Камлюк, И.О. Прутчиков, А.В. Подгорный, И.В. Гречушкин. Перспективы создания и применения современных плавсредств для охраны и обороны важных объектов береговой инфраструктуры//Морской вестник. 2026. № 1 (97). С. 16

Проведён анализ создания и применения современных плавсредств для охраны и обороны важных объектов береговой инфраструктуры и на его основе обоснованы требования к подобным средствам и разработаны предложения по использованию новых разработок и имеющегося парка современных образцов плавсредств, что позволит в целом повысить эффективность охраны и обороны важных объектов береговой инфраструктуры. Т. 1. Ил. 9. Библиогр. 7 назв.

УДК 629.5.035.58 **Ключевые слова:** автономный необитаемый подводный аппарат, соосные гребные винты противоположного вращения, электрическая передача мощности

А.Р. Тогуляц, Л.И. Вишневицкий, А.Н. Пинчук. Технические требования к двухступенчатому лопастному движителю автономного необитаемого подводного аппарата//Морской вестник. 2026. № 1 (97). С. 20

Представлено описание новой конструкции автономного необитаемого подводного аппарата (АНПА) с электрической передачей мощности двухступенчатому лопастному движителю, а именно на соосные гребные винты противоположного вращения (СГВ). Дано обоснование целесообразности применения СГВ на АНПА. Определены технические требования к двухступенчатому лопастному движителю АНПА с электрической передачей мощности, равной 0,5, 1 и 2 кВт. Т. 5. Ил. 7. Библиогр. 13 назв.

УДК 627.772 **Ключевые слова:** спасательная техника, техническое регулирование, технический регламент, стандартизация, спасательные средства, национальная система стандартизации, национальный стандарт, сертификация

В.Н. Илюхин. О техническом регулировании морской спасательной техники//Морской вестник. 2026. № 1 (97). С. 23

Рассмотрены актуальные аспекты технического регулирования морской спасательной техники. Указаны особенности стандартизации спасательной техники. Дана оценка степени учёта национальных стандартов в технических регламентах о безопасности объектов морского и внутреннего водного транспорта. Приведены результаты анализа противоречий в нормативно-правовых документах технического регулирования. Сформулированы основные направления совершенствования технического регулирования и стандартизации спасательной техники в современных условиях. Ил. 2. Библиогр. 22 назв.

УДК 629.12 **Ключевые слова:** современные измерительные системы, размерный контроль, гребные винты, метод координатных измерений, электронная конструкторская модель

В.В. Дубинка, Я.Ю. Мышков. Современные методы измерения геометрических параметров гребных винтов//Морской вестник. 2026. № 1 (97). С. 29

Поставлена организация проведения размерного контроля гребных винтов методом координатных измерений с использованием электронной конструкторской модели. Рассмотрены координатный метод проведения размерного контроля гребных винтов, обработка результатов сканирования, анализ измерительной информации для своевременного принятия решения. Т. 1. Ил. 6. Библиогр. 4 назв.

УДК.629.12.001.2 **Ключевые слова:** оценка текущей цифровой зрелости процессов управления верфью, технологический подход, процессный подход, корпоративный подход к процессам цифровизации судостроительного производства

А.Е. Богданов, П.В. Никитин. Об этапах развития цифровизации производственных процессов и (или) бизнес-процессов судостроительного комплекса предприятий Группы ОСК в рамках требований НТД РФ//Морской вестник. 2026. № 1 (97). С. 32

Новые информационные технологии представляют значительный потенциал для снижения издержек производства. Использование информационных технологий основано на цифровизации производственных процессов и бизнес-процессов судостроительного комплекса. Предложены этапы развития цифровизации судостроительного комплекса по направлениям технологического, процессного и корпоративного подходов в рамках требования НТД РФ. Т. 1. Ил. 1. Библиогр. 3 назв.

УДК 629.5.025.2 **Ключевые слова:** рулевая машина, роторно-лопастной привод, успокоитель качки, гидравлический привод

В.Ю. Ситников, Ю.А. Лебедев. Роторно-лопастные приводы рулевых машин и успокоителей качки. Критерии определения оптимальных конструктивных решений//Морской вестник. 2026. № 1 (97). С. 37

Рассмотрена задача по определению оптимальных параметров привода, как массогабаритных, так и энергетических. Ил. 14. Библиогр. 17 назв.

УДК 621.512.3 **Ключевые слова:** судовый поршневой компрессор, диагностика неисправностей, улучшенная вариационная модовая декомпозиция, алгоритм оптимизации «плодовой мушки», управляемые рекуррентные блоки, морская техника

Л.Г. Кузнецов, Р.Р. Хотский, А.В. Бураков, А.В. Макшанов. Диагностика неисправностей судового поршневого компрессора на основе улучшенной вариационной модовой декомпозиции и устройства с управляемыми рекуррентными блоками//Морской вестник. 2026. № 1 (97). С. 43

Для преодоления недостатков существующих методов диагностики цилиндро-поршневой группы и подшипников судовых поршневых компрессоров, таких как наложение мод в сигналах, избыточность разложения, сложности выделения признаков и низкая точность классификации дефектов, предлагается комбинированная методика на основе улучшенной вариационной модовой декомпозиции и сети с управляемыми рекуррентными блоками. Испытания на смоделированных и реальных данных судовых компрессоров подтверждают, что предложенная методика обеспечивает более высокую точность и практическую применимость по сравнению с традиционными подходами. Т. 1. Ил. 6. Библиогр. 17 назв.

УДК 519.876.5 **Ключевые слова:** деаэрактор, CFD-моделирование, ANSYS Fluent, многофазные течения, сепарация газа, гидродинамика, теплообмен, оптимизация конструкции, эффективность, кавитация, импортозамещение

А.Е. Усов, Г.С. Коленько. Расчет и оптимизация конструкции деаэратора с использованием ANSYS//Морской вестник. 2026. № 1 (97). С. 51

Представлены результаты численного исследования работы вертикального деаэратора с перфорированными пластинами. Моделирование проведено в программном комплексе ANSYS Fluent. Цель работ – выявление причин низкой эффективности отделения растворенных газов и разработка инженерных решений по модернизации конструкции. Ил. 4. Библиогр. 5 назв.

УДК 669.018.4; 621.7; 621.18:532.539 **Ключевые слова:** никелевый сплав, ползуцель, окисление, прочность, потеря массы сплавом

А.З. Багерман. Ползуцель жаропрочного никелевого сплава: результаты исследования, прогнозная оценка//Морской вестник. 2026. № 1 (97). С. 54

Ползуцель никелевого сплава есть естественное расширение при высокой температуре, одновременном силовом воздействии и снижении предела пропорциональности сплава в результате окисления. Развитие процесса во времени может быть оценено расчетным путем. Т. 5. Библиогр. 10 назв.

УДК 623.973 **Ключевые слова:** низкочастотное электромагнитное поле, автоматическая система компенсации, усилитель низкой частоты, антропогенный фактор, биологическая система

Б.Ю. Семёнов. Использование технологии компенсации низкочастотного электромагнитного поля корабельного электрооборудования в задачах обеспечения безопасной среды обитания человека//Морской вестник. 2026. № 1 (97). С. 59

Проанализирована информация о неблагоприятном воздействии низкочастотного электромагнитного поля (НЭМП) и, в частности, электромагнитного поля токов промышленной частоты, на морально-психологическое и физическое здоровье человека. Сформулированы предложения по использованию опыта создания систем автоматической компенса-

ции низкочастотных электромагнитных полей корабельного электрооборудования (АСК НЭМП) для снижения негативного влияния НЭМП на человека. Т. 1. Ил. 4. Библиогр. 6 назв.

УДК 629.12 **Ключевые слова:** резина, эллипс, валопровод, гребной вал, дейдвудный подшипник
А.А. Халывкин, А.В. Ивановская, В.В. Ениатов, А.С. Шаратов, А.И. Машенко. Снижение теплонапряженности дейдвудных подшипников на основе деклона//Морской вестник. 2026. № 1 (97). С. 62

Рассмотрен способ повышения ремонтпригодности и срока службы дейдвудного устройства судна. Отмечено, что дейдвудные подшипники служат опорой гребного вала судового валопровода. Обозначены основные дефекты дейдвудных подшипников при эксплуатации. Исследовано применение антифрикционного материала – деклона. Представлены основные механические параметры и условия эксплуатации дейдвудных подшипников из деклона. Т. 2. Ил. 5. Библиогр. 11 назв.

УДК 536.1 **Ключевые слова:** изохорный процесс, теплофизическое исследование, термодинамические процессы, реальный газ

Д.О. Глазырина, С.А. Паимцев, Е.Н. Алексин, А.П. Сеньков. Экспериментальное исследование изохорного процесса реального газа//Морской вестник. 2026. № 1 (97). С. 65

Рассмотрено полученное уравнение состояния реального газа с двумя коэффициентами пропорциональности, построенное на базе уравнения Ван-дер-Ваальса. Представлена экспериментальная установка для физического исследования изохорного процесса воздуха. На основании серии экспериментов рассчитан и построен доверительный интервал. Проведено сравнение экспериментальных данных и расчетов по некоторым наиболее используемым моделям. Т. 1. Ил. 2. Библиогр. 3 назв.

УДК 621.436:621.438 **Ключевые слова:** энергетическая установка, пропульсивный комплекс, импортзамещение, скоростной катер, технологическая независимость, технико-экономические характеристики

К.А. Ефремов, В.С. Домнин, А.В. Довличарова. Обоснование способов решения проблемы импортзамещения пропульсивных комплексов, используемых в составе энергетических установок скоростных катеров и судов//Морской вестник. 2026. № 1 (97). С. 67

Рассмотрена проблема импортзамещения пропульсивных комплексов, используемых в составе энергетических установок скоростных катеров и судов. Наиболее предпочтительным при импортзамещении следует признать двойное назначение изделий, которое позволит наладить их серийное (массовое) производство, что в конечном итоге позитивно отразится на стоимости серийного образца. Т. 1. Ил. 4. Библиогр. 1 назв.

УДК 621.3.049.75:621.793 **Ключевые слова:** струйное электро-осаждение, струйная металлизация, производство микроэлектроники, печатные платы

Ф.А. Бараковский, С.В. Ванцов, Е.А. Лийн, А.В. Назаров. Принципы и применение струйной металлизации для производства электроники//Морской вестник. 2026. № 1 (97). С. 71

Рассмотрены принципы и практическое применение технологии струйной металлизации. Проведен анализ физических основ струйного осаждения металлов, включая влияние гидродинамики струи на формирование диффузионного слоя, токовую эффективность и морфологию покрытия. Описаны конструкция типовой установки, а также роль химических добавок и импульсных режимов тока в управлении структурой осадков. Особое внимание уделено возможностям технологии в области локальной металлизации печатных плат, гибкой электроники и микроэлектромеханических систем (MEMS). Приведены экспериментальные примеры создания микроструктур. Обоснована перспективность дальнейшего развития технологии в контексте аддитивного производства, цифрового управления и экологически ориентированных производственных практик. Ил. 8. Библиогр. 29 назв.

УДК 336.645 **Ключевые слова:** инжиниринг финансового механизма, управленческий учет, ОПК, система бюджетирования

А.К. Гецова, К.А. Кирич. Инжиниринг финансового механизма, система бюджетирования, управленческий учет, предприятия оборонно-промышленного комплекса//Морской вестник. 2026. № 1 (97). С. 78

Отражены основные теоретические и практические аспекты инжиниринга финансового механизма предприятия оборонно-промышленного комплекса. Раскрыта отраслевая

специфика финансового механизма в условиях государственного регулирования, проанализирован отечественный и зарубежный опыт. Ил. 3. Библиогр. 4 назв.

УДК 389.001 **Ключевые слова:** метрология, квалиметрия, сложные системы, точность, область применения

Е.Н. Захаров. Квалиметрия сложных систем: понятие, область применения, требования к методическому аппарату//Морской вестник. 2026. № 1 (97). С. 83

На основе анализа функционала метрологии и квалиметрии, а также классификации систем предлагается ввести понятие «квалиметрия сложных систем» как раздела метрологии (в частности, квалиметрии), определяющего область применения, методологию и методический аппарат оценки функционирования (уровня качества) сложных систем. Обозначены требования к такому методическому аппарату. Т. 1. Библиогр. 12 назв.

УДК 629.05 **Ключевые слова:** оптико-электронная система, береговой ориентир, навигационный створ

Н.А. Нестеров. Определение места судна визуальными способами с использованием оптико-электронной системы//Морской вестник. 2026. № 1 (97). С. 89

Рассмотрено решение задач определения места судна оптико-электронной системой по двум горизонтальным углам и по горизонтальному углу между береговым ориентиром и направлением навигационного створа. Отмечена высокая точность определения места судна при решении задач данными способами. Ил. 2. Библиогр. 4 назв.

УДК 621.396 **Ключевые слова:** широкополосная модуляция, методы расширения спектра, комбинированная модуляция, линейная частотная модуляция ЛЧМ (CSS), расширение спектра методом прямой последовательности МПП (DSSS), псевдослучайная перестройка рабочей частоты ППРЧ (FHSS)

А.В. Сорокин, К.В. Гольдбаев, Е.В. Галузов, Е.А. Рылов, Е.И. Глушанков. Исследование комбинированных методов расширения спектра, повышающих помехоустойчивость и скрытность радиоканала//Морской вестник. 2026. № 1 (97). С. 91

Приведен обзор основных способов расширения спектра: линейная частотная модуляция – ЛЧМ, МПП и псевдослучайная перестройка рабочей частоты – ППРЧ. Рассмотрен метод комбинированного расширения спектра: применение ЛЧМ-сигналов в режиме ППРЧ. Исследован комбинированный метод модуляции: применение ЛЧМ-сигналов в составе псевдослучайной последовательности прямого расширения спектра. Построена математическая модель ЛЧМ-МПП модулятора в среде Matlab, исследованы автокорреляционные функции сгенерированных сигналов с комбинированным типом модуляции и методы их оптимизации. Предложен комбинированный метод ЛЧМ-МПП-ППРЧ. Ил. 18. Библиогр. 9 назв.

УДК 004.94:629.5 **Ключевые слова:** виртуальные тренажерные комплексы, морская техника, среда математического моделирования, трехмерная визуализация, интеграция программных сред, алгоритмическое обеспечение, обмен данными в реальном времени, клиент-серверная архитектура

И.П. Саитов. Архитектура и алгоритмы программного комплекса для интеграции сред математического моделирования и 3d-визуализации в тренажерах морской техники//Морской вестник. 2026. № 1 (97). С. 99

Представлен программный комплекс для создания виртуальных тренажеров морской техники. Описаны архитектура и алгоритмы интеграции сред математического моделирования и трехмерной визуализации, обеспечивающие потоковую обработку и синхронизацию данных в реальном времени. Подтверждена эффективность подхода на отечественном ПО. Ил. 2. Библиогр. 11 назв.

УДК 004.7 **Ключевые слова:** компьютерная сеть, среда виртуализации локальных вычислительных сетей (ЛВС), EVE-NG, PNETLab, информационная система

Д.О. Куприянов, Е.М. Гадаев, А.В. Примак, А.А. Пирогов, С.Я. Галушин. QSWOT-анализ средств виртуализации вычислительных сетей в информационных системах//Морской вестник. 2026. № 1 (97). С. 104

Создание и поддержание отказоустойчивых сетей – ключевая задача для современных информационных систем. Для их моделирования чаще всего применялись зарубежные

решения (Cisco Packet Tracer, GNS3), однако из-за санкций прекратились их официальные поставки в РФ и поддержка, что создало проблему их использования. В этой ситуации актуальным становится поиск и оценка альтернативных средств виртуализации сетей для проектирования, тестирования и безопасной настройки в гетерогенных средах. В качестве решения авторы предлагают разработку собственной российской платформы виртуализации ЛВС для обеспечения технологического суверенитета. Т. 2. Ил. 1. Библиогр. 4 назв.

УДК 004.94, 504.5, 502.22 **Ключевые слова:** компьютерный тренажер; моделирование динамических процессов; динамика распространения нефтяного пятна

А.Е. Васильев, А.С. Ворожейко, Д.Е. Кунгурцев, А.В. Протасов, С.А. Токаренко. Компьютерный тренажер для разработки средств моделирования распространения жидкостных загрязнений в условиях промышленных акваторий//Морской вестник. 2026. № 1 (97). С. 107

Рассмотрен подход к созданию средств разработки моделей динамики процессов разлива загрязняющих веществ (в частности, нефти и нефтепродуктов) применительно к акваториям промышленных объектов. Описаны особенности этого подхода, а также перспективы его применения в образовательном процессе подготовки специалистов в области судового машиностроения. Ил. 8. Библиогр. 27 назв.

УДК 623.8/9 **Ключевые слова:** беспилотный надводный аппарат, кроссплатформенный движок, симуляция
К.В. Лукин, Ю.В. Ясинская, Е.А. Калыкина. Разработка симулятора беспилотного надводного аппарата с использованием кроссплатформенной среды//Морской вестник. 2026. № 1 (97). С. 111

Обозначены этапы разработки симулятора беспилотного надводного аппарата с использованием кроссплатформенного движка «Unity» на языке C#. Т. 1. Ил. 6. Библиогр. 4 назв.

УДК 621.391 **Ключевые слова:** обнаружение сигналов, частичная занятость каналов, вероятность обнаружения и ложной тревоги

А.А. Катанович, Е.И. Ролдугина, Е.В. Пыков, С.В. Дворников. Модель расчета вероятности обнаружения сигналов в каналах при их частичной занятости//Морской вестник. 2026. № 1 (97). С. 114

Предлагается для обнаружения сигналов в каналах с частичной занятостью модифицировать аналитическую модель за счет введения в него показателя различий, характеризующего степень отклонения гистограмм распределения амплитудных значений от нормального закона. Представлены обоснование подхода и результаты эксперимента. Т. 1. Ил. 4. Библиогр. 24 назв.

УДК 621.396.24 **Ключевые слова:** коротковолновая (КВ) радиосвязь, метеорная радиосвязь, Северный морской путь (СМП), модель ионосферы

С.В. Русин, В.А. Долгих, В.Д. Пашкевич, С.В. Волыненко. Обеспечение кораблей надежной и бесперебойной радиосвязью в Арктической зоне РФ//Морской вестник. 2026. № 1 (97). С. 119

Решена актуальная задача частотного обеспечения кораблей в автоматическом режиме по метеорным радиолиниям, не подверженным внезапным ионосферным возмущениям. Цель работы – повышение надежности радиосвязи в КВ диапазоне кораблей с портами и береговыми объектами связи за счет частотного обеспечения в автоматическом режиме средствами метеорной радиосвязи. Расчеты качества связи в КВ диапазоне на модели ионосферы IRI проводились с помощью программного обеспечения «Трасса». Моделирование исследовано в среде Matlab Simulink радиосвязи короткими сообщениями по метеорным радиолиниям. Библиогр. 10 назв.

УДК 621.317.335 **Ключевые слова:** корабельная радиоприемная аппаратура, измеритель радиопомех, эквивалентное напряжение и мощность радиопомех, спектральная плотность мощности радиопомех

Е.К. Самаров, Я.Ю. Ионченко. Измерение спектральной плотности широкополосных радиопомех корабельной радиоприемной аппаратурой//Морской вестник. 2026. № 1 (97). С. 121

Рассмотрено измерение спектральной плотности широкополосных радиопомех. Показано, что основными характеристиками широкополосных радиопомех могут быть спектральная плотность напряжения для импульсных помех и спектральная плотность мощности как для импульсных, так и для «гладких» помех. Т. 1. Ил. 2. Библиогр. 8 назв.

1. Authors shall submit articles of up to 20,000 characters, including figures, in electronic form. The text shall be typed in MS Word under Windows, formulas – in the equation editor «MathType.» Illustrations present in the article shall be submitted additionally, in the following formats: TIFF CMYK (full color), TIFF GRAYSCALE (grayscale), TIFF BITMAP (dashed), EPS, JPEG, with resolution of 300 dpi for grayscale figures and 600 dpi for dashed ones and in sizes desired for placement.

2. Articles shall contain an abstract of up to 300 characters, keywords, and bibliographic library UDC identifier. Authors shall indicate their degree, academic status, place of employment, job position, and telephone number, as well as provide a written permission of the Editor to place articles on the Internet and in the Scientific Electronic Library after publication in the journal. Articles shall be submitted with reviews.

3. The articles of postgraduate and degree-seeking students shall be accepted for publication on a free and royalty-free basis.

4. The control review of these articles shall be performed by the editorial board, with the assistance of dedicated experts, if necessary. Reviews of articles are stored in editorial office of the magazine within 5 years.

5. In case of refusal to publish articles, reviews shall be sent to authors. Copies of reviews go to the Ministry of Education and Science of the Russian Federation at receipt of the corresponding inquiry in editorial office of the magazine.

6. The contents of the journal shall be submitted to the editorial board quarterly. The decision concerning the next issue of the journal shall be formally established with the protocol.

ABSTRACTS

UDC 629.5.01 **Keywords:** Severnoye Design Bureau, leading naval engineering center, digital design, computer technologies, missile cruiser, destroyer, patrol ship, frigate, Russian Navy

A.V. Arkhipov. Severnoye Design Bureau of USC: 80 years of serving the Fatherland and the Navy: History, achievements and a look to the future//Morskoy Vestnik. 2026. No. 1 (97). P. 6

This article is dedicated to the 80th anniversary of one of the key enterprises in Russian shipbuilding – the Severnoye Design Bureau of USC. The role of the Severnoye Design Bureau in ensuring Russia's defense capability cannot be overestimated. Ships designed by the Severnoye Design Bureau are in service with all Russian fleets. These include modern cruisers, frigates, destroyers, and large anti-submarine ships. The bureau is ready to offer advanced, competent, and innovative solutions for the Russian Navy. Fig. 7.

UDC 629.5.01 **Keywords:** container ship, Rimsky-Korsakov, specialized dry cargo vessels, 2500 TEU, container, shipping, shipbuilding, NSR

V.Yu. Svetova, A.V. Koshelev. Infrastructure constraints as a driver of innovation: from port capacity analysis to a new container carrier project//Morskoy Vestnik. 2026. No. 1 (97). P. 9

This article presents the experience of developing seagoing vessels for the transportation of container cargo. The paper describes changes in the sea container shipping market, existing constraints, and the need for its development. The characteristics and design of existing vessels for the transportation of container cargo are analyzed. Optimal characteristics for the new vessel were selected, taking into account port dimensional restrictions, operating conditions, equipment, and limitations of domestic marine engineering. Trends for further development of the project and domestic shipbuilding in the area of specialized merchant vessel construction are outlined. T. 4. Fig. 5. Bibliography 30 titles.

UDC 620.9 **Keywords:** watercraft, security, defense, autonomous coastal infrastructure facility, weapon, unmanned aerial vehicle, boat, special military operation, speed, maneuverability, protection, deadrise, waterjet propulsion, engine, import substitution, efficiency

V.V. Kamtyuk, I.O. Prutchnikov, A.V. Podgorniy, I.V. Grechushkin. Prospects for the development and use of modern watercraft for the protection and defense of important coastal infrastructure facilities//Morskoy Vestnik. 2026. No. 1 (97). P. 16

This article analyzes the development and use of modern watercraft for the protection and defense of critical coastal infrastructure facilities. Based on this analysis, requirements for such equipment are substantiated and proposals are developed for utilizing new developments and the existing fleet of modern watercraft. This will improve the overall effectiveness of the protection and defense of critical coastal infrastructure facilities. T. 1. Fig. 9. Bibliography 7 titles.

UDC 629.5.035.58 **Keywords:** autonomous unmanned underwater vehicle, coaxial counter-rotating propellers, electric power transmission

A.R. Togunyats, L.I. Vishnevsky, A.N. Pinchuk. Technical requirements for a two-stage blade propeller of an autonomous unmanned underwater vehicle //Morskoy Vestnik. 2026. No. 1 (97). P. 20

This paper describes a new design of an autonomous unmanned underwater vehicle (AUV) with electric power trans-

mission to a two-stage blade propulsion unit, namely, coaxial counter-rotating propellers (CCP). A rationale for using CCP on AUVs is provided. Technical requirements are defined for a two-stage blade propulsion unit of an AUV with electric power transmission of 0.5, 1, and 2 kW. T. 5. Fig. 7. Bibliography 13 titles.

UDC 627.772 **Keywords:** rescue equipment, technical regulation, technical regulations, standardization, rescue equipment, national standardization system, national standard, certification

V.N. Ilyukhin. On the technical regulation of marine rescue equipment//Morskoy Vestnik. 2026. No. 1 (97). P. 23

The current aspects of technical regulation of marine rescue equipment are considered. The features of standardization of rescue equipment are revealed. The assessment of the degree of consideration of national standards in the technical regulations on the safety of marine and inland waterway transport facilities is given. The results of the analysis of contradictions in the regulatory documents of technical regulation are presented. The main directions of improvement of technical regulation and standardization of rescue equipment in modern conditions are formulated. Fig. 2. Bibliography 22 titles.

UDC 629.12 **Keywords:** modern measuring systems, dimensional control, propellers, coordinate measurement method, electronic design model

V.V. Dubinka, Ya.Yu. Myshkov. Modern methods for measuring geometric parameters of propellers//Morskoy Vestnik. 2026. No. 1 (97). P. 29

This article is devoted to the organization of dimensional control of propellers by the method of coordinate measurements using an electronic design model. It considers the coordinate method of dimensional control of propellers, processing of scanning results and analysis of measurement information for timely decision-making. T. 1. Fig. 6. Bibliography 4 titles.

UDC 629.12.001.2 **Keywords:** assessment of the current digital maturity of shipyard management processes, technological approach, process approach, corporate approach to digitalization of shipbuilding production

A.E. Bogdanov, P.V. Nikitin. On the stages of development of digitalization of production processes and (or) business processes of the shipbuilding complex of USC Group enterprises within the framework of the requirements of the NTD RF//Morskoy Vestnik. 2026. No. 1 (97). P. 32

New information technologies offer significant potential for reducing production costs. The use of information technologies is based on the digitalization of production processes and business processes of the shipbuilding complex. The stages of development of digitalization of the shipbuilding complex are proposed in the areas of technological, process, and corporate approaches within the framework of the requirements of the NTD RF. T. 1. Fig. 1. Bibliography 3 titles.

UDC 629.5.025.2 **Keywords:** steering gear, rotary vane drive, stabilizer, hydraulic drive

V.Yu. Sitnikov, Yu.A. Lebedev. Rotary vane drives of steering gears and stabilizers. Criteria for determining optimal design solutions//Morskoy Vestnik. 2026. No. 1 (97). P. 37

The article examines the problem of determining the optimal drive parameters, both in terms of weight, size, and energy. Fig. 14. Bibliography 17 titles.

UDC 621.512.3 **Keywords:** marine piston compressor, fault diagnostics, improved variational mode decomposition, fruit fly optimization algorithm, controlled recurrent units, marine engineering

L.G. Kuznetsov, R.R. Khotskiy, A.V. Burakov, A.V. Makshanov. Fault diagnostics of a marine piston compressor based on improved variational mode decomposition and a device with controlled recurrent units//Morskoy Vestnik. 2026. No. 1 (97). P. 43

To overcome the shortcomings of existing diagnostic methods for the cylinder-piston group and bearings of marine piston compressors, such as signal mode overlap, decomposition redundancy, difficulty in feature extraction, and low defect classification accuracy, a combined method based on improved variational mode decomposition and a network with controlled recurrent units is proposed. Tests on simulated and real data from marine compressors confirm that the proposed method provides higher accuracy and practical applicability compared to traditional approaches. T. 1. Fig. 6. Bibliography 17 titles.

UDC 519.876.5 **Keywords:** deaerator, CFD modeling, ANSYS Fluent, multiphase flows, gas separation, hydrodynamics, heat transfer, design optimization, efficiency, cavitation, import substitution

A.E. Usov, G.S. Kolen'ko. Calculation and optimization of a deaerator design using ANSYS//Morskoy Vestnik. 2026. No. 1 (97). P. 51

This article presents the results of a numerical study of the operation of a vertical deaerator with perforated plates. The modeling was performed using the ANSYS Fluent software package. The aim of the study was to identify the causes of low efficiency of dissolved gas separation and develop engineering solutions for design modernization. Fig. 4. Bibliography 5 titles.

UDC 669.018.4; 621.7; 621.18:532.539 **Keywords:** nickel alloy, creep, oxidation, strength, alloy mass loss

A.Z. Bagerman. Creep of a heat-resistant nickel alloy: study results, predictive assessment//Morskoy Vestnik. 2026. No. 1 (97). P. 54

Creep of a nickel alloy is a natural expansion at high temperature, simultaneously subjected to force and a decrease in the alloy's proportionality limit due to oxidation. The development of the process over time can be estimated by calculation. T. 5. Bibliography 10 titles.

UDC 623.973 **Keywords:** low-frequency electromagnetic field, automatic compensation system, low-frequency amplifier, anthropogenic factor, biological system

B.Yu. Semenov. Use of low-frequency electromagnetic field compensation technology for shipborne electrical equipment in ensuring a safe human habitat//Morskoy Vestnik. 2026. No. 1 (97). P. 59

This article analyzes information on the adverse effects of low-frequency electromagnetic fields (LEF), and in particular, the electromagnetic field of industrial frequency currents, on human moral, psychological, and physical health. Proposals are formulated for using the experience of creating automatic compensation systems for low-frequency electromagnetic fields of shipborne electrical equipment (ACS LEF) to reduce the negative impact of LEF on humans. T. 1. Fig. 4. Bibliography 6 titles.

- UDC 629.12 **Keywords:** rubber, ellipse, propeller shaft, sterntube bearing, rubber
A.A. Khalyavkin, A.V. Ivanovskaya, V.V. Yenivatov, A.S. Sharatov, A.I. Mashchenko. Reducing the thermal stress of stern-tube bearings based on declon//Morskoy Vestnik. 2026. No. 1 (97). P. 62
 This paper examines a method for increasing the maintainability and service life of a ship's sterntube device. It is noted that sterntube bearings serve as a support for the propeller shaft of a ship's propeller shaft. The main defects of sterntube bearings during operation are identified. The use of the antifriction material Declon is studied. The main mechanical parameters and operating conditions of sterntube bearings made of Declon are presented. T. 2. Fig. 5. Bibliography 11 titles.
- UDC 536.1 **Keywords:** isochoric process, thermophysical research, thermodynamic processes, real gas
D.O. Glazyrina, S.A. Paimtsev, E.N. Aleksin, A.P. Sen'kov. Experimental study of the isochoric process of real gas//Morskoy Vestnik. 2026. No. 1 (97). P. 65
 The isochoric process, like other thermodynamic processes, occurs in marine power engineering, for example, in internal combustion engines. During gas compression in a piston-cylinder device with a locked piston, if the piston is fixed in place, the volume remains constant, and any compression or expansion of the gas will be an isochoric process. The isochoric process is also found in pulsating air-jet engines. In this article, the obtained equation of state of a real gas with two coefficients of proportionality, based on the van der Waals equation, is considered. An experimental setup for the physical study of the isochoric process of air is presented. Based on a series of experiments, a confidence interval was calculated and constructed. A comparison of experimental data and calculations for some of the most commonly used models is carried out. T. 1. Fig. 2. Bibliography 3 titles.
- UDC 621.436:621.438 **Keywords:** power plant, propulsion system, import substitution, high-speed boat, technological independence, technical and economic characteristics
K.A. Efremov, V.S. Domnin, A.V. Dovlicharova. Justification of methods for solving the problem of import substitution of propulsion systems used in the power plants of high-speed boats and vessels//Morskoy Vestnik. 2026. No. 1 (97). P. 67
 The problem of import substitution of propulsion systems used in the power plants of high-speed boats and vessels is considered. The dual-use nature of the products should be recognized as the most preferable option for import substitution, which will allow for their serial (mass) production, which will ultimately have a positive impact on the cost of the serial model. T. 1. Fig. 4. Bibliography 1 title.
- UDC 621.3.049.75:621.793 **Keywords:** jet metallization, microelectronics manufacturing, printed circuit boards
F.A. Barakovskiy, S.V. Vantsov, E.A. Liny, A.V. Nazarov. Principles and application of jet metallization for electronics manufacturing//Morskoy Vestnik. 2026. No. 1 (97). P. 71
 This article examines the principles and practical application of jet metallization technology. An analysis of the physical principles of jet metal deposition is provided, including the influence of jet hydrodynamics on diffusion layer formation, current efficiency, and coating morphology. The design of a typical installation is described, as well as the role of chemical additives and pulsed current modes in controlling the deposit structure. Particular attention is given to the technology's potential for localized metallization of printed circuit boards, flexible electronics, and microelectromechanical systems (MEMS). Experimental examples of microstructure creation are presented. The potential for further development of the technology in the context of additive manufacturing, digital control, and environmentally friendly manufacturing practices is substantiated. Fig. 8. Bibliography 29 titles.
- UDC 336.645 **Keywords:** financial mechanism engineering, management accounting, military-industrial complex, budgeting system
A.K. Getsova, A. Kirin. Financial mechanism engineering, budgeting system, management accounting of a defense-industrial complex enterprise//Morskoy Vestnik. 2026. No. 1 (97). P. 78
 This article presents the main theoretical and practical aspects of financial mechanism engineering for a defense-industrial complex (DIC) enterprise. It reveals the industry-specific nature of the financial mechanism under government regulation and analyzes domestic and international experience. Fig. 3. Bibliography 4 titles.
- UDC 389.001 **Keywords:** metrology, qualimetry, complex systems, accuracy, field of use
E.N. Zakharov. Qualimetry of complex systems: concept, field of use and, methodological apparatus requirements//Morskoy Vestnik. 2026. No. 1 (97). P. 83
 Based on the analysis of metrology and qualimetry functions, as well as systems classification, the article proposes to introduce the concept of «qualimetry of complex systems» as a branch of metrology (in particular, qualimetry) that defines the field, methodology and methodological apparatus for assessing the complex systems' functioning (quality level). The article indicates the requirements for such a methodological apparatus. T. 1. Bibliography 12 titles.
- UDC 629.05 **Keywords:** optoelectronic system, coastal landmark, navigational range
N.A. Nesterov. Determining a vessel's position by visual methods using an optoelectronic system//Morskoy Vestnik. 2026. No. 1 (97). P. 89
 This article examines the solution to the problem of determining a vessel's position using an optoelectronic system based on two horizontal angles and the horizontal angle between a coastal landmark and the direction of the navigational range. The high accuracy of determining a vessel's position using these methods is noted. Fig. 2. Bibliography 4 titles.
- UDC 621.396 **Keywords:** wideband modulation, spread spectrum methods, combined modulation, chirp frequency modulation (CSS), direct sequence spread spectrum (DSSS), frequency hopping spread spectrum (FHSS)
A.V. Sorokin, K.V. Gol'dibaev, E.V. Galuzov, E.A. Rylov, E.I. Glushankov. A study of combined spectrum spreading methods improving radio channel interference resistance and security//Morskoy Vestnik. 2026. No. 1 (97). P. 91
 This article provides an overview of the main spread spectrum methods: chirp, DSSS, and frequency hopping. A combined spread spectrum method is considered: the use of chirp signals in frequency hopping mode. A study of a combined modulation method was conducted: the use of chirp signals as part of a pseudo-random sequence of direct spectrum spreading. A mathematical model of a chirp-MPS modulator was constructed in the Matlab environment, the autocorrelation functions of the generated signals with a combined modulation type and methods for their optimization were investigated. A combined chirp-MPS-frequency hopping method is proposed. Fig. 18. Bibliography 9 titles.
- UDC 004.94:629.5 **Keywords:** virtual training systems, marine equipment, mathematical modeling environment, 3D visualization, integration of software environments, algorithmic support, real-time data exchange, client-server architecture
I.P. Saitov. Architecture and algorithms of a software complex for integrating mathematical modeling and 3d visualization environments in marine equipment simulators//Morskoy Vestnik. 2026. No. 1 (97). P. 99
 A software package for creating virtual simulators of marine equipment is presented. The architecture and algorithms for integrating mathematical modeling and 3D visualization environments are described, ensuring streaming processing and data synchronization in real time. The effectiveness of the approach is confirmed using domestic software. Fig. 2. Bibliography 11 titles.
- UDC 004.7 **Keywords:** computer network, local area network (LAN) virtualization environment, EVE-NG, PNETLab, information system
D.O. Kupriyanov, E.M. Gadaev, A.V. Primak, A.A. Pirogov, S.Ya. Galushin. QSWOT is an analysis of computing network virtualization tools in information systems//Morskoy Vestnik. 2026. No. 1 (97). P. 104
 Creating and maintaining fault-tolerant networks is a key task for modern information systems. Foreign solutions (Cisco Packet Tracer, GNS3) were most often used for their modeling; however, due to sanctions, their official supply and support in the Russian Federation ceased, creating problems with their use. In this situation, the search for and evaluation of alternative network virtualization tools for design, testing, and secure configuration in heterogeneous environments has become relevant. As a solution, the authors propose developing a Russian-made LAN virtualization platform to ensure technological sovereignty. T. 2. Fig. 1. Bibliography 4 titles.
- UDC 004.94, 504.5, 502.22 **Keywords:** computer simulator, modeling of dynamic processes; oil slick propagation dynamics
A.E. Vasil'ev, A.S. Vorozheiko, D.E. Kungurtsev, A.V. Protasov, S.A. Tokarenko. The computer development environment for liquid contamination spread models at industrial water areas//Morskoy Vestnik. 2026. No. 1 (97). P. 107
 This article examines an approach to developing tools for modeling the dynamics of pollutant spills (in particular, oil and petroleum products) at industrial waters. The features of this approach are described, as well as the potential for its application in the educational process of training specialists in marine engineering. Fig. 8. Bibliography 27 titles.
- UDC 623. 8/9 **Keywords:** unmanned surface vehicle, cross-platform engine, simulation
K.V. Lukin, Yu.V. Yasinskaya, E.A. Kalyakina. Development of an unmanned surface vehicle simulator using a cross-platform environment//Morskoy Vestnik. 2026. No. 1 (97). P. 111
 This article describes the stages of developing an unmanned surface vehicle simulator using the cross-platform «Unity» engine in C#. T. 1. Fig. 6. Bibliography 4 titles.
- UDC 621.391 **Keywords:** signal detection, partial occupancy of channels, probability of detection and false alarm
A.A. Katanovich, E.I. Roldugina, E.V. Pykov, S.V. Dvornikov. Model for calculating the probability of detecting signal in channels under conditions of their partial employment//Morskoy Vestnik. 2026. No. 1 (97). P. 114
 It is proposed to modify the analytical model for detecting signals in channels with partial occupancy, and by introducing into it a difference indicator characterizing the degree of deviation of the histograms of the distribution of amplitude values from the normal law. The rationale for the approach and the results of the experiment are presented. T. 1. Fig. 4. Bibliography 24 titles.
- UDC 621.396.24 **Keywords:** shortwave (HF) radio communication, meteor radio communication, Northern Sea Route (NSR), ionospheric model
S.V. Rusin, V.A. Dolgikh, V.D. Pashkevich, S.V. Volvenko. Providing ships in the arctic zone of the Russian Federation with reliable and uninterrupted radio communications//Morskoy Vestnik. 2026. No. 1 (97). P. 119
 This article addresses the pressing issue of automatically providing ships with frequency links via meteor radio links that are not susceptible to sudden ionospheric disturbances. The objective of the work is to improve the reliability of HF radio communications between ships and ports and shore-based communication facilities by providing reliable, automatic frequency links to ships using meteor radio links. Calculations of communication quality in the HF band using the IRI ionospheric model were performed using the Trassa software. The simulation of short message exchange via meteor radio lines was studied in the Matlab Simulink environment. Bibliography 10 titles.
- UDC 621.317.335 **Keywords:** shipborne radio receiving equipment, radio interference meter, equivalent voltage and power of radio interference, spectral power density of radio interference
E.K. Samarov, Ya.Yu. Ionchenkova. Measurement of spectral density of broadband radio interference ship's radio reception equipment//Morskoy Vestnik. 2026. No. 1 (97). P. 121
 This paper considers the measurement of the spectral density of broadband radio interference. It is shown that the main characteristics of broadband radio interference can be the spectral voltage density for pulsed interference and the spectral power density for both pulsed and «smooth» interference. T. 1. Fig. 2. Bibliography 8 titles.