

Морской



№3(95)
сентябрь
2025
ISSN 1812-3694

Вестник

Morskoy Vestnik



ДИЭЛКОМ
электронные компоненты

**ПОСТАВЛЯЕМ ИННОВАЦИИ
ОПЕРЕЖАЕМ ВРЕМЯ**

ООО «ДиЭлКом»
8 (812) 339-45-97
info@dielcom.ru
<http://dielcom.ru/>
195196, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург, ул. Таллинская, д.7, литера «О»

27 июля 2025 г. в День Военно-Морского Флота в ходе рабочего визита в Санкт-Петербургский государственный морской технический университет Президент РФ Владимир Путин ознакомился с новейшими инфраструктурными объектами вуза.

Ректор СПбГМТУ Глеб Туричин провел экскурсию по ключевым площадкам университета: Молодежному конструкторскому бюро электрического судостроения (МКБ), научно-производственному корпусу (НПК) и Центру единоборств.

В НПК Глава государства осмотрел парк современного оборудования – токарные и фрезерные станки с ЧПУ и крупноформатный станок лазерной резки; участок производства технологических машин прямого лазерного выращивания и их компонентов; участок аддитивного производства по созданию высокоточных деталей для высокотехнологичных предприятий; учебную верфь, на которой изготавливаются крупногабаритные элементы судов и компоненты для ракетно-космической, авиационной, энергетической отраслей промышленности. Президенту РФ был продемонстрирован ряд изделий, изготовленных по технологии прямого лазерного выращивания. Научно-производственный корпус – двухэтажное здание общей площадью 2774 м² – введено в эксплуатацию в феврале 2025 г.

Глеб Туричин подчеркнул, что инфраструктура НПК специально создана для отработки комплексных технологий производства крупногабаритных конструкций критического назначения: «Научно-производственный корпус – это стратегическая платформа СПбГМТУ. Здесь реализуется сквозной цикл: от проектирования и аддитивного изготовления компонентов до испытаний готовых высокотехнологичных изделий для судостроения, ракетостроения и атомной энергетики. Это среда, где научные разработки университета трансформируются в реальные технологии для промышленности, а студенты получают уникальные практические навыки работы на оборудовании мирового уровня».

В МКБ электрического судостроения Президенту РФ представили текущие проекты в области перспективного электродвижения судов, разработанные на базе полностью цифровых моделей и отечественного программного обеспечения. Основатель «АФК Система» Владимир Евтушенков продемонстрировал Главе государства новую водородную судовую энергетическую установку.

МКБ начало свою работу в начале нынешнего года. Оно создано в кооперации с промышленным партнером АО «Ситроникс». Молодые сотрудники и студенты университета вместе с представителями промышленности разрабатывают проекты электрических судов.

ПРЕЗИДЕНТ РФ В. В. ПУТИН ПОСЕТИЛ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ И СПОРТИВНЫЕ ОБЪЕКТЫ СПБГМТУ

О. Г. Сухопарова, пресс-секретарь СПбГМТУ,
контакт. тел. (812) 714 4445

На отечественном программном обеспечении без бумажной документации создаются полностью цифровые модели судна. После разработки проекты передаются заказчикам для реализации.

У сотрудников МКБ электрических судов уже есть опыт работы над большими проектами: молодые инженеры принимали участие в разработке полностью электрического судна для рек и каналов Санкт-Петербурга. Основную конструкторскую деятельность осуществляли инженеры ООО «Эмпириум» – партнера этого МКБ. На верфи компании электроход и был построен. Судно проекта EM2108 «Мойка 2.0» может прийти на смену дизельным теплоходам типа «Мойка».

Суда, работающие на полностью электрической энергетической установке, не используют сгораемое топливо. При эксплуатации этого транспорта отсутствуют выхлопные газы, негативно влияющие на экологическую обстановку большого города. Еще одно преимущество электроходов – низкий уровень шума и вибрации. Благодаря тихой работе электродвигателя они более комфортны для пассажиров. Основное направление эксплуатации электрических судов в России – пассажирские перевозки.

Визит Владимира Путина в Корабелку завершился осмотром нового Центра единоборств СПбГМТУ. Заслуженный тренер России, президент Федерации дзюдо Санкт-Петербурга и клуба дзюдо «Турбостроитель» Михаил Рахлин представил Главе государства современный многофункциональный комплекс, откры-

тый в апреле текущего года. Президент РФ высоко оценил Центр единоборств, предназначенный для занятий студентов и учащихся колледжа физкультурой и спортом, различными видами единоборств (самбо, джиу-джитсу, дзюдо, каратэ, бокс, кикбоксинг, шахматы), проведения спортивных мероприятий, семинаров, конференций, мастер-классов, функциональных тренингов, встреч с известными спортсменами и организации спортивных мероприятий и праздников.

В спортивном центре помощник Президента, председатель Морской коллегии Николай Патрушев вручил Владимиру Путину медаль «За верность Российскому флоту». «Я вас давным-давно помню и знаю, Вы помогали нашему флоту, на моей памяти это было с 97-го года... и до сегодняшнего дня Вы в этом плане очень активно работаете. Вы образовали Морскую коллегию, и мне как руководителю Морской коллегии сегодня очень приятно наградить Вас впервые, еще никто не награждался, медалью Морской коллегии Российской Федерации «За верность Российскому флоту», – сказал Патрушев во время награждения.

Вместе с Президентом РФ Корабелку посетили помощник Президента РФ Алексей Дюмин, помощник Президента РФ Андрей Фурсенко, министр науки и высшего образования РФ Валерий Фальков, губернатор Санкт-Петербурга Александр Беглов, президент Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» Михаил Ковальчук. ■



Ректор СПбГМТУ Г. А. Туричин докладывает В. В. Путину и Н. П. Патрушеву о научных достижениях университета

Морской Вестник

№ 3 (95)
сентябрь
2025

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»

И.Ю. Бурцев, директор

ЗАО «ЦНИИ СМ»

Н.М. Вихров, генеральный директор

ЗАО «Канонерский судоремонтный завод»

В.Э. Гель, генеральный директор

АО «УК «Радиостандарт»

К.Г. Голубев, генеральный директор

АО «ЦМКБ «Алмаз»

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

В.А. Долгих, генеральный директор

АО «НТИ «Радиосвязь»

В.Ю. Дорофеев, генеральный директор

АО «СПМБМ «Малахит»

Ю.В. Душкин, генеральный директор

АО «СПО «Арктика»

М.В. Захаров, генеральный директор

ООО «Пумори-северо-запад»

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

С.Н. Ириутин, председатель

Санкт-Петербургского Морского Собрания

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

Г.А. Коржавин, научный руководитель

АО «Концерн «Гранит-Электрон»

А.В. Кузнецов, председатель совета директоров

АО «Армалит»

Л.Г. Кузнецов, генеральный конструктор

АО «Компрессор»

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

И.М. Мухутдинов, генеральный директор

ПАО «СФ «Алмаз»

О.А. Остапко, генеральный директор

АО «Северное ПКБ»

Е.А. Рылов, генеральный директор

АО «НПО Завод «Волна»

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

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

И.С. Суховинский, директор ООО «ВИНЕТА»

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

С.Г. Филимонов, генеральный директор

АО «Концерн Морфлот»

О.В. Шаин, генеральный директор ООО «ДиЭлКом»

К.Ю. Шилов, генеральный директор

АО «Концерн «НПО «Аврора»

И.В. Щербаков, генеральный директор

ООО ПКБ «Петробалт»

СОДЕРЖАНИЕ

*Президент РФ В.В. Путин посетил производственные
и спортивные объекты СПбГМТУ* 1

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И КОНСТРУКЦИЯ СУДОВ

*Конструкторское бюро ОСК «Алмаз» удостоено Почетного знака
«За успехи в труде»* 7

С.Н. Гречин, Н.С. Григорьев. Вертолетные обслуживающие системы
на кораблях ведущих стран мира в сравнении с устройствами
транспортировки корабельных вертолетов ВМФ РФ. Часть 3 9

А.Н. Озерный, Д.В. Горбунов, А.Б. Фомичев. Метод исследовательского
проектирования спасательных судов подводных лодок 15

В.Ю. Светова, А.В. Кошелев. Самоотвозные земснаряды: потребности,
перспективы, характеристики. Часть 2 19

П.А. Зубков, О.В. Захарова. Методика проектирования интерьеров судовых
помещений с использованием современных средств программного обеспечения 23

ТЕХНОЛОГИЯ СУДОСТРОЕНИЯ, СУДОРЕМОНТА И ОРГАНИЗАЦИЯ СУДОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

А.В. Архипов, В.А. Евтеев, Д.В. Курочкин. Мировой опыт индустриального
сотрудничества в сфере строительства боевых надводных кораблей
классов OPV, корвет и фрегат. Часть 1 31

Б.В. Грек, Я.В. Рябис. Технология беспригоночного монтажа оборудования
пространственного размещения 35

А.В. Борисов, Г.Б. Коробочкин, А.Ю. Конев, А.И. Фунеров, С.А. Зиборов.
Организация процесса заготовки кабельно-проводниковой продукции 41

*На Средне-Невском судостроительном заводе ОСК спущены на воду
катамараны «Габрион» и «Форт Шанец»* 45

СУДОВЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ И ИХ ЭЛЕМЕНТЫ

В.В. Барановский, В.С. Домнин, А.В. Довличарова. Опыт применения про-
пульсивных систем современных скоростных катеров в проектах АО «ЦМКБ»
«Алмаз» и проблемы использования комплектующих гражданского назначения... 46

Б.Ю. Семёнов. Посекционное питание контуров электромагнитной
обработки в системах безобмоточного размагничивания
корабельных корпусных конструкций 51

А.М. Белов, С.С. Белова. Оценка показателей надежности инжекторной
системы аварийного расхолаживания ядерного реактора 54

Б.Ф. Дмитриев, С.Я. Галушин, А.Ю. Розов, И.В. Скударнова. Трехфазные
корректоры коэффициента мощности в автономных системах
электропитания морских транспортных средств 58

Р.Р. Хотский, Л.Г. Кузнецов, А.В. Бураков, А.В. Макшанов, Л.Н. Тындыкарь.
Анализ технического состояния судового поршневого компрессора на основе
вариационной модовой декомпозиции и глубокого автоэнкодера 63

А.А. Халявкин, А.Р. Санжапов, А.Р. Наумчик, А.А. Денисов. Влияние
действия случайных нагрузок на срок службы резинометаллических
дейдвудных подшипников 70



ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ ПРИБОРОСТРОЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ

А. А. Катанович, К. В. Гольдибаев, В. А. Цыванюк, А. В. Сорокин. Принципы построения современного корабельного автоматизированного комплекса связи	73
50 лет научной и научно-педагогической деятельности А. А. Катановича	78
В. С. Фантиков, М. А. Савенок, А. А. Кондидатов. Разработка табло коллективного пользования для комплектации перспективных интегрированных мостиковых систем	79
А. С. Скрыпка, А. С. Корнев, В. С. Соловей, С. П. Хабаров. От прототипа к сертификату: разработка датчика углового перемещения	82
А. В. Дранников, С. Г. Козьмин, А. В. Исаев. Гидроакустическая ультракороткобазисная система позиционирования автономных необитаемых подводных аппаратов. Часть 1	84
Л. А. Демченко, А. С. Сергеев. Анализ характеристик и применимости модулей NRF24L01 и LORA E32-433T30D с использованием ARDUINO UNO	88

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ И УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ

О. Г. Мальцев. Исследование двухпостовых корабельных систем освещения надводной обстановки	93
С. Н. Шаров, С. Г. Чечурин. Памяти Ю. Ф. Подоплёкина	99
О. В. Третьяков, М. В. Шебуняев, П. И. Щукин, В. А. Фокин. Один из подходов к комплексной оценке кораблей	100
С. Л. Ильменков. Характеристики рассеяния дискретных составляющих шума гребного винта моделью корпуса подводного аппарата	104
А. Е. Васильев, В. Д. Ковалев, Д. Е. Кунгурцев, С. А. Токаренко, Е. С. Блохина. Технические средства оценки и тренировки сенсомоторных реакций судового персонала	107
И. И. Шигапов, В. А. Одинаев, В. А. Долгов. Нейронные сети как инструмент обработки диагностической информации: состояние и перспективы	110
Е. И. Глушанков, Е. А. Рылов, К. В. Гольдибаев, А. В. Сорокин, Е. В. Галузов. Исследование методов моделирования ионосферного канала связи	115
Ю. С. Азизян, В. А. Долгих. Условия обнаружения нарушений безопасности связи в сетях связи единой системы управления военного назначения	118

ИСТОРИЯ СУДОСТРОЕНИЯ И ФЛОТА

В. Н. Половинкин, С. В. Федулов, В. Э. Руденко. Прокладка подводного трубопровода в блокадный Ленинград	119
--	-----

В МОРСКОМ СОБРАНИИ

С. Н. Ирютин, В. Н. Торба. Великая победа – Чесменский триумф 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.

Б. П. Ионов, д-р техн. наук, проф.

Д. В. Казунин, д-р техн. наук

Р. Н. Караев, канд. техн. наук

В. В. Кобзев, д-р техн. наук, проф.

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

П. А. Кротов, д-р истор. наук, проф.

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

Д. В. Никущенко, д-р техн. наук

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

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

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

А. А. Родионов, д-р техн. наук, проф.

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

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

А. Б. Фомичёв, д-р техн. наук, проф.

В. И. Черненко, д-р техн. наук, проф.

Редакция

Тел./факс: (812) 600 4586

E-mail: morvest@gmail.com

Редактор

Т. И. Ильичёва

Дизайн, верстка

С. А. Кириллов, В. Л. Колпакова

Адрес редакции

190068 Санкт-Петербург,

наб. реки Мойки, 84, пом. 13Н

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

Учредитель-издатель

ООО Издательство «Мор Вест»,

190068, Санкт-Петербург,

наб. реки Мойки, 84, пом. 13Н

Электронная версия журнала

размещена на сайте ООО «Научная электронная

библиотека» www.elibrary.ru и включена

в Российский индекс научного цитирования

Решением Президиума ВАК журнал «Морской вестник»

включен в перечень ведущих научных журналов и изданий, выпускаемых в РФ, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук.

www.perechen.vak2.ed.gov.ru

Подписка на журнал «Морской вестник»

(индекс ПМ 467) может быть оформлена по

каталогу Почты России «Подписные издания»

или непосредственно в редакции журнала через

издательство «Мор Вест»

Отпечатано в ООО «Сфера»

Адрес типографии: 190005, Санкт-Петербург,

ул. Егорова, д. 26а, литер Б.

Тираж 300 экз. Заказ № 3092

Дата выхода в свет – 10.09.2025

Каталожная цена – 675,42 руб.

Ответственность за содержание информационных и рекламных материалов, а также за использование сведений, не подлежащих публикации в открытой печати, несут авторы и рекламодатели. Перепечатка допускается только с разрешения редакции

Морской Вестник



№ 3 (95)
September
2025

SCIENTIFIC, ENGINEERING, INFORMATION AND ANALYTIC MAGAZINE

Editorial Council

Co-chairman:

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

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

V.S. Nikitin,

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

G.A. Turichin, Rector SPbSMTU

Council Members:

A.A. Aslanyan, General Director
JSC RPF Meridian

I.Yu. Burtsev, Director JSC CRIME

V.A. Dolgikh, General Director JSC NTI Radiosvyaz

V.Yu. Dorofeev, General Director

JSC SPMD 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

K.G. Golubev, General Director JSC Almaz CMDB

S.N. Iryutin, Chairman

St. Petersburg Marine Assembly

E.A. Konov, Director

JSC Publishing House Mor Vest

G.A. Korzhavin, Scientific Director

JSC Concern Granit-Elektron

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

JSC Armatit

L.G. Kuznetsov, General Designer

JSC Compressor

I.M. Mukhutdinov, General Director

JSC Almaz Shipbuilding Company

G.N. Muru, General Director JSC 51 CDTISR

O.A. Ostapko, General Director

JSC Severnoye Design Bureau

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

I.V. Scherbakov, General Director JSC PDB Petrobalt

V.A. Seredokho, General Director JSC SNSZ

O.V. Shain, General Director LLC DiElCom

K.Yu. Shilov, General Director

JSC Concern SPA Aurora

K.A. Smirnov, General Directors JSC MNS

I.S. Sukhovinsky, Director JSC VINETA

V.S. Tatarsky, General Director JSC ERA

N.M. Vikhrov, General Director

JSC Kanonersky Shiprepairing Yard

M.V. Zakharov, General Director

JSC Pomori-north-west

P.A. Zubkov, General Director MCS LLC

ABSTRACTS

*President of the Russian Federation V. V. Putin visited production
and sports facilities of SPbSMTU* 1

SHIP DESIGN AND CONSTRUCTION

*The design bureau of the USC Almaz was awarded the honorary badge
«For success in work»* 7

S. N. Grechin, N. S. Grigor'ev. Helicopter maintenance systems on ships
of the world's leading countries in comparison with devices for transporting
shipborne helicopters of the Russian Navy. Part 3 9

A. N. Ozerny, D. V. Gorbunov, A. B. Fomichev. Method of research design
of submarine rescue vessels 15

V. Yu. Svetova, A. V. Koshelev. Hopper dredgers: needs, prospects, characteristics.
Part 2 19

P. A. Zubkov, O. V. Zakharova. Methodology for designing ship interiors
using modern software tools 23

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

A. V. Arkhipov, V. A. Evteev, D. V. Kurochkin. World experience of industrial
cooperation in the field of construction of combat surface ships of the OPV,
corvette and frigate classes. Part 1 31

B. V. Grek, Ya. V. Ryabis. No-fit installation technology for equipment of spatial
placement 35

A. V. Borisov, G. B. Korobochkin, A. Yu. Konev, A. I. Funerov, S. A. Ziborov.
Organization of the process of procurement of cable and wire products 41

*The Sredne-Nevisky Shipyard of USC launched the catamarans Gabion
and Fort Shanets* 45

SHIP POWER PLANTS AND THEIR ELEMENTS

V. V. Baranovsky, V. S. Domnin, A. V. Dovlicharova. Experience
of using propulsion systems of modern high-speed boats in the projects
of Almaz CMDB and problems of using civilian components 46

B. Yu. Semyonov. Sectional power supply of electromagnetic processing circuits
in windingless demagnetization systems of ship hull structures 51

A. M. Belov, S. S. Belova. Evaluation of reliability indicators of the injector
system of emergency cooldown of a nuclear reactor 54

B. F. Dmitriev, S. Ya. Galushin, A. Yu. Rozov, I. V. Skudarnova. Three-phase
power factor correctors in autonomous power supply systems of marine vehicles 58

R. R. Khotskiy, L. G. Kuznetsov, A. V. Burakov, A. V. Makshanov, L. N. Tyndykar'.
Technical condition analysis of a marine piston compressor based on variational
mode decomposition and a deep autoencoder 63

Khalyavkin, A. R. Sanzhapov, A. R. Naumchik, A. A. Denisov. Effect
of random loads on the service life of rubber-metal stern tube bearings 70



DESIGN AND TECHNOLOGY OF INSTRUMENT MAKING AND RADIO ELECTRONIC EQUIPMENT

- A. A. Katanovich, K. V. Gol'dibaev, V. A. Tsyvanyuk, A. V. Sorokin.**
Principles of building a modern automated ship communications complex..... 73
- 50 years of scientific and scientific-pedagogical activity of A. A. Katanovich..... 78
- V. S. Fantikov, M. A. Savenok, A. A. Kondidatov.** Development of a shared-use display board for equipping promising integrated bridge systems..... 79
- A. S. Skripka, A. S. Korenev, V. S. Solovey, S. P. Khabarov.** From prototype to certificate: development of angular displacement sensor..... 82
- A. V. Drannikov, S. G. Kozmin, A. V. Isaev.** Hydroacoustic ultra-short-base positioning system for autonomous unmanned underwater vehicles. Part 1..... 84
- L. A. Demchenko, A. S. Sergeev.** Analysis of the characteristics and applicability of NRF24L01 and LORA E32-433T30D modules using ARDUINO UNO..... 88

INFORMATION-MEASURING AND MANAGEMENT SYSTEMS

- O. G. Mal'tsev.** Investigation of the two post ship systems for surface scenery evaluation..... 93
- S. N. Sharov, S. G. Chechurin.** In memory of Yu. F. Podoplyokin..... 99
- O. V. Tret'yakov, M. V. Shebunyaev, P. I. Shchukin, V. A. Fokin.**
One of the approaches to a comprehensive assessment of ships..... 100
- S. L. Il'menkov.** Scattering characteristics of discrete propeller noise components by an underwater vehicle hull model..... 104
- A. E. Vasil'ev, V. D. Kovalev, D. E. Kungurtsev, S. A. Tokarenko, E. S. Blokhina.**
Device for assessing and training ship crew sensorymotor reactions..... 107
- I. I. Shigapov, V. A. Odinaev, V. A. Dolgov.** Neural networks as a tool for processing diagnostic information: state and prospects..... 110
- E. I. Glushankov, K. V. Goldibaev, E. A. Rylov, A. V. Sorokin, E. V. Galuzov.**
Research of modeling methods ionospheric communication channel..... 115
- Yu. S. Azizyan, V. A. Dolgikh.** Conditions for detecting communication security violations in communication networks of a unified military control system..... 118

THE HISTORY OF SHIPBUILDING AND FLEET

- V. N. Polovinkin, S. V. Fedulov, V. E. Rudenko.** Laying of an underwater pipeline to besieged Leningrad..... 119

IN THE MARINE ASSEMBLY

- S. N. Iryutin, V. N. Torba.** The Great Victory – the Chesma Triumph of the Russian Fleet..... 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.

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

D. V. Kazunin, D. Sc.

R. N. Karaev, Ph. D.

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

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

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

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

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

D. V. Nikushchenko, D. Sc.

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

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

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

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

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

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

Editorial staff

Phone/Fax (812) 600 4586

E-mail: morvest@gmail.com

Editor

T. I. 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

ПМ № 77-12047 of 11 march 2002

Founder-Publisher

JSC Publishing House «Mor Vest»

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

The magazine electronic version

is placed on the site LLC «Nauchnaya elektronnyaya biblioteka» www.elibrary.ru and is also included to the Russian index of scientific citing

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

www.perechen.vak2.ed.gov.ru

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

Printed by Sfera JSC

Printing house address 190005, St. Petersburg, Egorova st., 26a, letter B

Circulation 300. Order № 3092

Publication date – 10.09.2025

Catalog price – 675,42 rubles

Authors and advertisers are responsible for contents of information and advertisement materials as well as for use of information not liable to publication in open press.

Reprinting is allowed only with permission of the editorial staff

Государственную награду — почетный знак «За успехи в труде» коллективу Центрального морского конструкторского бюро ОСК «Алмаз» вручил помощник Президента России, председатель Морской коллегии РФ Николай Патрушев. Торжественная церемония состоялась 2 июля 2025 года в стенах бюро.

Почетный знак был присвоен ЦМКБ «Алмаз» в соответствии с Указом Президента Российской Федерации от 1 мая 2025 г. № 274 «О награждении государственными наградами» за трудовые достижения в области разработки уникальных проектов боевых кораблей, судов и вклад в развитие оборонного потенциала России.



Почётный знак «За успехи в труде» с Грамотой о награждении

Открывая церемонию, Николай Патрушев отметил вклад конструкторского бюро ОСК «Алмаз» в укрепление обороноспособности страны и достижение технологического суверенитета. «Ваши достижения впечатляют: по проектам ЦМКБ «Алмаз» построено более 26 тысяч кораблей и судов. Эти легендарные корабли и высокотехнологичные суда, которые стали символом российского судостроения, несут службу в составе Военно-Морского Флота России на Северном, Балтийском, Черноморском, Тихоокеанском флотах и в Каспийской флотилии», — подчеркнул помощник Президента.

Коллектив конструкторского бюро также поздравили Главнокомандующий ВМФ России адмирал Александр Моисеев, представители администрации Санкт-Петербурга и руководство Объединенной судостроительной корпорации, отметившие инновационные и новейшие цифровые подходы конструкторского бюро ОСК «Алмаз» к разработке проектов кораблей и судов и их значимость в масштабах региона и страны.

Кроме лидерства в военном кораблестроении, ЦМКБ «Алмаз» ОСК успешно реализует задачи арктической повестки, проектируя суда высоких ледовых классов вплоть до Arc7. Также бюро разрабатывает научно-исследовательские суда, предназначенные для выполнения государственных задач по исследованию и освоению Мирового океана

КОНСТРУКТОРСКОЕ БЮРО ОСК «АЛМАЗ» УДОСТОЕНО ПОЧЕТНОГО ЗНАКА «ЗА УСПЕХИ В ТРУДЕ»

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

и Арктики. Будучи участником Индустриального центра компетенций «Судостроение», бюро участвует в разработке особо значимого проекта — судостроительной системы автоматизированного проектирования (САПР) тяжелого класса. Специалисты конструкторского бюро ОСК «Алмаз» также идут в авангарде создания дноуглубительного флота России.

В ходе мероприятия почетные гости церемонии ознакомились с экспозицией моделей кораблей и судов, созданных по проектам конструкторского бюро ОСК «Алмаз».

Справка об АО «ЦМКБ «Алмаз»: Акционерное общество «Центральное морское конструкторское бюро «Алмаз» — российский лидер в проектировании скоростных, противоминных и патрульных кораблей и катеров, корветов, десантных и патрульных кораблей на воздушной подушке, научно-исследовательских и спасательных судов, судов специального назначения, транспортных и пассажирских судов, судов для Арктики и плавучих доков.

По проектам бюро построено более 26 тысяч кораблей и судов, эксплуатирующихся в 40 странах мира.

ЦМКБ «Алмаз» — конструкторское бюро полного цикла, обладающее уникальными техническими решениями проектов судов всех принципов движения и всех типов энергетических установок. При создании проектов применяются самые передовые конструкторские идеи и ноу-хау; в проектах кораблей и судов используются новейшие материалы, в том числе композиционные.

Бюро реализует глубоко научный всесторонний подход к разработкам, учитывающий все современные тренды науки и техники. Квалификационный состав бюро насчитывает восемь докторов наук, 23 кандидата наук; в бюро создан свой Диссертационный совет; на базе ЦМКБ «Алмаз» работают студенческие конструкторские бюро ведущих вузов морской направленности.

Основано в 1949 г. Входит в Объединенную судостроительную корпорацию.

В 2009 г. заслуги трудового коллектива ЦМКБ «Алмаз» были отмечены Благодарностью Президента Российской Федерации. ■



Генеральный директор ЦМКБ «Алмаз» К. Г. Голубев знакомит Н. П. Патрушева и А. А. Моисеева с перспективными проектами бюро

В отечественном кораблестроении данные системы получили название устройств транспортировки (УТ) корабельного вертолета.

Исторически эксплуатация отечественного флота проходит преимущественно в суровых условиях арктического и субарктического климатического пояса, где располагаются основные базы Северного и Тихоокеанского флотов ВМФ РФ и проходят важные морские маршруты, соединяющие разные концы страны. Корабли ВМФ СССР и правопреемника – ВМФ РФ должны выполнять боевые задачи по защите рубежей Родины в любых, даже самых суровых климатических условиях, в первую очередь в суровых зимних условиях при температурах воздуха до -45°C . Поэтому УТ на кораблях ВМФ РФ имеют траверсную или лебедочно-тросовую конструкцию как наиболее защищенную от обледенения.

Удержание и закрепление при посадке обеспечивается посадочной сеткой, растягиваемой по всей площади ВППл. Сетка состоит из толстых прочных канатов, выполненных из растительных волокон. Она придает сцепление колесам вертолета с поверхностью палубы и тем самым предохраняет вертолет от скольжения.

Посадочная сетка не может защитить вертолет от опрокидывания при сильном волнении моря и боковом ветре сразу после его посадки в тот ограниченный промежуток времени до его швартовки к палубе корабля, в отличие от гарпунной системы, применяемой в западных странах.

Швартовка вертолета осуществляется силами экипажа сразу после посадки. К сведению, на многих системах обслуживания с гарпунным палубным замком швартовка вертолета также осуществляется силами экипажа после его закрепления при сложных погодных условиях и сильном волнении моря.

ВМФ РФ на настоящий момент эксплуатирует морские вертолеты двух типов: Ка-27 и Ка-29. Завершаются испытания вертолета Ка-52К, который находится на стадии подготовки к серийному производству. Все морские вертолеты ВМФ РФ имеют соосное расположение двух несущих винтов без хвостового рулевого винта. Такая схема позволяет добиться компактных габаритных размеров (небольшой диаметр несущих винтов, уменьшенная длина хвостовой части), а симметричность основной схемы дает возможность взлетать и садиться с ограниченных площадок при любых направлениях ветра и больших его скоростях. Конструкция шасси вертолетов Ка-27 и Ка-29 одина-

ВЕРТОЛЕТНЫЕ ОБСЛУЖИВАЮЩИЕ СИСТЕМЫ НА КОРАБЛЯХ ВЕДУЩИХ СТРАН МИРА В СРАВНЕНИИ С УСТРОЙСТВАМИ ТРАНСПОРТИРОВКИ КОРАБЕЛЬНЫХ ВЕРТОЛЕТОВ ВМФ РФ ЧАСТЬ 3*

С.Н. Гречин, начальник отдела,
Н.С. Григорьев, инженер-конструктор 1-й категории,
ЗАО «ЦНИИ СМ»,
контакт. тел. (812) 640 1052, sudmash@sudmash.ru

кова: два поворотных самоориентирующихся колеса передних стоек носовой стойки шасси и два разнесенных колеса основных стоек шасси в кормовой части. Шасси разработаны специально для посадки (взлета) на качающуюся палубу и несут в себе однокамерные газомасляные амортизаторы с механизмом подъема и опускания.

Механизмов, обеспечивающих закрепление и удержание на ВППл, на данных вертолетах нет. Парк вертолетной техники был унаследован от ВМФ СССР и не претерпевал с тех пор существенных технических изменений.

Корабли ВМФ стран Запада, Северо-Атлантического блока НАТО, стран Юго-Восточной Азии и Южной Америки всегда были нацелены на действия преимущественно в теплых водах Атлантического, Тихого, Индийского океанов или Средиземного моря. Поэтому они не сталкиваются с проблемами обледенения палубных устройств и механизмов. В связи с этим у них исторически получили развитие рельсовые системы и более сложные системы закрепления и удержания вертолета при посадке.

На кораблях ВМС США и Канады используется преимущественно система закрепления, основанная на зонде, в основном входящая в оснащение вертолетов корпорации Sikorsky. На кораблях стран Европы распространена система с гарпунным палубным замком и посадочной решеткой, входящая в оснащение вертолетов европейского концерна Airbus и итальянского холдинга Leonardo.

Морские вертолеты «Super Lynx 300» производства англо-итальянской компании AgustaWestland (входит в холдинг Leonardo) способны несущим винтом создавать отрицательный шаг в 1360 кгс для прижима вертолета к палубе, обеспечивая удержание его на палубе без системы закрепления. Вертолеты выполнены по классической схеме с рулевым хвостовым винтом.

* Продолжение. Часть 1 – см. «Морской вестник», 2024, №4(92),
часть 2 – см. «Морской вестник», 2025, №1(93).

УСТРОЙСТВО ТРАНСПОРТИРОВКИ КОРАБЕЛЬНОГО ВЕРТОЛЕТА ДЛЯ КОРАБЛЕЙ ПР. 11711

УТ для БДК пр. 11711 – это лебедочно-тросовая система, разработанная ЗАО «ЦНИИ СМ», представляет собой дальнейшее развитие УТ, разработанных для кораблей пр. 20380 и 22350 (рис. 37).

Основным отличием УТ от системы «TRIGON» является использование двух тяговых гидравлических лебедок, расположенных в ангаре, вместо трех.

Система крепления к вертолету представлена устройством буксировочным, которое способно менять свою форму, адаптируясь к системе амортизации вертолета.

Сначала на вертолет закрепляются устройства из средств технического обслуживания (СТО) вертолета. Это устройство для ручного поворота колес передних стоек шасси (водило) и два адаптера для крепления вертолета к буксировочному устройству УТ. Каждый из адаптеров состоит из штифта с оконечностью шаровой формы, соединяемого через одну штангу с шасси и через две штанги с фюзеляжем вертолета.

На устройстве буксировки есть захваты для крепления его к шаровым концам штифтов адаптеров. Сами захваты расположены на штангах устройства. Штанги на шарнирах крепятся к тележке с колесами и петлей для гака троса. Тележка располагается между передними стойками шасси вертолета. В задней части устройства через карабины, расположенные на захватах штанг, перекинут трос, на котором свободно перемещается одношківный блок в обойме с петлей для гака каната лебедки. Гаки канатов лебедок крепятся к петлям буксировочного устройства в передней и задней части вертолета.

Выравнивание вертолета осуществляется методом последовательных операций по перетрассировке канатов

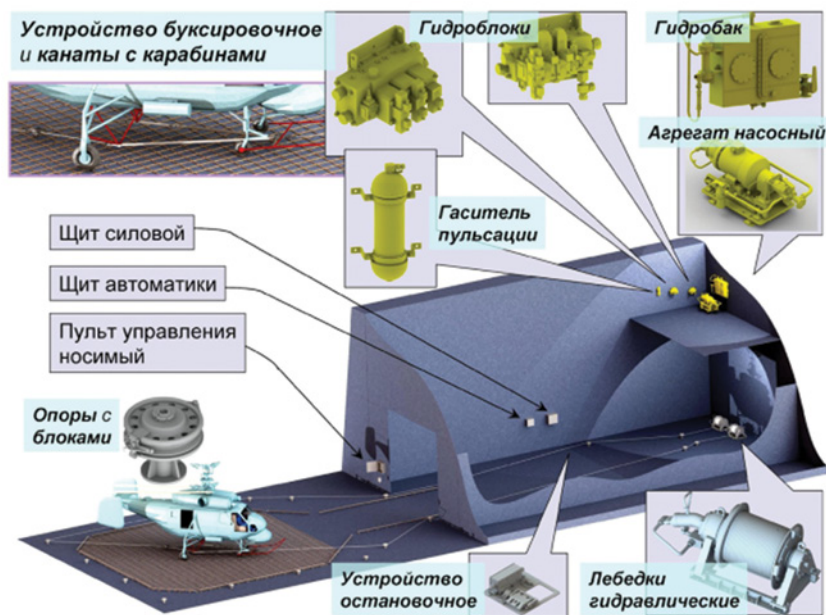


Рис. 37. Универсальная схема устройства транспортировки корабельного вертолета разработки ЗАО «ЦНИИ СМ»

URL: <https://magnet.me/en-GB/company/ampelmann> (дата обращения 20.07.2021).

лебедок через блоки, расположенные по периметру ВППл, и перемещениями вертолета вперед-назад так, чтобы угол между проекциями линии выравнивания и продольной оси вертолета на ВППл не превышал 25° . Перед каждым изменением трассы канатов вертолет необходимо швартовать к палубе для предотвращения его скольжения и опрокидывания в условиях воздействия ветра и качки от волнения моря.

Механизм растяжки-натяжения канатов во время работы УТ при транспортировке и маневрировании вертолета для удержания его от опрокидывания и скольжения реализован в системах гидравлики без применения сложных систем цифрового управления. Это дает преимущества в отказоустойчивости, которыми не обладают системы с электронным управлением. Таким образом, обе лебедки могут переключаться в режим одерживания троса, подобно ограничителям в траверсных системах, о которых шла речь выше. Гидромотор каждой из лебедок при переходе в режим одерживания работает в единой гидросистеме, как насос.

Вместо блоков с вертлюгом, закрепляемым на палубных петлях, как на рис. 12, в УТ используются блоки на стационарных и съемных опорах. В первом случае опоры привариваются к палубе, во втором крепятся на болтах. Конструкция блока обеспечивает расположение его шкива на таком расстоянии от палубы, чтобы трассы канатов лебедок пролегли, не задевая «посадочную сетку» и брусья ограждения.

В настоящий момент создан доработанный проект УТ для кораблей пр. 11711, начиная с заказа 3.

При доработке проекта были введены следующие усовершенствования:

1. Разработан новый насосный агрегат с более тонкой настройкой подачи и давления для системы гидравлики, обеспечивающей наиболее плавную транспортировку ЛАК с заданными скоростями.

2. В систему гидравлики добавлен гаситель пульсации на основе пневмогидроаккумулятора, который повышает надежность УТ, обеспечивая гарантированное сохранение натяжения в канатах и удержание вертолета от опрокидывания и скольжения по палубе в случае обесточивания УТ. Давление в гидравлическом контуре сохраняется достаточное время для того, чтобы тормоза лебедок успели сработать и вертолет удерживался на палубе до устранения всех неисправностей.

3. Гидросистема УТ дополнена автоматикой, назначение которой – дать команду на остановку системы и зафиксировать натяжение в транспортировочных тросах, когда будет нарушена герметичность системы гидравлики.

4. Добавлена функция сброса аварийного ЛАК, для чего разработаны блоки с самоориентирующимся углом наклона плоскости ручья шкива относительно палубы.

5. Проект системы переделан под работу сразу на два вертолетных ангара и на две посадочные площадки.

6. В составе комплекса применены новые лебедки с увеличенной втрое канатоемкостью, оснащенные канатоукладчиками. При этом за счет использования редукторной схемы с более компактной волновой передачей сохранены массогабаритные характеристики.

7. В связи с растущими потребностями флота по эксплуатации в тропических регионах усовершенствована система охлаждения гидравлики комплекса.

8. Под работу на два ангара переработаны алгоритмы управления комплексом, разработаны новая автоматика и пульта управления.

9. Модернизированы блоки гидравлики, применена гидроаппаратура с улучшенными характеристиками по стойкости к воздействию климатических факторов.

10. Упрощена схема управления переходом с нормальной скорости транспортировки на повышенную.

11. Принят комплекс дополнительных мер по повышению коррозионной стойкости узлов палубного размещения.

На кораблях пр. 11711 предусмотрено использование ударных вертолетов для поддержки десантных операций. Особенность ударного вертолета по сравнению с противолодочным – в том, что он является носителем неуправляемых авиационных ракет (реактивных снарядов), поэтому правила предписывают сажать его на ВППл под углом не менее 45° к ДП корабля, чтобы избежать случайного пуска ракеты по надстройке БДК.

Противолодочные вертолеты сажают на ВППл, стремясь добиться как можно более параллельного положения продольной плоскости ЛАК к ДП корабля. Данная особенность не позволяет гипотетически использовать ни одну из ныне существующих рельсовых систем, так как нештатная посадка на ВППл на кораблях пр. 11711 возможна и под углом 90° к ДП. При такой нештатной посадке выровнять вертолет на линию ВППл–ангар можно только с помощью тросов, пропущенных через систему блоков, как это и реализовано на практике.

Управление УТ для кораблей пр. 11711 осуществляется с помощью переносного (носимого) пульта, соединенного кабелем с системой УТ, достаточным чтобы сопровождать вертолет на всем протяжении от ВППл до ангара и обратно.

ДАЛЬНЕЙШИЕ ПУТИ РАЗВИТИЯ СИСТЕМ ТРАНСПОРТИРОВКИ ЛАК

Траверсная система остается наиболее универсальной и подходящей для сложных условий эксплуатации, а также для вертолетов многих других типов. При использовании вертолетов других типов, у которых шасси расположены иначе, применяться будет иное устройство сцепления с вертолетом – буксировочное.

Трехлебедочная система создавалась главным образом для вертолетов, рассчитанных на возможность выравнива-

ния вращением вокруг точки закрепления гарпунного палубного замка с палубной посадочной решеткой. На таких вертолетах пара колес единой передней стойки шасси, как правило, поворачивается на 90°. Также подходит вариант и с единой самоориентирующейся хвостовой стойкой шасси, поворачивающейся на 90°. Если у вертолета четыре опоры стоек шасси (две передние и две задние), то может потребоваться выравнивание в несколько этапов с изменением трассы канатов лебедок.

Трехлебедочная траверсная система с двумя кормовыми лебедками под палубой обладает преимуществом в скорости выравнивания вертолетов с едиными стойками шасси на носу или в хвосте по сравнению с двухлебедочной системой ЗАО «ЦНИИ СМ». На больших углах отклонения продольной плоскости вертолета от плоскости линии транспортировки ВППл-ангар, параллельной ДП корабля, возникают высокие нагрузки на фюзеляж вертолета и повышенное трение колес о палубу. Если вертолет рассчитан на подобные нагрузки и трение, то проблем не возникнет.

Двухлебедочная система ЗАО «ЦНИИ СМ» рассчитана на работу с отечественными вертолетами, не обладающими едиными передней или задней стойками шасси. Передние стойки шасси вертолетов Ка-27 и Ка-29 представлены двумя отдельными опорами, не рассчитаны на разворот вокруг центра масс и не оборудованы системами закрепления при посадке. Посадочная сетка создает высокий коэффициент трения с колесами шасси. Выравнивание вертолетов на ВППл осуществляется последовательными перемещениями вперед-назад с совместным поворотом носовых шасси водилом, когда векторы тяги приложены близко к центру масс вертолета, а проекции их на ВППл образуют углы с проекцией продольной оси фюзеляжа на ВППл, не превышающие 25°. Для этих операций достаточно и двух лебедок.

Отсутствие системы закрепления при посадке по типу гарпунного палубного замка на кораблях ВМФ вынуждает швартовать вертолет после каждого из последовательных этапов промежуточного выравнивания, когда требуется изменить трассы канатов для последующей операции. Все это дополнительно увеличивает время пребывания личного состава из команды корабля на палубе и общее время, затрачиваемое на выравнивание вертолета.

Для трехлебедочной системы есть выигрыш в канатоемкости лебедок, но если у двухлебедочной системы разместить одну лебедку под палубой на корме, а другую в ангаре, то выигрыш в канатоемкости перестанет быть очевидным.

Трехлебедочная компоновка обеспечивает более устойчивую транспортировку вертолета по линии ВППл-ангар в ангар и обратно. На заказах проектов 20380, 22350 и 11711 это обеспечивают брусья ограждения на всем пути транспортировки, поэтому и здесь преимущества этой системы нивелируются.

На траверсной системе компании BADA (см. рис. 14) лебедки имеют применение барабаны большого диаметра с высокими ребордами, малой длины (без канатоукладчика). На УТ пр. 22350 разработки ЗАО «ЦНИИ СМ», одна из лебедок с длинным барабаном размещена под палубой на корме и снабжена канатоукладчиком. Вариант лебедок с узким барабаном большого диаметра и ребордами при отсутствии строгих ограничений по высоте может быть предпочтительнее ввиду большей ремонтопригодности и простоты. Также барабан большого диаметра дает преимущество в сохранении примерно равным усилия натяжения в канате при переходе с одного слоя на другой.

Компания Curtiss-Wright's INDAL приводит для своих рельсовых систем следующие эксплуатационные ограничения: волнение моря 5–6 баллов, 30° наблюдаемый крен и 10° наблюдаемый дифферент. Это более чем в два раза превышает допустимые ограничения для траверсных систем, разработанных ЗАО «ЦНИИ СМ»: килевой – 4° и бортовой – 12,5°. Данные показатели достигаются в том числе за счет систем закрепления и удержания при посадке, которыми оборудованы ЛАК.

Если стремиться к максимальной автоматизации с целью исключения нахождения экипажа на палубе, то лучше рельсовых систем по типу ASIST и TC-ASIST ничего не придумано. Однако опыт эксплуатации данных систем недостаточен, и требуется разработка не только самого комплекса, но и новых ЛАК, приспособленных для работы с такими устройствами.

Рельсовые системы менее надежны, чем траверсные. Тележка представляет собой сложный комплекс устройств, выход из строя любого из которых приведет к отказу всего устройства транспортировки, а ремонт в условиях похода будет либо затруднен, либо невозможен. Лебедка как основной элемент траверсной системы и система блоков – это многократно испытанные конструкции, подтвердившие надежность в течение десятилетия эксплуатации на флоте.

Рельсовая система мешает размещению других систем под палубой корабля, в частности, системы подачи авиационного боезапаса для противолодочных вертолетов.

Ведущие конструкторские бюро по проектированию кораблей для во-

енно-морского флота при разработке новых проектов не предусматривают размещение каких-либо систем в корпусных конструкциях под палубой, а в кормовом подпалубном пространстве нет мест для размещения оборудования вспомогательных судовых систем, к которым относятся УТ.

Существующие рельсовые системы не обеспечивают выравнивание вертолета при больших углах отклонения продольной плоскости вертолета от плоскости линии транспортировки ВППл-ангар, параллельной ДП. Они нуждаются в как можно более штатной посадке вертолета на палубу и поэтому работают в связке с оптико-электронными системами помощи посадке.

При рельсовой системе в конструкции вертолеты должны быть заложено использование систем закрепления и удержания, подобных зонду или гарпуну.

С каждым годом требования к автоматизации и переходу к концепции электрического корабля все возрастают. Чтобы этого добиться, для автоматизации УТ нужна новая компонентная база, включающая в себя:

- оптико-электронные системы;
- радиоаппаратуру;
- актуаторы и другие электрические исполнительные механизмы;
- контроллеры;
- системы частотного регулирования.

Все это оборудование должно проходить военную приемку, соответствовать требованиям по защите от взрывов, от морской воды и от воздействия электромагнитного излучения. Должна быть исследована устойчивость от комплексного воздействия всех этих факторов, в том числе при применении систем радиоэлектронной борьбы. В подобных исследованиях и разработке должны участвовать проектанты корабля, корабельных ЛА и УТ.

Немаловажным являются исследования радиоэлектронной заметности корабля с переходом к новым конструкциям в УТ. В настоящий момент исключить работу экипажа на палубе при обслуживании вертолетов на судах ВМФ РФ не представляется возможным. Безопасность экипажа можно увеличить с помощью совершенствования правил эксплуатации и обслуживания корабельных вертолетов, разработки новых систем страховки операторов УТ от падения за борт при неблагоприятных погодных условиях (например, страховочных тросов, как в альпинистском снаряжении).

Наиболее перспективным путем развития УТ на отечественном флоте в настоящий момент является совершенствование траверсной системы транспортировки.

В ЗАО «ЦНИИ СМ» прорабатываются конструкции с переходом от гид-

равлических приводов к электрическим. Один из путей – это оставить классическую универсальную схему, заменив гидроприводы лебедок, в качестве которых используются гидромоторы, на асинхронные электродвигатели с частотным регулированием, благодаря которому предполагается создавать растяжение в канатах для удержания вертолета. Сохранение растяжки при аварийном обесточивании системы можно обеспечить с помощью источника бесперебойного питания с аккумуляторной батареей так, чтобы после потери электропитания системами УТ электродвигатели лебедок могли завершить нормальный цикл остановки с наложением тормозов.

Прорабатываются и другие схемы траверсных систем, отличных от существующих [10]. Так, предлагаются схемы УТ, в которых функция натяжения каната, закрепляемого на устройстве буксировки и функция перемещения вертолета разделены и возложены на разные механизмы. Такие схемы позволяют избежать использования аккумулятора для обеспечения сохранения растяжения в канатах, удерживающих ЛАК, в случае аварийного обесточивания системы. Механизм натяжения будет работать только тогда, когда ЛАК ошвартован и защищен от скольжения и опрокидывания. После того как механизм создаст растяжение, он стопорится и не участвует в дальнейших операциях. Растяжка сохранится даже после потери электропитания. Необходимо только предусмотреть механизм ручного снятия растяжения в канатах.

Однако при работе УТ неизбежно возникнет эффект растяжения каната, и величина натяжения каната упадет. В этом случае, если натяжение в канатах не будет уменьшаться ниже допустимого, можно допустить плавающие значения силы натяжения в определенном диапазоне. Если расчетное значение падения силы натяжения будет происходить ниже расчетного допустимого предела, то придется предусмотреть в УТ автоматическую систему слежения за величиной силы натяжения в тросах и периодически ее поддерживать.

В этом случае для того, чтобы аварийное обесточивание системы не приводило к аварийной ситуации с потерей натяжения в тросе, необходимо использовать в приводах и редукторах саморазматывающиеся передачи – винтовую или червячную.

1. Наиболее интересной представляется схема с замкнутой тросовой системой, где используются электроприводная лебедка с турачкой и электроприводной механизм натяжения. Трос обвивает барабан лебедки с турачкой одной или двумя петлями навивки. Концы троса закреплены на противоположных петлях «устройства буксировки». Трос

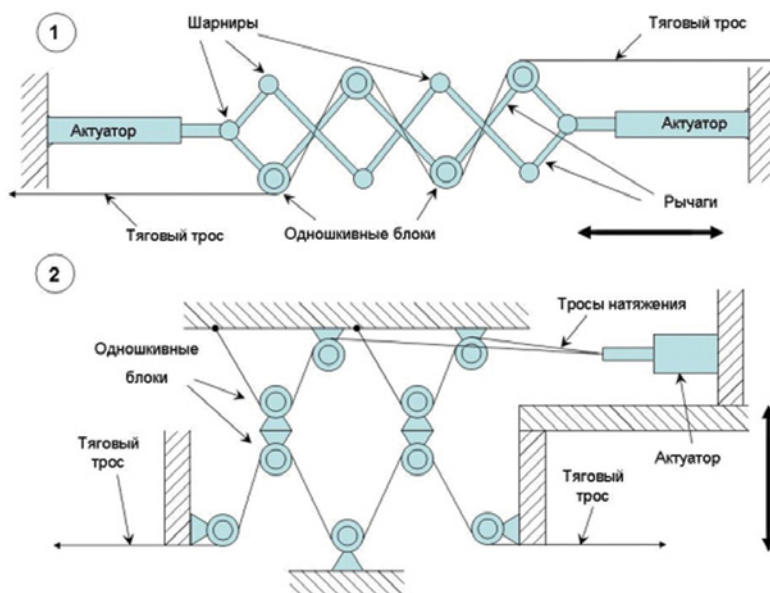


Рис. 38. Возможные схемы механизма натяжения и регулирования длины троса

также пропущен через трассировочные блоки и устройство натяжения.

В опорах блоков до и после устройства натяжения размещаются датчики натяжения троса.

Главная проблема данной схемы состоит в том, что необходимо каким-то образом изменять длину каната для изменения его трассировки. Это нужно для выравнивания вертолета на ВППл. Механизм натяжения должен обеспечивать как натяжение, так и регулировку длины троса. На рис. 38 показаны возможные схемы такого механизма.

Данный механизм может оказаться слишком габаритным, особенно если на корабле будет не одна ВППл. Большинство линейных актуаторов имеют винтовой привод и могут поддерживать требуемое натяжение в тросовой системе, сохраняя его при аварийном обесточивании.

Непростыми будут операции по подготовке к работе УТ и завершению его работы. После завершения работы УТ трос можно будет намотать на лебедку с турачкой, если ее барабана хватит, но это более трудоемкий процесс, нежели работа с обычными лебедками, особенно учитывая наличие механизма натяжения и регулирования длины троса. Трос нужно либо снять с механизма полностью, либо оставить один конец пропущенным через механизм и закрепленным по-походному на выходе из него.

Растаскивание вытравливаемых концов канатов с двух лебедок – простая задача, которую могут выполнить два оператора УТ, используя свою мускульную силу при подготовке к работе с вертолетом. Для растаскивания троса, пропущенного через механизм натяжения и регулирования длины, может потребоваться больше усилий. Прокладка трассы каната с учетом навивки на ле-

бедку с турачкой и наличия механизма регулирования длины – более трудоемкий процесс. Это совершенно точно займет больше времени.

Если длина транспортировки будет слишком велика и барабана лебедки с турачкой не хватит, часть каната можно хранить под палубой, при прокладке для него трассы.

2. Рассматривается также схема с двумя лебедками, одна из них оборудована электродвигателем с тормозом, а другая – еще и турачкой и расположена на устройстве буксировки. Конец троса крепится в кормовой части палубы корабля и обвивает барабан лебедки с турачкой, расположенной на буксировочном устройстве.

Лебедка в ангаре служит для регулировки длины троса и натяжения тросовой системы. На барабане лебедки закрепляется другой конец троса. Лебедка выбирает неиспользуемую длину троса и растягивает тросовую систему до нужной величины. Срабатывает тормоз, и натяжение держится до тех пор, пока не поступит команда на работу лебедкой.

Если понадобится периодически поддерживать силу натяжения в тросе, то в процессе работы УТ может возникнуть необходимость включения в работу лебедки, находящейся в ангаре. Тогда данная лебедка должна быть с червячным редуктором, что позволит избежать потери силы натяжения в тросе при аварийном обесточивании УТ.

Перемещение вертолета осуществляется лебедкой с турачкой вместе с буксировочным устройством, находящимся в зацеплении с вертолетом.

Однако при этом трудно разместить силовую лебедку на устройстве буксировки. Место под вертолетом ограничено. Лебедка на устройстве буксировки будет мешать размещению на ЛАК на-

весного оборудования. Устройство буксировки для вертолетов Ка-27 и Ка-29 спроектировано изначально так, чтобы оно могло менять форму, поскольку стойки шасси вертолетов амортизированы и способны менять высоту подъема фюзеляжа вертолета над палубой. Крепление устройства буксировки осуществляется через шаровые концы штифтов в количестве двух штук, каждый из которых соединен тремя штангами с вертолетом. Одна штанга соединена со стойкой шасси, а две другие – с фюзеляжем вертолета. Система крепления разработана конструкторским бюро «Камов» и рассчитана на эксплуатацию именно с вертолетами данных типов.

Устройство буксировки ныне существующей универсальной схемы УТ может разбираться и легко раскрепляться на стенке в ангаре, не загромождая пространство. Если на устройстве размещать силовую лебедку, то подобный вариант компактного хранения невозможен. Не ясно, возможен ли в принципе перенос подобного устройства к вертолету, так как если оно будет неразборным, то либо займет дополнительное пространство в ангаре, либо будет постоянно находиться в зацеплении с вертолетом, стоящим в нем. Таким образом, для ангара с двумя параллельно стоящими вертолетами понадобится два устройства буксировки.

Силовой питающий кабель к приводу лебедки на устройстве буксировки вовремя работы УТ будет находиться на палубе и мешать выравниванию и транспортировке, если не предусмотреть пружинный кабельный барабан или иную систему укладки кабеля.

3. Схема УТ с электроприводами (рис. 39).

Пусть в ней будут две тяговые лебедки с электроприводом, но с классическим планетарным редуктором. На тележке устройства буксировочного размещается роликовый барабан с колодочным тормозом. Колодку прижимает к барабану пружина сжатия. В передней части устройства буксировки пружина сжатия соединена с петлей для гака лебедки так, чтобы при приложении к ней тягового усилия она отжимала колодку и высвобождала роликовый барабан. В задней части устройства другая петля также соединена с пружинной колодкой только через рычажную или канатную систему.

По периметру ВППл расположены опоры с блоками, рядом с которыми на палубе размещены петли либо петли и блоки в едином узле. После каждой из лебедок устанавливаются простые механизмы натяжения троса, где применяется линейный актуатор с винтовым приводом. Шток актуатора соединен с одношківным блоком. Еще два блока

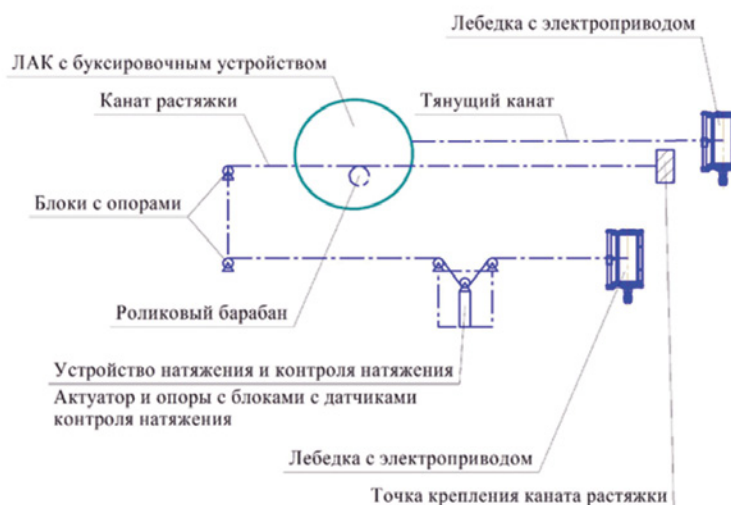


Рис. 39. Вариант альтернативной схемы УТ с использованием электроприводов

располагаются на входе и выходе из механизма натяжения (в их опорах расположены датчики натяжения). Перед началом работы с УТ канаты закреплены на выходе из механизмов натяжения.

Принцип работы заключается в том, что одна из лебедок служит для удержания вертолета. Ее канат через систему блоков подводится к устройству буксировки и навивается на роликовый барабан на нем. Затем трос раскрепляется в петле своим концом позади вертолета (либо впереди вертолета). Трос второй лебедки через систему блоков подводится к устройству буксировки и крепится на петле тележки этого устройства. Во второй лебедке создается усилие, она отжимает пружину и высвобождает роликовый барабан. Затем первая лебедка натягивает трос и тормозится. Механизм натяжения через датчики в опорах блоков контролирует силу натяжения в тросе первой лебедки с помощью актуатора. С вертолета можно снять швартовы.

Работу с УТ можно продолжить, создавая тянущее усилие канатом второй лебедки. Механизм натяжения, располагаемый после этой лебедки, бездействует, пока она не станет использоваться в качестве лебедки натяжения.

Возможно, функция смены ролей лебедок лишняя и механизм натяжения потребует всего один. Предполагается, что канаты лебедок будут подводиться к устройству буксировки с противоположных сторон и находиться рядом друг с другом, не перекрещиваясь.

В данной схеме не нужна лебедка с турочкой на буксировочном устройстве, нет необходимости питания приводов на буксировочном устройстве, наличия редукторов с червячной передачей, механизма регулировки длины трос и источника бесперебойного питания.

- Недостатки предложенной схемы:
- увеличение габаритов устройства буксировки, что может ухудшить его эргономику и возможность размещения его под вертолетом;
 - необходимость защиты подшипников и пружин от морской воды;
 - сложный механизм стопора ЛАК в случае аварийного обесточивания УТ;
 - усложнение схемы трассировки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сегодня анализируются пути совершенствования существующих схем УТ ЛАК, а также рассматриваются альтернативные схемы УТ, в том числе для подключения всех его механизмов к электроприводу, применение которого дает выигрыш в габаритах узлов, повышении их надежности и обеспечении модульности устройства в целом. Для того чтобы выбрать правильное решение, необходимо изыскать возможности для исследований и проверок решений в опытных установках и на стендах.

Эксплуатационные характеристики УТ большинства существующих проектов можно улучшить заменой опор с блоками по периметру ВППл на рельсы, не встраиваемые в палубу, а монти-

руемые поверх палубы. На рельсе при этом устанавливаются тележки-кареетки с направляющим блоком для тросов лебедок и располагаются отверстия для стопорения тележек расположенными на них стопорными механизмами. Это позволяет сделать схему выравнивания вертолета более адаптивной к настройке при любой нештатной посадке, а также сократить время подготовки УТ к работе и уменьшить место для хранения элементов УТ, когда оно не используется.

Подобная схема с тележками на рельсах была опробована и успешно испытана на фрегате пр. 22350.

ПАТЕНТЫ

1. Патент US3303807 (США). Устройство быстрого закрепления вертолета/*Гордон Стюарт Уильям* (Галифакс, Новая Шотландия, Канада), *Бакен Асбери* (Дартмут, Новая Шотландия, Канада); правопреемник Canadian Patents and Development, Limited (Оттава, Онтарио, Канада). Заявл. 06.10.1964; опубл. 14.02.1967. Сер. № 404374; приоритет 18.10.1963, Appl. № 887011 (Канада). – 30 с.
2. Патент EP0227229A1 (Европейское патентное ведомство), МПК В64F 1/12. Система быстрого закрепления и перемещения вертолета/*Песандо Марио, Вельман Борис*, Indal Technologies Inc. (Миссиссога, Канада). Заявл. 10.10.1986; опубл. 01.07.1987, Бюл. 87/27. – 22 с.
3. Патент US5123615 (США), МПК В64F 1/20. Системы и компоненты полезные в десантных летательных аппаратах/*Вазнер Николас Л., Канлифф Джеффри*; правопреемник Indal Technologies Inc. (Миссиссога, Канада). Заявл. 29.04.1991; опубл. 23.01.1992, Appl. № 701292–31 с.
4. Патент EP0857544A2 (Европейское патентное ведомство), МПК В25В 1/24. Удерживающее устройство для заготовок/*Майнтроп Хьюберт В., Швок Стефан* (Штутгарт, Германия); заявитель Matrix GmbH, Spannsysteme und Produktionsautomatisierung (Штутгарт, Германия). Заявл. 27.01.1998; опубл. 12.08.1998, Бюлл. 1998/33–13 с.
5. Патент US4319722 (США), МПК В64F 1/22, В64F 1/12. Траверса и компоненты для нее/*Песандо Марио* (Миссиссога, Онтарио, Канада). Заявл. 07.05.1979; опубл. 16.03.1982, Appl. № 36850–54 с.
6. Патент US20170057626A1 (США), МПК В64С 25/68 (2006.01), В64F 1/2 (2006.01). Зондовые узлы для системы закрепления летательных аппаратов/*Тимоти Ф. Ландер* (Оксфорд, Коннектикут, США); заявитель Sikorsky Aircraft Corporation (Стратфорд, Коннектикут, США); заявл. 24.08.2016; опубл. 02.03.2017, Appl. № 15/246,220–11 с.
7. Патент FR3056552B1 (Французская Республика), МПК В64С 25/32 (2017.01), В64F 1/12. Наружный якорный гарпун для вертолета/*Бистуэр Оливье, Рено Жан Поль, Гарсин Патрис и Пруденс Лакруа Пьер*; заявитель AIRBUS HELICOPTERS – FR. Заявл. 30.03.18. Бюлл. 18/13; опубл. 31.08.18. Бюлл. 18/35–43 с.
8. Патент WO2010145638A1 (Всемирная

организация интеллектуальной собственности), МПК В64F 1/12 (2006.01) Транспортировочная система летательного аппарата/*Берг Вилберт Ван ден, Шалкс Мартен* (Нидерланды); заявитель ROBERT BOSCH GMBH (Штутгарт, Германия). Заявл. 09.06.2010; опубл. 23.12.2010. Бюлл. РСТ/DE20 10/000650. – 35 с.

ЛИТЕРАТУРА

1. Langlois R., Keary P. Methodology for ensuring safety of an embarked helicopter securing system probe installation. – [Электронный ресурс]. – URL: https://s2.q4cdn.com/767595508/files/doc_downloads/indal/rast/6Methodology-ensuring-Safety-Embarked-Helicopter-Securing-System-white-paper.pdf (дата обращения 01.06.2021).
2. La Rosa Michael. Mechanical Engineer James McCallum, Director of Engineering. Simulation Tools Used in the Analysis of Aircraft Handling Systems for Safe Embarked Operation. – [Электронный ресурс]. – URL: https://s2.q4cdn.com/767595508/files/doc_downloads/indal/modeling/18Simulation-Tools-Used-Analysis-Aircraft-Handling-Systems-white-paper.pdf (дата обращения 02.06.2021).
3. Commander Johnson. RAST MK HI A New-Generation Helicopter Handling System// Maritime Engineering Journal. – 1989. – September. – С. 6–10. – [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.cntha.ca/static/documents/mej/mej-20.pdf> (дата обращения 02.06.2021).
4. Feldman Amanda R., Eng B. Carleton University. Development of an Experimental Aircraft/Ship Dynamic Interface Analysis Motion Facility for the Investigation of Helicopter Manoeuvring. – [Электронный ресурс]. – URL: https://curve.carleton.ca/system/files/etd/9bb31878-25ff-45b6-9d20-557f99113480/etd_pdf/74c904e142beddd3672ed6fc736d3369/feldman-developmentofanexperimentalaircraftshipdynamic.pdf (дата обращения 12.06.2021).
5. Donaldson Peter. Clean Landing. Arresting Gear and Landing Aids for Helicopters// NAVAL FORCES. – 2018. – №5. – С. 43–45. – [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.monch.com/mpg/ebooks/naval-forces/2018/05vnsj4r7/mobile/index.html#p=96> (дата обращения 05.06.2021).
6. Безопасность взлета и посадки корабельных вертолетов. – Неофициальный сайт филиала военного учебно-научного центра ВВС «Военно-воздушная академия им. проф. Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина, г. Сызрань». – 2013. – [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.svva.ru/nashi-resursy/knigi-onlajn/aerodinamika/603-bezopasnost-vzleta-i-posadki-korabelnykh-vertoletov> (дата обращения 10.06.2021).
7. Особенности посадки вертолета на палубу корабля. – Библиотека обучающей и информационной литературы. – [Электронный ресурс]. – URL: http://nnre.ru/transport_i_aviacija/tehnika_i_vooruzhenie_2001_08/p18.php (дата обращения 11.06.2021).
8. Гексаподы «Прикладной механики» показали на МВМС–2021//Технология

Машиностроения: Офиц. канал информ.-аналит. портала «Mashnews». – 2.07.2021. – [Электронный ресурс]. – URL: https://zen.yandex.ru/media/id/5ea69f2c6c197b5e73e54b73/geksapody-prikladnoi-mehaniki-pokazali-na-mvms2021-60de9c5d813f8576c12e5a8f?utm_campaign=dbr (дата обращения 05.07.2021).

9. Башаров Е.А., Ресинец А.И. Конструкция шасси вертолета: Метод. указ. – URL: <https://elibrary.mai.ru/MegaPro/Download/ToView/15840?idb=NewMAI2014> (дата обращения 07.08.2021).
10. Клыков А. И. К вопросу о создании устройства транспортировки корабельного вертолета с использованием электропривода// Судостроительная промышленность / ЦНИИ СМ. – 2018. – №1 (42) – С. 80–87. ISSN 0869-3781
11. Curtiss-Wright's INDAL. NAVAL HANDLING SYSTEMS. – 2015–2017. – B04-0317. – 16 с. [Электронный ресурс]. – URL: https://s2.q4cdn.com/767595508/files/doc_downloads/indal/horizon/Curtiss-Wright-Naval-Handling-Systems-Brochure.pdf (дата обращения 01.06.2021).
12. Cramm HLS. Heligrid helicopter landing grid. – 4 с. [Электронный ресурс]. – URL: <https://company.metstrade.com/Cramm-Yachting-Systems-B-V-?Language=EN&eventid=25484&account=00034931-0> (дата обращения 05.06.2021).
13. VDL-KTI. Helicopter Landing Grids. – 4 с. [Электронный ресурс]. – URL: https://www.vdlkti.be/_asset/_public/_site_44/3-Folder-Helicopter-Landing-Grids-VDL_Iv.pdf (дата обращения 05.06.2021).
14. MacTaggart Scott. HELICOPTER HANDLING SYSTEM TRIGON. – 2 с. [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.mactag.com/defence/helicopter-handling> (дата обращения 01.06.2021).
15. MacTaggart Scott. Helicopter handling system sats. – 2 с. [Электронный ресурс]. – URL: https://www.mactag.com/uploads/tinymce/SATS%2008.2017_PRINT.pdf (дата обращения 01.06.2021).
16. Helicopter Securation & Handling/ DCNS. – 4 с. [Электронный ресурс]. – URL: <https://documents.in/document/helicopter-and-uav-flight-deck-securing-and-handling-devices-courtesy-of-schiebel.html> (дата обращения 04.06.2021).
17. MANTIS-RAM MK1-37 /Curtiss-Wright's INDAL. – 25 с. [Электронный ресурс]. – URL: https://s2.q4cdn.com/767595508/files/doc_downloads/indal/mantis/MANTIS-RAM-Mk1-3-Approved.pdf (дата обращения 20.06.2021).
18. Адаптивные системы зажимов. Системы зажимов MATRIX. – 25 с. – [Электронный ресурс]. – URL: https://www.matrix-innovations.com/wp-content/uploads/2020/11/Matrix_Katalog_RU.pdf (дата обращения 25.06.2021).
19. Westland Augusta. Super Lynx 300. – 20 с. – [Электронный ресурс]. – URL: https://www.saairforce.co.za/seed/public/files/aircraft_files/46/Super%20Lynx%20300%20brochure.pdf (дата обращения 20.06.2021).
20. Naval systems, Helicopter Handling System/ Bosch-Rexroth Group. – 4 с. [Электронный ресурс]. – URL: http://wooriocan.com/_upfile/bosch/2.pdf (дата обращения 09.06.2021). ■

ВВЕДЕНИЕ

Проектирование спасательных судов подводных лодок (СС ПЛ) как сложной технической системы базируется на конкретной проектной методике. Авторами предлагается новый метод исследовательского проектирования СС ПЛ [1, 2], структурная схема которого представлена на рис. 1.

Структурно схема состоит из блоков:

- инженерного прогнозирования;
- тактико-техническое задание (ТТЗ) на проектирование судна;
- технического проектирования;
- оценки эффективности;
- ресурсного блока;
- формирования проектов судов по результатам технического проектирования;
- определения проектов судов, удовлетворяющих граничным условиям на проектирование (требования ТТЗ);
- оптимизации тактико-технических характеристик (ТТХ) СС ПЛ;
- выбора предпочтительного варианта судна [6].

Первые пять блоков в системе составляют математическую модель проектирования СС ПЛ, позволяющую разработать вариант проектного решения.

Добавление к математической модели проектирования блоков оптимизации ТТХ и выбора предпочтительного варианта судна позволяет сформировать алгоритм многокритериальной вариантной оптимизации ТТХ с применением военно-экономического критерия оптимальности «эффективность–стоимость».

В блоке № 1 инженерного прогнозирования определяется функциональная востребованность на перспективу технических средств СС ПЛ, предназначенных для выполнения спасательных и водолазных работ.

Поскольку инженерное прогнозирование выполняется в условиях неопределенности, разработана математическая модель принятия решения в условиях вероятностной неопределенности с применением семи критериев принятия оптимального решения: Байеса, Лапласа, Вальда, Сэвиджа, Гурвица, Ходжа-Лемана и критерий произведений.

Структурная схема математической модели принятия решения в условиях вероятностной неопределенности представлена на рис. 2.

Блок № 2 ТТЗ на проектирование судна (рис. 3) устанавливает перечень (номенклатуру) технико-экономических и тактико-эксплуатационных требований (показателей), характеризую-

МЕТОД ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ СПАСАТЕЛЬНЫХ СУДОВ ПОДВОДНЫХ ЛОДОК

А. Н. Озерный, канд. техн. наук, инженер ООО «ТАИП»,
Д. В. Горбунов, канд. техн. наук, доцент
 ВМПИ ВУНЦ ВМФ «ВМА им. Н. Г. Кузнецова»,
А. Б. Фомичев, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой СПбГМТУ,
 зам. ген. директора по науке АО «НПО Спецматериалов»,
 контакт. тел. +7 (911) 142 6345

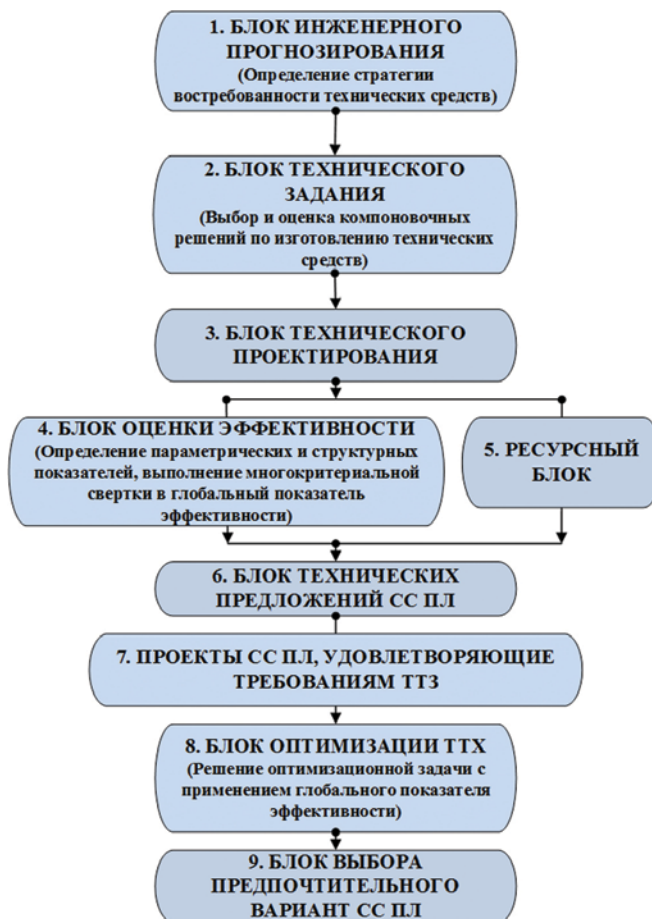


Рис. 1. Структурная схема метода исследовательского проектирования СС ПЛ

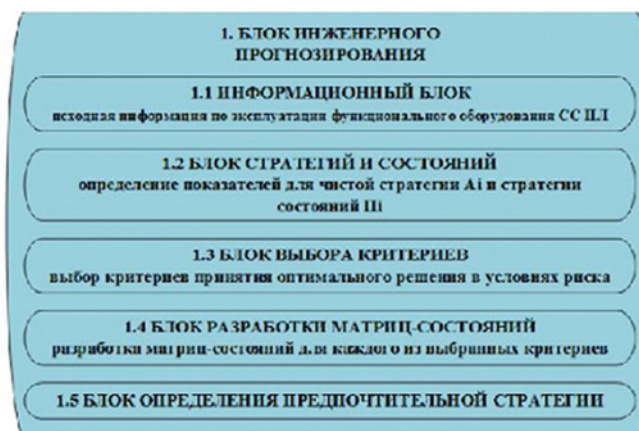


Рис. 2. Структурная схема математической модели принятия решения в условиях вероятностной неопределенности

щих технический уровень разрабатываемого судна и содержит следующие данные:

- основание для разработки проекта судна;
- область применения создаваемого судна;
- тактико-технические требования к судну;
- условия эксплуатации судна (режим и продолжительность эксплуатации, климатические условия, механические и другие внешние воздействия, условия хранения и транспортировки, требования к обслуживанию и ремонту и т. д.);
- требуемое количество судов в серии (серийность) и условия производства;
- сроки и стоимость разработки проекта;
- стоимость постройки судна;
- возможные особые условия производства и эксплуатации.

В блоке № 3 технического проектирования определяются водоизмещение, главные размерения, элементы нагрузки судна, устанавливаются связи между независимо варьируемыми характеристиками судна, подлежащими оптимизации, и зависимыми характеристиками, которые оказывают влияние на показатели эффективности и ресурсные показатели [3–5].

Формируются варианты СС ПЛ с ТТХ, удовлетворяющими требованиям ТТЗ. Выполняется оценка архитектурно-компоновочных решений (рис. 4).

Блок № 4 оценки эффективности содержит обоснование частных, локальных, обобщенных и глобального показателей эффективности системы СС ПЛ. Разрабатываются расчетные зависимости для численной оценки и значимости вышеперечисленных показателей эффективности [7]. В качестве показателей эффективности целесообразно рассматривать как параметрические, так и структурные показатели.

После определения численных значений выполняется многокритериальная свертка показателей эффективности системы СС ПЛ в глобальный показатель. В качестве такого показателя эффективности СС ПЛ выбирается коэффициент технического совершенства (рис. 5).

В ресурсном блоке № 5 определяется оценочная стоимость постройки вариантов СС ПЛ (рис. 6).

Стоимость постройки судна формируется как сумма затрат на этапы его постройки. Для судна, разрабатываемого в рамках ОКР, таковыми этапами могут быть этапы:

- 1) разработка технического проекта судна;



Рис. 3. Блок ТТЗ



Рис. 4. Структура блока технического проектирования



Рис. 5. Структура блока оценки эффективности

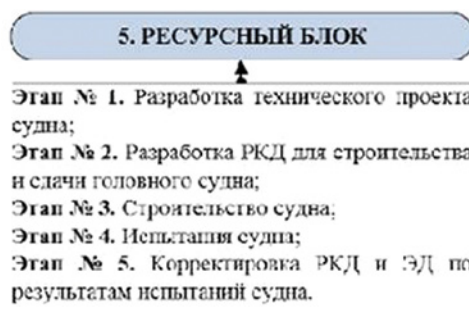


Рис. 6. Структура ресурсного блока



Рис. 7. Структура блока технических предложений проектов СС ПЛ

- 2) разработка РКД для строительства и сдачи головного судна;
- 3) строительство судна;
- 4) испытания судна;
- 5) корректировка РКД и ЭД по результатам испытаний судна.

Блок № 6 содержит разработанные посредством применения математической модели проектирования несколько вариантов проектов СС ПЛ. Для каждого варианта судна определяются стоимость постройки и его эффективность (рис. 7).

В блоке № 7 выполняется отбор проектов СС ПЛ с ТТХ, удовлетворяющими требованиями.

Оптимизация ТТХ СС ПЛ, включающая выбор и построение критерия оптимальности типа «эффектив-

ность–стоимость», представлена в блоке № 8 (рис. 8).

В блоке № 9 с применением графо-аналитического метода определяется вариант судна, в максимальной степени удовлетворяющий требованиям заказчика. Графики отражают зависимость между глобальным показателем эффективности варианта судна и стоимостью его постройки (рис. 9).

Для определения степени соответствия расчетных значений ТТХ вариантов СС ПЛ, полученных в результате проектирования, и значений ТТХ существующих судов выполняются постоптимизационный анализ и оценка адекватности математической модели проектирования.



Рис. 8. Структура блока оптимизации ТТХ СС ПЛ



Рис. 9. Структура блока выбора предпочтительного варианта СС ПЛ

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Новые методологические разработки в области проектирования СС ПЛ позволяют сформировать математическую модель проектирования судна, выполнить комплексную оценку проекта и обосновать выбор предпочтительного варианта судна с ТТХ, обеспечивающими эффективное решение задач оказания помощи и спасания личного состава ПЛ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гайкович А. И. Теория проектирования водоизмещающих кораблей и судов. – СПб.: Моринтех, 2014.
2. Захаров И. Г., Постонен С. И., Романьков В. И. Теория проектирования надводных кораблей. – СПб.: ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия», 1997.
3. Концепция развития системы поисково-спасательного обеспечения Военно-Морского Флота на период до 2025 года. – МО, 2013.
4. Материалы НИР «Концепция», «Развитие МО-30», НИИ Спасания и подводных технологий – МО, г. Ломоносов. НИР «Концепция» – 2015, НИР «Развитие МО-30» – 2015.
5. ОТТ 6.1.47–2008. Общие тактико-технические требования. Водолазные комплексы судов поисково-спасательного обеспечения ВМФ. – МО, г. Ломоносов.
6. Худяков Л. Ю. Исследовательское проектирование кораблей. – Л.: Судостроение, 1980.
7. Царев Б. А. Модульные задачи в проектировании судов. – Л.: ЛКИ, 1986. ■



Спасательное судно подводных лодок «Игорь Белоусов» пр. 21300 «Дельфин»

В феврале 2025 г. состоялся VIII Конгресс «Гидротехнические сооружения и дноуглубление» [1], повестка мероприятия была посвящена вопросам реализации федеральных программ развития морских портов, инфраструктуры Северного морского пути и внутренних водных путей Российской Федерации. В очередной раз была обозначена необходимость создания собственного диверсифицированного дноуглубительного флота.

Так, например, планы развития Северного морского пути (СМП) до 2035 г. [2] и его инфраструктуры [3] предполагают создание флотилии дноуглубительных судов для их использования в акваториях Севера в летне-осенний период и незамерзающих морях в зимне-весенний период.

С учетом уже выполненных масштабных работ по углублению акватории на трассах СМП в ближайшие годы планируется проведение исключительно ремонтных операций, направленных на поддержание необходимых глубин [4], что дает необходимую паузу для разработки и строительства собственных проектов.

Кроме того, сегодня практически отсутствует возможность привлечения иностранного флота для проведения дноуглубительных работ [5], что также указывает на необходимость создания и эксплуатацию собственного флота.

Таким образом, в ближайшее время предстоит найти и выбрать оптимальный путь создания дноуглубительного флота, соответствующего потребностям отрасли.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ОТРАСЛИ

Современный дноуглубительный флот состоит из специализированных судов различных типов, предназначенных для решения конкретных задач в наиболее сжатые сроки.

Российские компании, выполняющие дноуглубительные работы в портах с использованием грунтоотвозных шаланд, перечислены ниже в таблице.

На плановой основе в отрасли продолжается обсуждение необходимости создания единого центра координации и принятия решений, касающихся дноуглубительных работ в российских портах.

Предварительно ФГУП «Гидрографическое предприятие» оценило перспективный объем ремонтного (для поддержания проектных глубин – *Прим. авт.*) дноуглубления только на СМП до 2030 г. в 34,4 млн. м³. Из них в 2025–2030 гг. планируется провести дноуглубление в порту Сабетта в объеме 4,8 млн. м³,

* Часть 1 – см. «Морской вестник», 2024, №2 (90).

САМООТВОЗНЫЕ ЗЕМСНАРЯДЫ: ПОТРЕБНОСТИ, ПЕРСПЕКТИВЫ, ХАРАКТЕРИСТИКИ

ЧАСТЬ 2*

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

Таблица

Российские дноуглубительные компании

ФГУП «Гидрографическое предприятие» (Росатом) [6]	– Имеет свой флот – Дноуглубительные суда берет в аренду или нанимает подрядчиков
ООО «Строительная дноуглубительная компания» [7]	То же
ФГУП «Росморпорт» [8]	– Имеет порядка 41 ед. технического и дноуглубительного флота
АО «Межрегионтрубопроводстрой» [9]	– Имеет свой флот, в который входит 3 дноуглубительных судна
ООО «Фертоинг» [10]	– Имеет свой флот – Дноуглубительные суда берет в аренду или нанимает подрядчиков

на терминале «Утренний» – 5,4 млн. м³, на морском канале порта Сабетта – 19 млн. м³, на угольном терминале для Сырадасайского месторождения и на нефтяном терминале «Порт бухта Север» – 1,6 млн. м³ суммарно, на морском терминале на мысе Наглейный в порту Певек – 1,2 млн. м³, в морскому порту Тикси – 400 тыс. м³, в Тамбее – 2,1 млн. м³. Далее предполагается, что объем дноуглубления будет расти [11].

Эффективное выполнение дноуглубительных работ возможно при формировании самодостаточного флота. Группировка судов для проведения дноуглубительных работ может включать в себя самоотвозные землесосы, одночерпаковые, фрезерные и роторные земснаряды, грунтоотвозные шаланды и суда выравнивания дна. Кроме судов, непосредственно участвующих в дноуглублении, используются и другие суда, обеспечивающие гидрографической информацией и снабжением.

В настоящий момент на российских верфях планируется строительство шести грунтоотвозных шаланд вместимостью не менее 600 м³ для нужд Азово-Черноморского бассейнового филиала ФГУП «Росморпорт» [12].

Создание более вместительных морских судов в данный момент только обсуждается. При этом обеспечение потребности в таком флоте ФГУП «Гидрографическое предприятие» планирует начать с закупки судов [4], а ООО «Строительная дноуглубительная компания» уже создает флот на иностранных верфях [11, 13]. Нарботки ПКБ «Петробалт» в области создания современных грунтоотвозных шаланд рассмотрены в последующих разделах.

ФЛОТ ПОД ФЛАГОМ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Под наблюдением Российских классификационных обществ [14, 15] находится более 100 самоходных грунтоотвозных шаланд. Основу этого флота составляют речные суда вместимостью ок. 200–350 м³ и возрастом более 35 лет. С помощью такого флота невозможно обеспечить ремонтное обслуживание существующих подходных путей и акваторий морских портов. Для строительства новых портов и проведения значительных объемов работ в сжатые сроки навигации нужны суда вместимостью от 1000 м³.

При строительстве действующих новых терминалов на СМП привлекались самоходные саморазгружающиеся баржи объемом от 1000 до 3700 м³ под иностранными флагами. Для развития и поддержания морской торговли существующего флота недостаточно, должны быть предприняты меры по достижению государственной независимости в обслуживании собственных водных путей как на реках, так и на морях.

ТИПОВЫЕ ПРОЕКТЫ САМОХОДНЫХ ШАЛАНД

Для рассмотрения и выявления ключевых характеристик самоходных саморазгружающихся барж были выбраны суда с трюмами объемом 900, 1000, 1600, 2800 и 3700 м³, которые используют компании Van Oord [16], Jan De Nul [17] и Deme Group [18] для проведения дноуглубительных работ в российских портах.

Эти суда построены по проектам ФКАВ Marin Design [19] и Royal IHC [20], их ключевой особенностью является наличие дизельной энергетической установки в основном корпусе, работающей на винторулевые колонки. На некоторых судах в носу имеется подруливающее устройство.

ТИПОВЫЕ РАЗМЕРЕНИЯ САМОХОДНЫХ ШАЛАНД

Анализ характеристик более 50 самоходных шаланд вместимостью от 200 до 3700 м³ позволяет определить зависимости их основных характеристик от вместимости (рис. 1, а – е).

Полученные статистические данные о рассматриваемых судах показывают, что все они имеют дизельную энергетическую установку, причем, как правило, в основном корпусе (рис. 2).

Среди движителей большинство представлено винторулевыми колонками (ВРК). Винты фиксированного шага (ВФШ) применяются обоснованно реже (рис. 3). Для повышения маневренности и эксплуатационных характеристик дополнительно устанавливают подруливающие устройства (рис. 4).

Также при обработке собранной информации о судах выявлено, что, как правило, вместимость с ледовыми грузовыми трюмами не превышает 1000 м³. При проектировании новых шаланд чаще выбирают двухкорпусные суда (типа «гидроклапан») для повышения эксплуатационных характеристик (рис. 5).

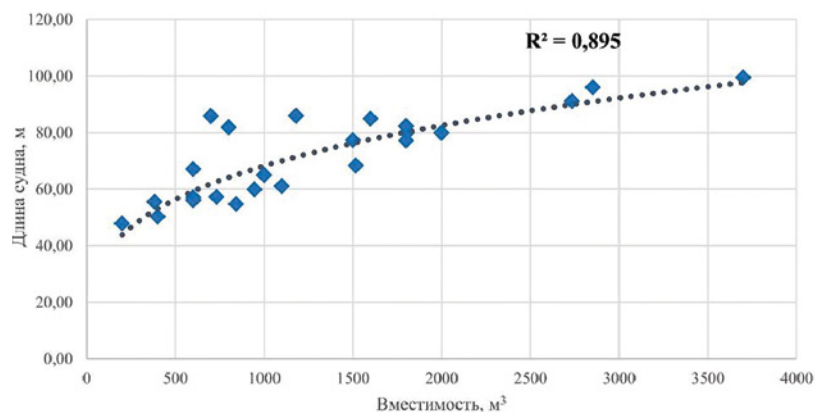
ОГРАНИЧЕНИЯ ОТЕЧЕСТВЕННОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ

При создании собственного флота самоходных шаланд влияние санкционной политики иностранных государств минимально. Проектирование судов можно выполнять с применением имеющегося отечественного оборудования и с учетом возможностей отечественного машиностроения.

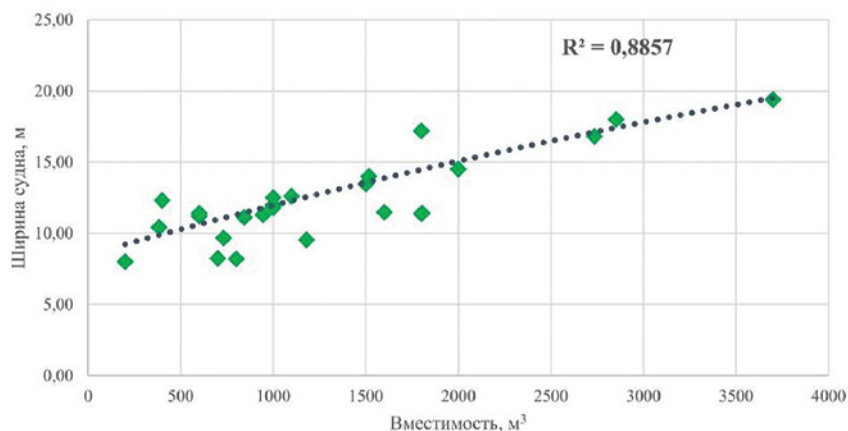
Выполнение требований Постановления правительства № 719 от 17.07.2015 г. [21] будет способствовать получению льгот на создание собственного дноуглубительного флота, а также повышению независимости отечественных предприятий от иностранных комплектующих и сервисных компаний. В свою очередь машиностроители, проектанты, судостроители получают опыт и развитие компетенций в области морского специализированного флота.

Ключевыми позициями для грунтоотвозных самоходных шаланд являются системы гидравлики и пропульсивный комплекс, в производстве которых имеется опыт и задел в отечественном машиностроении.

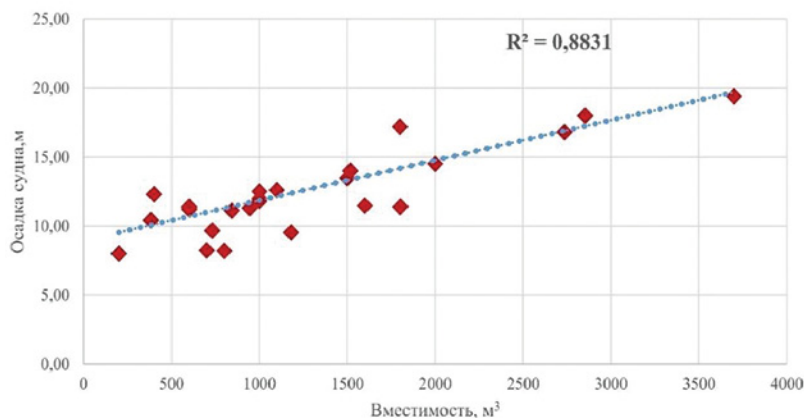
а)



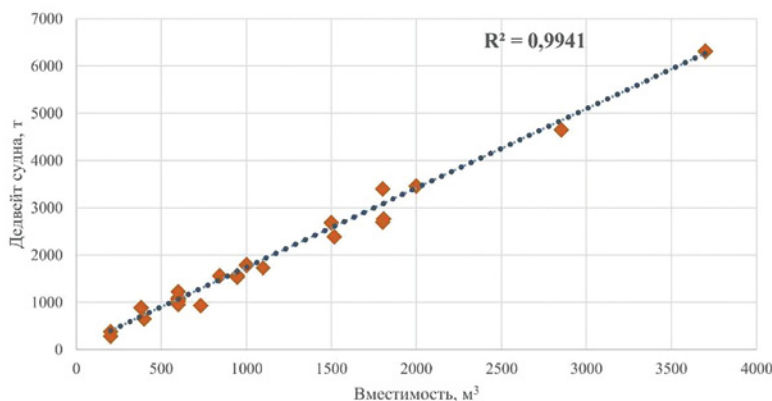
б)



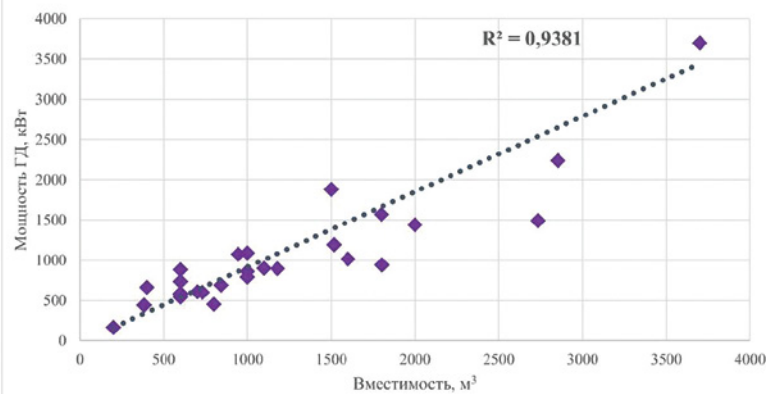
в)



г)



д)



е)

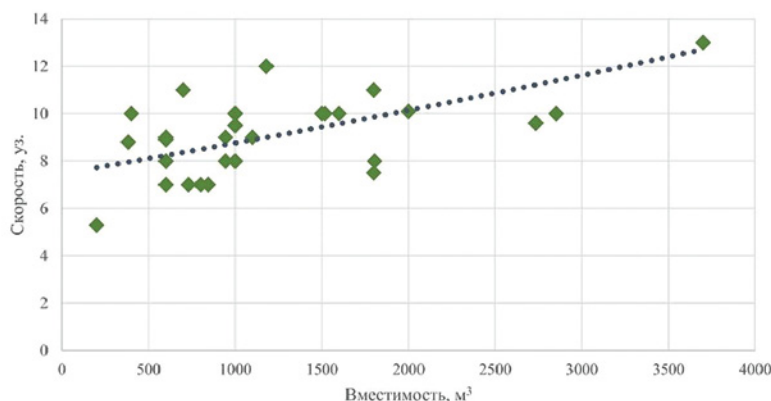


Рис. 1. Зависимость характеристик шаланд от вместимости: а – длины, б – ширины, в – осадки, г – дедвейта, д – мощности ГД, е – скорости

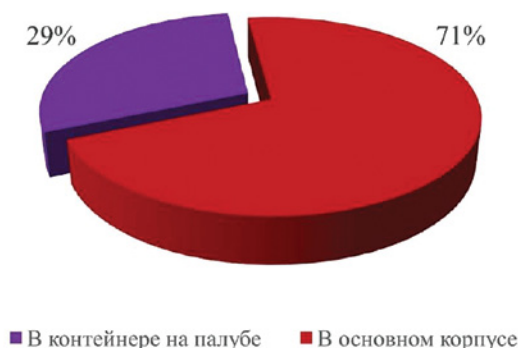


Рис. 2. Расположение энергетической установки

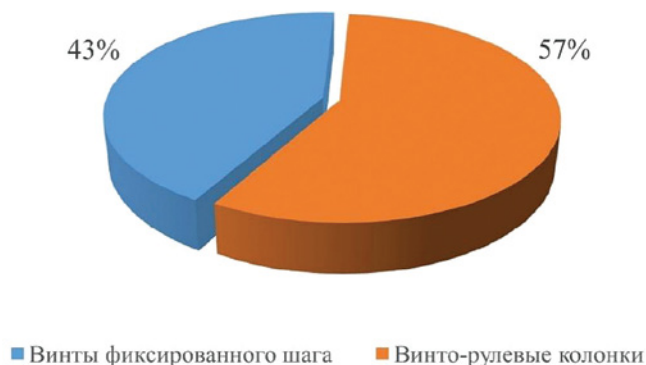


Рис. 3. Применяемый тип движителя

ПРОЕКТ ПКБ «ПЕТРОБАЛТ»

Создание грунтоотвозных барж для рек и смешанного плавания освоено в России на различных предприятиях. При этом строительство крупных морских судов данного типа не велось.

На основании анализа возможностей и предложений отечественных судостроительных предприятий, проведенного ПКБ «Петробалт», можно сделать выводы об отсутствии технических ограничений для создания отечественных самоходных грунтоотвозных барж типа «гидроклапан».

Использование в основном корпусе дизельной энергетической установки, которая приводит в действие винторулевые колонки, позволит обеспечить сбалансированный состав оборудования и маневренные характеристики судов.

Установка носового подруливающего устройства позволит облегчить подход и отход от раскрепленного земснаряда, выполняющего дноуглубительные работы.

В настоящий момент ООО ПКБ «Петробалт» ведет разработку проекта грунтоотвозной самоходной самораскрывающейся баржи (рис. 6), оптимизированные характеристики которой представлены ниже.

Оптимальные характеристики самоходной самораскрывающейся баржи	
Характеристика	Значение
Объем трюмов, м³	600
Длина, м	55,8
Ширина, м	13,8
Осадка, м	3,0
Энергетическая установка	Дизельная
Движитель	2 × ВРК

ВЫВОДЫ

Для достижения необходимых характеристик дноуглубительного флота следует разработать ряд проектов, отвечающих потребностям отрасли для проведения требуемых объемов работ и условиям акваторий портов России.

Следует использовать опыт эксплуатации и отзывы судовладельцев для достижения целесообразной стоимости создания таких судов с учетом апробированных проектных решений ФКАВ, Royal ICH, BesTech и др. Проекты перечисленных организаций были рассмотрены и проанализированы, что позволило в сжатые сроки достичь требуемых проектных показателей разрабатываемого судна.

Во время создания судов по проекту ПКБ «Петробалт» целесообразно инициировать работы по подготовке к строительству самоходных шаланд большей грузоподъемности



Рис. 4. Наличие подруливающего устройства



Рис. 5. Тип шаланды



Рис. 6. Визуализация общего вида судна

и подбора требуемого комплектующего оборудования. Согласно проработкам ПКБ «Петробалт» для полной комплектации дноуглубительного флота требуются морские суда с грузовым трюмом объемом ок. 1000, 2400 и 3600 м³.

ЛИТЕРАТУРА

1. Санкции отправились на дно//ИАА «ПортНьюс» – URL: <https://portnews.ru/projects/project65/> (дата обращения: 12.04.2024).

2. Распоряжение Правительства РФ «Об утверждении плана развития Северного морского пути на период до 2035 г.» от 1.08.2022 г. № 2115-р.
3. Распоряжение Правительства РФ «Об утверждении прилагаемого плана развития инфраструктуры Северного морского пути на период до 2035 г.» от 21.12.2019 г. № 3120-р.
4. Панов Владимир. «Гидрографическое предприятие» будет наращивать дно-

- углубительный флот сначала за счет покупки земснарядов//ИАА «ПортНьюс» – URL: <https://portnews.ru/news/378275/> (дата обращения: 16.07.2025).
5. Самоотвозные земснаряды: потребности, перспективы, характеристики. – Ч. 1//Морской вестник – URL: <https://morvest.ru/Full%20articles/MV-90%20WEB.pdf> (дата обращения: 16.07.2025).
6. ФГУП «Гидрографическое предприятие». – Офиц. сайт URL: <https://rosatomport.ru/> (дата обращения: 16.07.2025).
7. ООО «Строительная дноуглубительная компания». – Офиц.сайт URL: <https://cdc.business/> (дата обращения: 16.07.2025).
8. ФГУП «Росморпорт». – Офиц. сайт URL: <https://www.rosmorport.ru/> (дата обращения: 16.07.2025).
9. АО «Межрегионтрубопроводстрой». – Офиц. сайт URL: mrtc.rf (дата обращения: 16.07.2025).
10. ООО «Фертоинг». – Офиц. сайт URL: <https://fertoing.ru/> (дата обращения: 16.07.2025).
11. Строительная дноуглубительная компания» заказала землесос с объемом трюма 10 тыс. куб. м//ИАА «ПортНьюс» – URL: <https://portnews.ru/news/373765/> (дата обращения: 16.07.2025).
12. Для Росморпорта спроектируют и построят 6 самоходных самораскрывающихся шаланд//ИАА «ПортНьюс» – URL: <https://portnews.ru/news/371352/> (дата обращения: 16.07.2025).
13. Обеспечить технологический суверенитет//Транспорт России – URL: <https://transportrussia.ru/razdely/transportnoe-mashinostroenie/9904-obespechit-tehnologicheskij-suverenitet-2.html> (дата обращения: 16.07.2025).
14. ФАУ «Российский морской регистр судоходства». – Офиц. сайт URL: <https://rs-class.org/> (дата обращения: 16.07.2024).
15. ФАУ «Российское Классификационное Общество». – Офиц. сайт URL: <https://rfclass.ru/> (дата обращения: 16.07.2024).
16. Van Oord. – Офиц. сайт URL: <https://www.vanoord.com/en/> (дата обращения: 16.07.2024).
17. Jan De Nul. – Офиц. сайт URL: <https://www.jandenul.com/> (дата обращения: 16.07.2025).
18. Deme Group. – Офиц. сайт URL: <https://www.deme-group.com/> (дата обращения: 16.07.2025).
19. FKAB Marin Design. – Офиц.сайт URL: <https://www.fkab.com/> (дата обращения: 16.07.2025).
20. Royal IHC: дноуглубление – URL: <https://www.royalihc.com/dredging> (дата обращения: 16.07.2025).
21. Постановление Правительства РФ «О подтверждении производства промышленной продукции на территории Российской Федерации» от 17.07.2015 г. № 719 (с изменениями и дополнениями. ■

Проектирование интерьеров судовых помещений – это сложный и многогранный процесс, который требует учета множества факторов: функциональности, эстетики, удобства, технических ограничений и безопасности мореплавания. В условиях быстро меняющихся технологий и расширяющихся возможностей специалистами ООО «МКС» освоены и широко используются современные средства программного обеспечения (ПО), что является необходимым условием для успешного выполнения задач в этой области.

Проектирование судовых интерьеров включает в себя создание комфортного, безопасного и функционального пространства на борту судна. Судовые помещения, от жилых и кухонных зон до технических и рабочих, должны быть спроектированы с учетом специфики их использования.

Причиной актуальности этой темы является необходимость учитывать ограничения, установленные морскими стандартами и нормами, а также требования к безопасности и технологичности.

Современные средства ПО, такие как САД-системы (Computer-Aided Design), позволяют значительно улучшить процесс проектирования, обеспечивая визуализацию на ранних стадиях и высокую точность в чертежах.

Преимущества использования современного программного обеспечения

Современные программные решения предлагают множество функций, которые помогают дизайнерам серьезно оптимизировать проектные процессы. В числе основных преимуществ:

- *высокая точность и безопасность.* Использование САД и BIM (Building Information Modeling) систем позволяет снизить риск ошибок, обеспечивая точность измерений и деталей. Это критически важно на судах, где перегрузки и несоответствия могут привести к серьезным авариям;
- *ускорение процессов, легкость редактирования, копирования и работы с шаблонами значительно ускоряет проектирование.* С помощью ПО можно оперативно изменять размеры и конфигурации помещений, адаптируя проект к новым требованиям или учитывая замечания;
- *оперативная визуализация.* Возможность создавать трехмерные модели интерьеров на этапе проектирования позволяет команде и заказчику лучше представлять конечный результат. Это способствует лучшему пониманию и обсуждению проекта, что в свою очередь уменьшает количество доработок на более поздних этапах;

МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ИНТЕРЬЕРОВ СУДОВЫХ ПОМЕЩЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ СРЕДСТВ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

П.А. Зубков, канд. техн. наук, ген. директор

ООО «Морские комплексные системы»,

О.В. Захарова, ген. директор

ООО «Лучшие Русские Проекты»,

контакт. тел. (812)3683951, +7 (964) 3303805

- *координация с другими проектами.* Современные ПО позволяют осуществлять интеграцию различных аспектов проектирования, таких как конструктивные и электрические системы, а также системы вентиляции и водоснабжения. Такой подход повышает общую эффективность работы и снижает вероятность возникновения конфликтов при проектировании.

ЭТАПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ИНТЕРЬЕРОВ СУДОВЫХ ПОМЕЩЕНИЙ

Процесс проектирования интерьеров судовых помещений можно условно разделить на несколько этапов. Каждый этап требует тщательной проработки и взаимодействия различных специалистов.

Этап 1: Изучение требований и норм

На этом этапе проектировщики собирают информацию о нормативах и правилах, касающихся проектирования судовых помещений. Необходимость учета международных стандартов, таких как SOLAS (International Convention for the Safety of Life at Sea) и MARPOL (International Convention for the Prevention of Pollution from Ships), а также ОСТ и ГОСТ Российской Федерации, становится особенно важным. Эти документы определяют различные аспекты, включая безопасность, санитарные условия и грузоподъемность.

Нормативно-техническая документация, регламентирующая процесс проектирования интерьеров, ее состава, содержания и правил выполнения проектной и рабочей документации:

- ОСТ В5 Р.0736–2001. Стандарт отрасли. Корабли и суда ВМФ. Проектные конструкторские документы. Состав, содержание и правила выполнения архитектурной части проекта;
- ГОСТ 23894–79. Рабочие конструкторские документы судостроитель-

ной верфи. Оборудование и отделка помещений.

- ГОСТ Р 71651–51–24. Мебель и немеханическое оборудование судовых помещений. Функциональные размеры.

Этап 2: Концептуальное проектирование (стадия эскизного проектирования)

На этом этапе создаются предварительные эскизы и разрабатываются концепции интерьеров. Использование ПО здесь помогает в генерации различных дизайнерских решений, позволяя специалистам экспериментировать с планировками и компоновкой мебели. Важно учесть множество факторов: от количества людей, которые будут находиться в помещении, до требований к вентиляции и освещению.

Также на стадии эскизного проекта планируются основные и вспомогательные функциональные зоны интерьера в соответствии с его назначением. В результате выполняются варианты функционального зонирования помещения и внутренних маршрутов перемещения.

На основе вариантов функционального зонирования разрабатываются планы с расстановкой мебели. Данный документ представляет собой вариант планировки помещения с расстановкой мебели, оборудования и декоративных элементов. Выполняется в среде Autodesk AutoCAD или Revit.

На данном этапе учитываются специфика и эстетические качества интерьера судового помещения, которые определяют несколькими факторами:

- стилистика интерьера;
- судовая мебель;
- цветовое решение;
- световая среда;
- декоративные элементы интерьера.

Планировка интерьера формируется в 3D программах, что дает представление о доступном пространстве, каютах и расположении предметов. Специалисты ООО «МКС» уделяют большое внимание интеграции интерьера с конструктивными элементами судна, а также

обеспечению доступа к системам и оборудованию. Точное 3D-моделирование основано на чертеже общего расположения или базовой 3D-схеме, а также на информации, полученной из спецификаций проекта.

Результатом данного этапа является планировочное решение и трехмерная визуализация интерьера судового помещения, на основе которого разрабатывается пакет рабочей документации (рис. 1).

Этап 3: Разработка детализированных чертежей, рабочей конструкторской документации (РКД)

На основании концептуального проекта разрабатываются детализированные чертежи. Использование CAD-систем позволяет создавать точные двухмерные и трехмерные модели, что существенно экономит время. На этом этапе также есть возможность проведения различных расчетов, например, по нагрузкам на конструктивные элементы. Использование программ для расчета позволяет учитывать вес мебели, оборудования и максимальную грузоподъемность площадей.

В рабочую документацию также включаются раскладки панелей пола, потолка, обшивки и мебели на листах материала, готовых к фрезерованию на станке с ЧПУ, которые основаны на развертках, представляющих собой плоские проекции всех деталей, содержащие информацию о типе материала,



Рис. 1. Пример эскиза интерьера жилого отсека вспомогательного судна

толщине, отделке, ориентации волокон. Также перечисляются вторичные операции, такие как полурезка или сверление, маркировка для операций после резки. Использование комплектов ЧПУ значительно упрощает производственный процесс. Это экономит время, материалы и рабочую силу, практически исключая возможность интерпретации или ошибок (рис. 2).

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ: ТИПЫ И ФУНКЦИОНАЛ

Существует множество программных решений, которые применяются при проектировании интерьеров судов. Рассмотрим некоторые из них, их функционал и преимущества.

Программы для эскизного трехмерного моделирования:

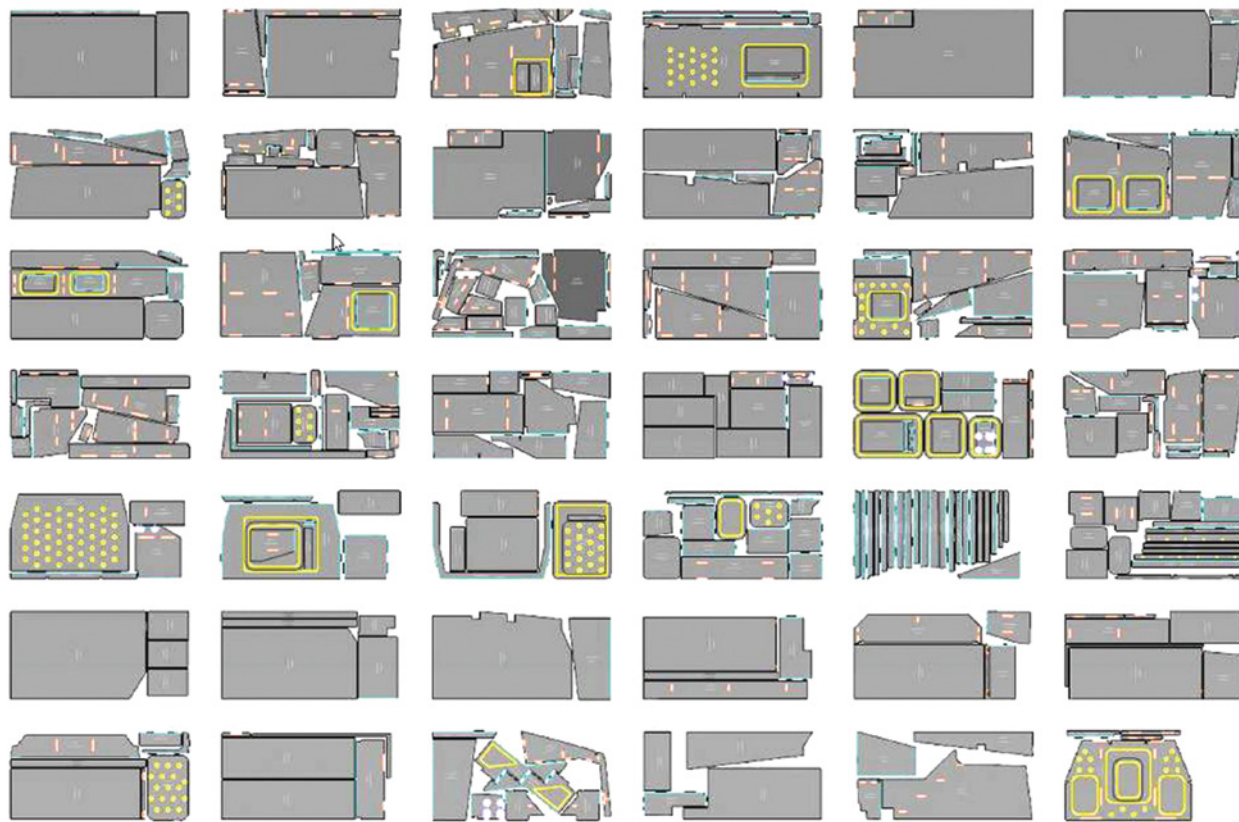


Рис. 2. Пример файлов для ЧПУ. Раскладка различных панелей на листовом материале

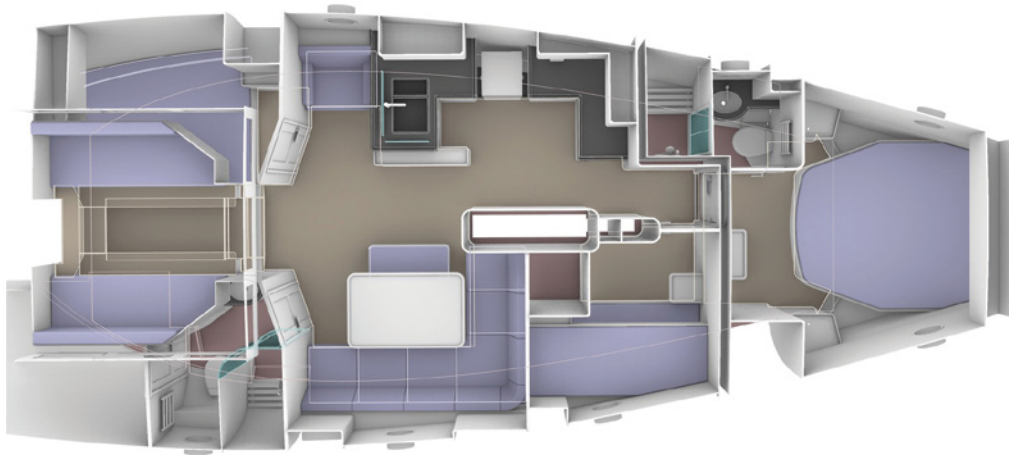


Рис. 3. Пример эскиза интерьера жилого отсека вспомогательного судна, выполненного в программе SketchUp Pro

SketchUp Pro – программа для профессионального 3D-моделирования объектов. В основном используется для эскизного проектирования интерьеров.

Функционал: создание и обработка 3D-моделей, добавление текстур и раскраски; интеграция файлов из других программ.

Используется преимущественно для презентаций проектов, добавления аннотаций, создание фотореалистичных визуализаций. Не подходит для очень сложных инженерных проектов (рис. 3 и рис. 4).

Autodesk 3ds Max – программа для профессионального 3D-моделирования

интерьеров и оборудования. В основном используется для получения фотореалистичных изображений интерьера судового помещения в перспективе в растровом формате (.jpeg, .png, .tif).

Функционал: 3D-моделирование – ключевая функция программы; создание фотореалистичных рендеров, работа с материалами и текстурами, настройка различного типа освещения (естественное и искусственное); создание анимации объектов и их частей, работа с частицами (снег, дым, огонь); интеграция с другими продуктами Autodesk (рис. 5).

CAD-системы, такие как Autodesk AutoCAD, Autodesk Inventor, позволяют создавать высокоточные чертежи. Применяются на всех этапах проектирования.

Функционал: создание двухмерных чертежей и трехмерных моделей; возможность редактирования и автоматизированного создания объектов; поддержка различных форматов файлов для взаимодействия с другими системами (рис. 6).

BIM-системы и BIM-технологии, такие как ArchiCAD и Autodesk Revit, становятся все более популярными в проектировании благодаря своей способности к интеграции данных и визуализации (рис. 7).

Функционал: создание виртуального здания с учетом всех систем и элементов; автоматизированное обновление всех проектных данных при изменении любых элементов; создание модели, учитывающей как визуальные, так и технические аспекты, включая механические и электронные системы.

СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ ПРОГРАММЫ ДЛЯ СУДОСТРОЕНИЯ

Существуют также специализированные программы для судостроения, например AVEVA Marine, которые предлагают инструменты, адаптированные под требования судостроительной отрасли (рис. 8).



Рис. 4. Пример эскиза интерьера рабочего пространства командного состава вспомогательного судна, выполненного в программе SketchUp Pro



Рис. 5. Пример эскиза интерьера кают-компании вспомогательного судна, выполненного в программе Autodesk 3ds Max

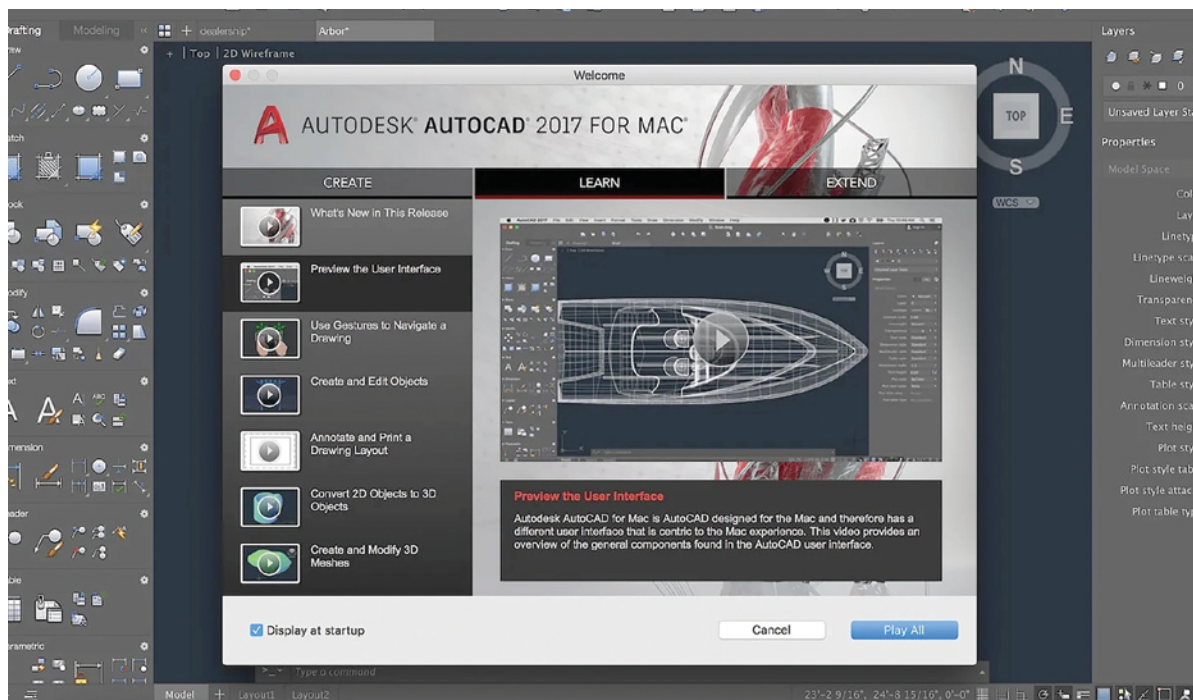


Рис. 6. Пример интерфейса программы Autodesk AutoCAD

Функционал: создание комплексных моделей судов, учитывающих их платформу и специфику; интеграция с производственными технологиями и системами управления.

ВЛИЯНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НА ПРОЦЕСС ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Современные технологии существенно изменили подход к проектированию интерьеров судовых помещений. Внедрение виртуальной и дополненной реальности – это лишь один из примеров того, как технологии меняют традиционные методы понимания проектных решений.

Виртуальная и дополненная реальность. Благодаря виртуальной реальности, (VR) проектировщики могут создавать полные иммерсивные модели, позволяя заказчикам и командам просматривать и оценивать проект еще до его реализации. Эта технология может использоваться для презентации дизайнерских идей, тестирования функциональности и выявления возможных недостатков на ранних стадиях (рис. 9).

Системы управления проектами, или CRM-системы, такие как YouGile, Trello или Asana, существенно облегчают взаимодействие между членами команды, показывая статус задач и обеспечивая прозрачность процессов. Такие програм-

мы также позволяют более эффективно распределять обязанности и соотносить задачи с временными сроками (рис. 10).

КЛЮЧЕВЫЕ ФАКТОРЫ УСПЕШНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Несмотря на доступность современных программных средств и технологий, несколько ключевых аспектов все еще определяют успех проектирования интерьеров судовых помещений, а именно:

- *командная работа.* Координация между архитекторами, дизайнерами, инженерами и заказчиками является основой успешного проекта. Современные ПО способствуют лучшему взаимодействию за счет того, что все члены команды могут работать в одной среде и обмениваться данными в реальном времени. Это снижает время на передачу информации и конечные правки;
- *постоянное обучение и адаптация.* Дизайнерам необходимо постоян-

но обновлять свои навыки и знания о новых технологиях и методиках. Участие в семинарах, онлайн-курсах и изучение новинок в ПО будет способствовать разработке проекта на высоком уровне и использовать все возможности современных технологий;

- *учет пользовательского опыта.* Соблюдение принципов удобства и функциональности, особенно в жилых помещениях, крайне важно. Исследования, выполненные на основе обратной связи пользователей, помогают выявить потребности и ожидания, что в дальнейшем отразится на качестве проектирования.

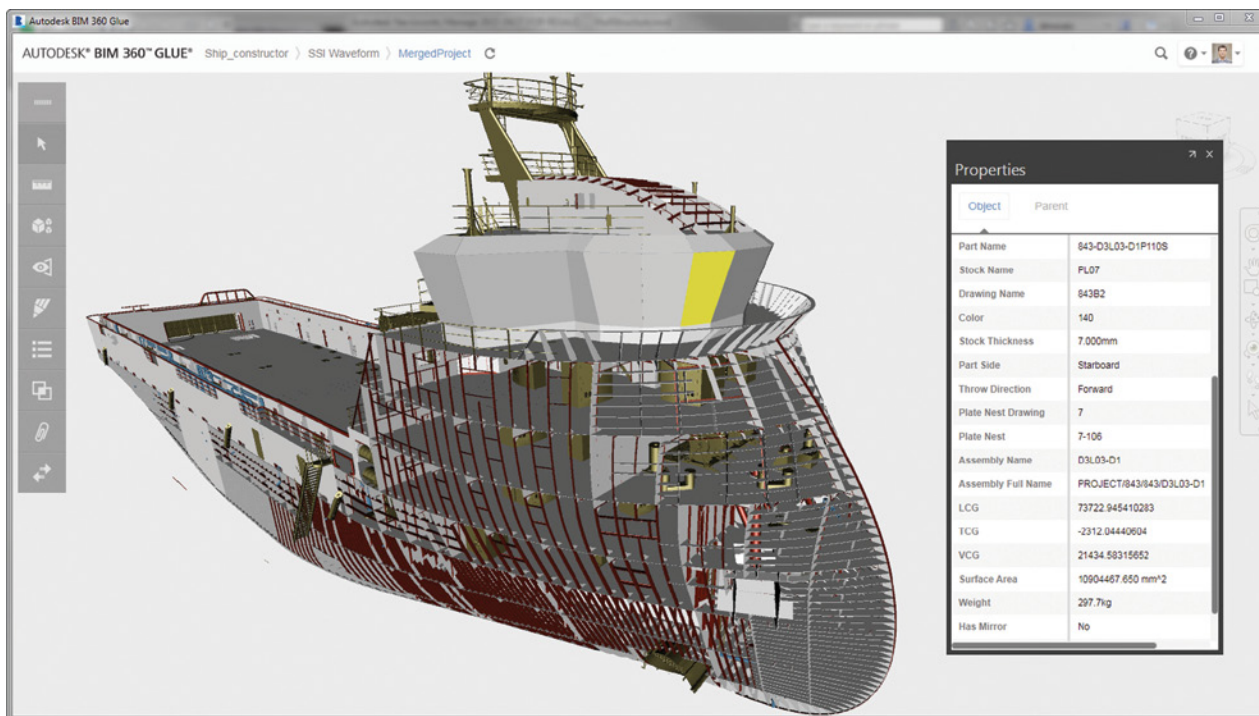


Рис. 7. Пример Autodesk BIM

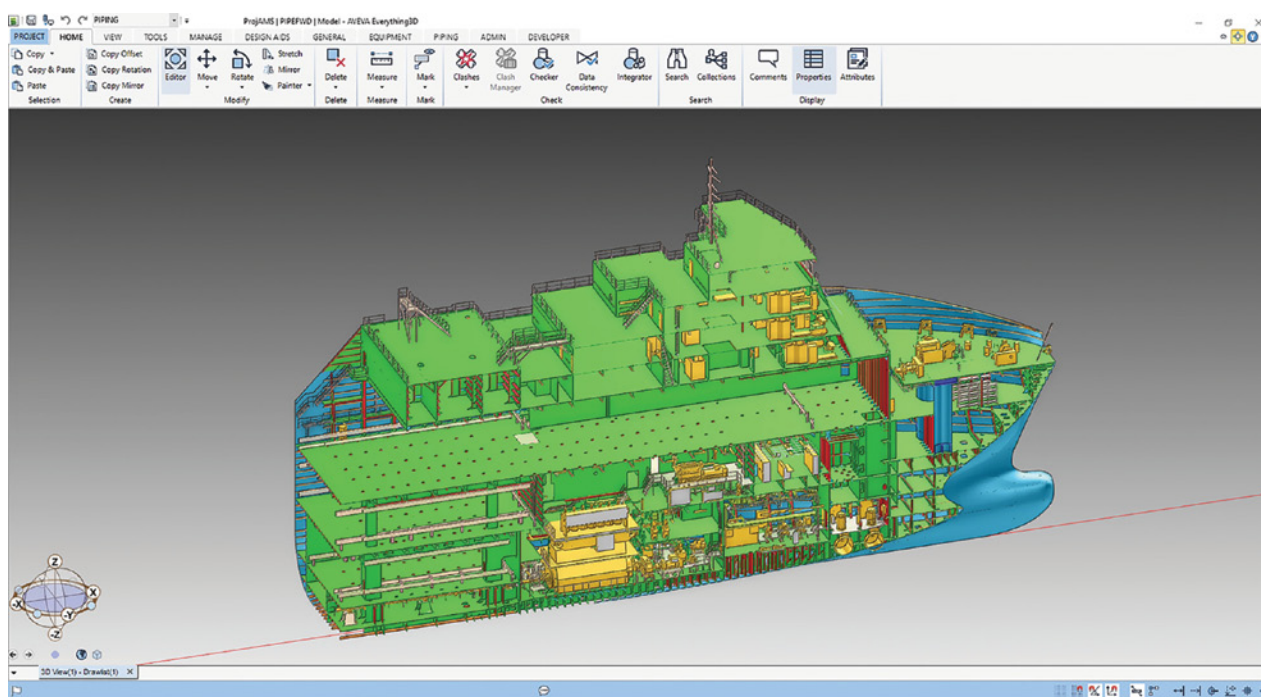


Рис. 8. Пример интерфейса программы AVEVA Marine

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проектирование интерьеров судовых помещений – комплексный процесс, требующий учета множества факторов. Современные средства программного обеспечения открывают новые горизонты для проектировщиков, позволяя создавать высококачественные и безопасные интерьеры. Тем не менее успех проекта будет зависеть не только от технических решений, но и от командной работы, постоянного обучения и учета потребностей

пользователей. Это требует комплексного подхода и готовности адаптироваться к изменениям, что, в конечном счете, приведет к достижению поставленных целей.

Внедрение современных методов проектирования и программного обеспечения ведет к стандартизации процессов, позволяя предприятиям повышать эффективность работы и снижать затраты. Автоматизация рутинных операций, таких как составление спецификаций и ведомостей материалов, освобождает время специа-

листов для решения более творческих и сложных задач, таких как разработка уникальных дизайнерских проектов и оптимизация пространств. Это в свою очередь способствует повышению конкурентоспособности компании на рынке.

Кроме того, использование цифровых технологий позволяет создавать более устойчивые и экологичные проекты. Программы для моделирования энергопотребления и расчета выбросов позволяют оптимизировать выбор материалов и оборудования для сни-

жения негативного воздействия на окружающую среду. Это особенно важно в судостроении, где действуют строгие экологические нормы и требования.

Важно отметить, что успешное внедрение современных программных решений требует не только приобретения необходимого оборудования и софта, но и инвестиций в обучение персонала. Подготовка квалифицированных специалистов, способных эффективно использовать все возможности программного обеспечения, остается ключевым фактором успеха. Необходимо проводить регулярные тренинги и семинары, чтобы поддерживать уровень знаний сотрудников на должном уровне.

В перспективе дальнейшее развитие технологий, таких как искусственный интеллект и машинное обучение, откроет новые возможности для проектирования интерьеров судовых помещений. Алгоритмы смогут анализировать большие объемы данных и предлагать оптимальные решения на основе заданных параметров и ограничений. Это позволит создавать еще более функциональные, безопасные и комфортные пространства на борту судов.

Методика проектирования интерьеров судовых помещений с использованием современных средств программного обеспечения предлагает комплексный подход, объединяющий традиционные принципы эргономики, функциональности и эстетики с возможностями цифрового моделирования и визуализации. Она нацелена на создание комфортных, безопасных и эффективных пространств на борту судна, отвечающих специфическим требованиям морской среды и нуждам экипажа и пассажиров.

Ключевым аспектом данной методики является использование специализированных программных пакетов, таких как CAD/CAM системы, инструменты для 3D-моделирования и рендеринга, а также программное обеспечение для анализа освещения и акустики. Эти инструменты позволяют создавать детальные виртуальные модели помещений, экспериментировать с различными планировками, материалами и цветовыми решениями, а также оценивать их влияние на функциональность и визуальное восприятие.



Рис. 9. Пример возможности программного обеспечения VR

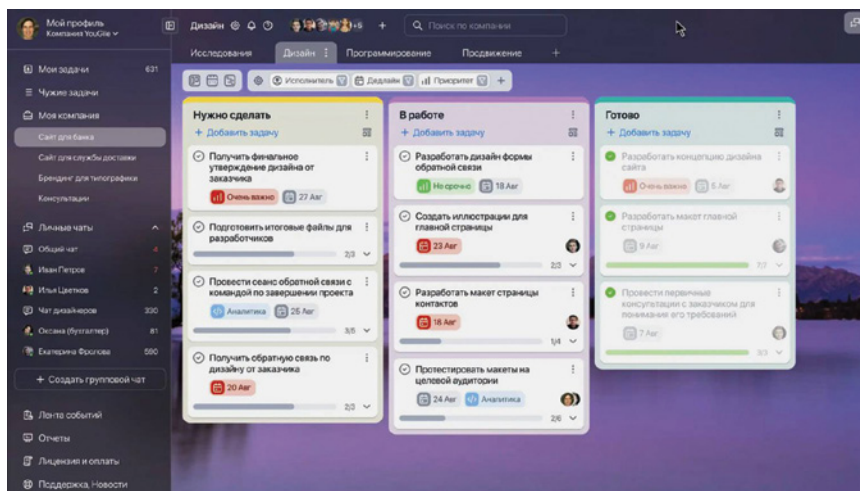


Рис. 10. Пример интерфейса программы YouGile

Применение современных средств программного обеспечения существенно сокращает время проектирования, снижает вероятность ошибок и обеспечивает более высокую точность и детализацию проектной документации. Кроме того, виртуальные модели позволяют проводить предварительную оценку различных сценариев использования помещений, выявлять потенциальные проблемы и оптимизировать проектные решения до начала строительных работ.

Важным моментом в методике обозначен учет нормативных требований и стандартов, предъявляемых к судовым помещениям, включая требования к безопасности, пожарной безопасности, гигиене и эргономике. Современное

программное обеспечение позволяет автоматизировать проверку соответствия проектных решений этим требованиям, что значительно упрощает процесс согласования и утверждения проектной документации.

В конечном итоге использование современных средств программного обеспечения в проектировании интерьеров судовых помещений позволяет создавать высококачественные, функциональные и эстетически привлекательные пространства, отвечающие самым высоким требованиям и стандартам. Это способствует повышению комфорта и безопасности на борту судна, а также улучшению условий работы и отдыха экипажа и пассажиров.■

С начала XXI в. важное место в военно-техническом сотрудничестве (ВТС) ведущих мировых держав занимают проекты, предусматривающие не поставку готовой продукции – кораблей и судов, а пакеты предложений прежде всего по организации строительства кораблей на территории инозаказчика, модернизации верфей и передаче инозаказчику соответствующих технологий. Такое индустриальное сотрудничество предусматривает контрактацию цикла работ с инозаказчиком в рамках совместного проектирования, передачи технической информации и технологий, модернизации верфей с дальнейшим сопровождением строительства.

В области надводного кораблестроения ряд стран, претендующих на формирование сбалансированных военно-морских сил (ВМС), определили направления развития индустриального сотрудничества (ИС).

Для определения тенденций в области надводного кораблестроения на основании исходных данных из открытых источников был выполнен анализ статистики с 2000 по 2024 г. и планов, включая заявленные тренды и озвученные программы развития ВМС.

Для сравнительной оценки проектов и форм индустриального сотрудничества предлагается использовать ряд критериев, позволяющих в формализованном виде выполнить интегральную оценку ИС (F). В общем случае функционал может быть представлен в виде

$$F = f(T, Ц, N, D, L),$$

где T – период реализации проекта с момента подписания контракта до ввода в строй последнего корабля серии, годы; $Ц$ – стоимость реализации проекта, долл.; N – планируемая (реализованная) серия строительства кораблей, ед.; L – уровень локализации; D – доля локализации (заявленная или расчетная), %.

Формализация периода реализации проекта, стоимости и серии стро-

ительства очевидна и имеет числовые значения. Однако уровень локализации (УЛ) – параметр, определяющий степень участия верфи заказчика в выполнении цикла судостроительных работ, может быть экспертно определен следующим образом:

1-й уровень – поставка полностью готового корабля из страны импортера;

2-й уровень – поставка корабля из страны-импортера, его дооборудование на верфи заказчика;

3-й уровень – часть секций корабля изготавливается в стране-импортере, часть – на верфи заказчика. Окончательная сборка корабля – на верфи заказчика;

4-й уровень – выполнение полного цикла судостроительных работ на верфи заказчика (лицензионное строительство). Даже если головной корабль или часть кораблей серии при этом строились в соответствии с 1–3 уровнями, полагаем что конечный уровень локализации – 4.

В данной работе предлагается рассматривать только примеры ИС по пос-

тавке ВМТ со 2–4-м уровнями локализации. Уровень локализации напрямую связан с долей локализации (ДЛ), поскольку диапазон ее «баллов» (процентов) зависит от уровня локализации. В свою очередь ДЛ отражает долю производственных процессов, осуществляемых на территории страны при непосредственном участии или содействии третьих стран.

Основные производственные процессы, характерные для поставки ВМТ и предлагаемые к оценке в данной работе при определении ДЛ, представлены на рис. 1.

Ранее в процессе подготовки предложений по лицензионному строительству было принято учитывать объем используемых (поставляемых) комплектующих, материалов, оборудования, а также услуг. В современной практике мирового судостроения прослеживается тенденция применения на экспортируемых в третьи страны проектах определенного «универсального» набора систем вооружения, основных механизмов, производимых европейскими странами либо



Рис. 1. Основные производственные процессы, рассматриваемые при оценке УЛ

МИРОВОЙ ОПЫТ ИНДУСТРИАЛЬНОГО СОТРУДНИЧЕСТВА В СФЕРЕ СТРОИТЕЛЬСТВА БОЕВЫХ НАДВОДНЫХ КОРАБЛЕЙ КЛАССОВ ОРВ, КОРВЕТ И ФРЕГАТ ЧАСТЬ 1

А. В. Архипов, д-р техн. наук, проф., зам. ген. директора АО «Северное ПКБ» по надводному кораблестроению – ген. конструктор надводных кораблей океанской зоны и их вооружения,

В. А. Евсеев, д-р техн. наук, гл. эксперт Департамента ВТС АО «ОСК»,

Д. В. Курочкин, канд. техн. наук, начальник отдела ВЭД

Северного ПКБ «ОСК»,

контакт. тел. (812) 702 3005

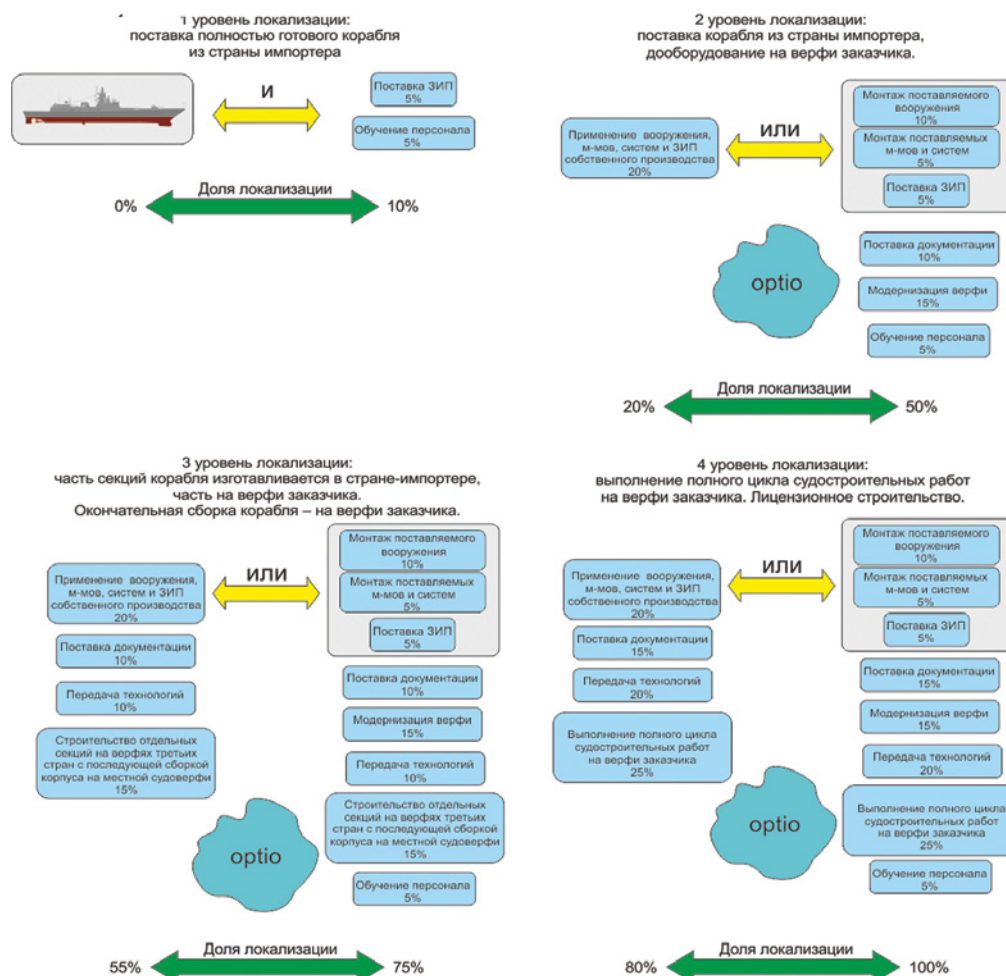


Рис. 2. Соответствие уровней и долей локализации в зависимости от учитываемых факторов

КНР. Поэтому в нашем случае целесообразно рассматривать не объем поставляемого вооружения и оборудования, а возможность их монтажа на верфи заказчика, что связано с наличием необходимого оборудования и квалификацией персонала верфи. При этом следует принимать во внимание, что пусконаладочные работы будут производиться в основном представителями поставщиков вооружения и оборудования.

Исходя из вышеизложенного, предлагается определять ДЛ «баллами» (процентами), которые начисляются за каждый из факторов, рассматриваемых как пропорциональное распределение затраченных средств при строительстве корабля (серии):

- поставка документации для дооборудования или строительства (10–15%);
- модернизация верфи (15%);
- передача технологий (10–20%);
- строительство отдельных секций на верфях третьих стран, часть на верфи заказчика с последующей сборкой корпуса на местной судовой верфи (15%);
- выполнение полного цикла судостроительных работ (лицензионное строительство). Данный фактор принимается во внимание в том случае, если хотя бы один корабль серии

полностью строился на верфи заказчика (25%);

- монтаж поставляемого вооружения (10%);
- монтаж поставляемых механизмов и систем (5%);
- приобретение ЗИП (5%) либо применение собственного вооружения, механизмов, систем, ЗИП (20%);
- обучение персонала верфи заказчика (5%).

«Баллы» предлагается определять эмпирически, исходя из значимости каждого из перечисленных факторов в формировании облика национальной

промышленности – судостроения.

На рис. 2 представлено соответствие уровней и ДЛ в зависимости от факторов, учитываемых в процессе подготовки предложений по индустриальному сотрудничеству.

Далее рассматриваются примеры индустриального сотрудничества при строительстве кораблей различных классов в интересах третьих стран.

ПАТРУЛЬНЫЕ КОРАБЛИ, OFFSHORE PATROL VESSELS (OPV)

Vigilante 400 CL54 (Франция)/NPa 500 (Бразилия) (рис. 3). Строительство



Рис. 3. Патрульный корабль «Масаэ» ВМС Бразилии

серии кораблей осуществляется в рамках лицензионных соглашений на право использования при этом французского проекта, подписанных с французским предприятием *Constructions Mecaniques de Normandie (CMN)*. Французский проект *Vigilante 400 CL54* в качестве платформы для реализации программы был выбран в июле 2006 г. В октябре того же года был заключен и первый контракт на использование проекта, второй – шесть месяцев спустя.

15 сентября 2008 г. было заключено лицензионное соглашение, предоставляющее заказчику право использовать проект при строительстве четырех дополнительных кораблей *NP 500*. Контракт на поставку первых двух кораблей («*Masaé*» и «*Masaui*») был подписан с бразильской судостроительной компанией *INACE (Industria Naval do Ceara's Fortaleza)*. Соглашение на строительство второй партии из четырех кораблей (2009 г.) было подписано с компанией *EISA (Estaleiro Ilha)*. Контракт на постройку седьмого корабля был заключен в декабре 2011 г.

В дальнейшем на базе *Vigilante 400 CL54* Бразилией был спроектирован собственный патрульный корабль «*NP 500-BR*». Начавшийся в 2006 г. проект до сих пор не завершен. Судя по информации из открытых источников, на конец 2024 г. только три корабля серии построено, а всего заложено пять (из семи). Информация по модернизации верфей отсутствует. Ранее говорилось о планах флота по приобретению 46 (позже – 27) кораблей этого типа.

По информации из открытых источников, в 2020 г. стоимость головного корабля оценивалась в 154 687 509 реалов (ок. 28,5 млн. долл. США). Тогда строительство всей серии можно приблизительно оценить в 145 млн. долл. США.

Таким образом, в соответствии с принятыми критериями их значения для данного проекта следующие: *T* – 2006 г. – по н. в.; *Ц* – ок. 28,5 млн. долл. США за головной, 145 млн. долл. – за семь кораблей; *N* – 7 (3); *D* – 85%; *L* – 4.

Fassmer OPV-80 (Германия) / OPV-80 (Колумбия) (рис. 4). Корабли *OPV-80* для минобороны Колумбии были построены в 2007–2019 гг. по лицензии немецкой компании *Fassmer*. Изначально командование ВМС Колумбии планировало приобрести четыре патрульных корабля, но позже государственная программа оборонных закупок была расширена, и военный флот заказал еще две единицы. По факту было построено только три корабля.

Стоимость строительства одного корабля оценивается в 67 млн. долл. США. Соответственно стоимость строительства серии из трех кораблей мож-



Рис. 4. Патрульный корабль «7 de Agosto» ВМС Колумбии



Рис. 5. Патрульный корабль «Pahang» ВМС Малайзии

но оценить примерно в 140 млн. долл. Информация о модернизации верфи отсутствует.

Таким образом, для данного проекта: *T* – 2007–2019 гг.; *Ц* – ок. 67 млн. долл. за головной корабль, 140 млн. – за три корабля; *N* – 6 (3); *D* – 85%; *L* – 4.

МЕКО А-100 (Германия)/МЕКО 100 RMN (Малайзия). В ноябре 2000 г. по результатам проведенного тендера правительство Малайзии заключило с судостроительной компанией *Penang Shipbuilding and Construction (PSC)* и немецким консорциумом, возглавляемым *Blohm und Voss*, контракт на строительство шести патрульных кораблей нового поколения.

Стоимость программы строительства серии оценивается в 5,3 млрд. рингитов (1,5 млрд. долл.). Проект корабля разработан на базе немецкого корвета *МЕКО А-100*. Первые два корабля «*Kedax*» и «*Pahang*» (рис. 5) были построены в 2003 г. в Германии и отправлены в Малайзию для оснащения системами вооружения и дополнительным оборудованием. Последующие четыре корабля строились в Малайзии.

Проект можно считать полностью успешно реализованным: *T* – 2011–2010 гг.; *Ц* – 1,5 млрд. долл.; *N* – 6 (6); *D* – 85%; *L* – 4.

«River» (Великобритания) / «Krabi» (Таиланд) (рис. 6). В соответствии с соглашением о передаче проектной документации и технологий между компаниями *BAE Systems* и *Bangkok Dock*, подписанным в 2009 г., ВМС Таиланда получили два патрульных корабля прибрежной зоны типа «*Krabi*», построенных по модифицированному проекту «*River*» ВМС Великобритании. Строительство велось на тайской верфи *Mahidol Adulyadej Naval Dockyard*. Головной патрульный корабль прибрежной зоны «*Krabi*» ВМС Таиланда приняли на вооружение 26 августа 2013 г.

В сентябре 2015 г. командование военно-морских сил Таиланда подписало с компанией *Bangkok Dock* контракт на разработку проекта, закупку материалов и связанного оборудования, а также оказание услуг в рамках строительства нового патрульного корабля прибрежной зоны (*OPV*). В конце января 2016 г. *Bangkok Dock* и британская

BAE Systems заключили соглашение о сотрудничестве, предусматривающее поддержку постройки корабля британской компанией.

В процессе строительства кораблей Bangkok Dock получил необходимую техническую помощь от британской проектной группы, реализующей программу строительства кораблей типа «River» для британского флота. Такая форма сотрудничества позволила расширить возможности ОПК Таиланда по строительству боевых кораблей различных типов и предоставить ему независимость по данному направлению от иностранных поставщиков. Приобретая необходимый опыт власти Таиланда намерены включить требование передачи технологий практически в каждый крупный контракт, реализуемый с участием иностранной компании.

Второй корабль этого класса «Prachuap Khiri Khan» вошел в состав флота в 2019 г. Всего предполагалась постройка шести кораблей. Общая стоимость контракта составила 8,3 млрд. батов (234, 2 млн. долл.).

Таким образом, в соответствии с принятыми критериями для данного проекта: T – 2009–2019 гг.; $Ц$ – 234,2 млн. долл.; N – 6 (2); D – 85%; L – 4.

КОРВЕТЫ

BR70 (Франция)/«Bainunah» (ОАЭ) (рис. 7). Корветы типа «Bainunah» строились для ВМС Объединенных Арабских Эмиратов. За основу был взят проект корвета BR70, разработанный французской компанией Constructions Mecaniques de Normandie (CMN).

Контракт на проектирование и постройку четырех корветов проекта общей стоимостью 540 млн. долл. был подписан ВМС ОАЭ с Abu Dhabi Ship Building (ADSB) в конце декабря 2003 г. и включал опцион на дополнительную поставку двух кораблей. Опцион был реализован в июле 2005 г., что увеличило стоимость проекта до 1 млрд. долл. (по другим данным – 820 млн. долл.).

Строительство головного корабля осуществлялось французской компанией CMN, которая впоследствии обеспечила передачу технологий для производства непосредственно в Эмиратах. О модернизации верфи Abu Dhabi Ship Building информация отсутствует.

Проект полностью успешно реализован. Значения принятых критериев для данного проекта: T – 2003–2017 гг.; $Ц$ – до 1,0 млрд.; N – 6 (6); D – 85%; L – 4.

«Gowind-2500» (Франция)/«El Fateh» (Египет) (рис. 8). Контракт на поставку ВМС Египта четырех корветов типа «Gowind-2500» был подписан в июне 2014 г. и вступил в силу в июле 2015 г. Соглашением предусмат-



Рис. 6. Патрульный корабль «Krabi» ВМС Таиланда



Рис. 7. Корвет «Bainunah» ВМС ОАЭ



Рис. 8. Корвет «El Fateh» ВМС Египта

ривалась постройка головного корабля во Франции (в течение 29 месяцев) и еще трех корветов – на государственной судовой верфи в Александрии (Египет) в рамках соглашения о передаче технологий. Предположительно, стоимость контракта составила 1 млрд. евро (1,4 млрд. долл.). Контракт также включал опцион на постройку двух дополнительных кораблей.

Церемония резки стали для постройки головного корвета состоялась на предприятии в Лорьяне 16 апреля 2015 г. Сборка корпуса корабля началась в конце сентября 2015 г. Спуск на воду головного корвета «El Fateh» состоялся 17 сентября 2016 г.

DCNS предоставила всю техническую документацию, обучила группу египетских специалистов в Лорьяне и направила своих специалистов в Александрию для оказания содействия при постройке следующих кораблей серии.

16 апреля 2016 г. на предприятии Alexandria Shipyard в Александрии прошла церемония резки стали для второго корвета класса «Gowind-2500». К настоящему моменту проект полностью реализован.

Таким образом, значения принятых критериев для данного проекта: T – 2015 г. – по н. в.; $Ц$ – 1,4 млрд.; N – 4; D – 85%; L – 4. ■

Продолжение следует

Одним из важнейших этапов строительства корабля является монтаж оборудования, которое устанавливается на фундаменты, отвечающие общим и при необходимости специальным требованиям. Особое место при монтаже занимает оборудование пространственного размещения (далее по тексту – оборудование), устанавливаемое на фундаменты, которые должны быть разнесены в пространстве корпуса корабля. Фундаменты ставятся на специальные подкрепления или корпусные конструкции, для изготовления которых используются комплектующие изделия (КИ), в том числе собственного производства, поставляемые, как правило, россыпью. На корабле для изготовления таких конструкций проводят сборочно-сварочные работы, которые содержат многократно повторяющиеся доработки, подгонки, измерения, шлифовки и другие операции для достижения точности положения фундаментов относительно друг друга и базовых координат корабля с учетом его крена и дифферента, а также для устранения сварочных деформаций [1].

Для сокращения трудоемкости и сроков монтажа на корабле оборудования пространственного размещения предлагается технология беспригоночного монтажа, по которой в цеху судостроительного предприятия создается корпусная конструкция с фундаментами. Затем эта конструкция перемещается на корабль, где закрепляется, и на ее фундаменты устанавливается соответствующее оборудование.

ПРОСТРАНСТВЕННОЕ ПОЛОЖЕНИЕ ФУНДАМЕНТОВ

Пространственное размещение фундаментов под устанавливаемое оборудование выполняется в соответствии с конструкторской документацией (КД), которая содержит КИ и чертежи, в которых указываются геометрические размеры фундаментов, их положение относительно друг друга и в объеме корпуса корабля, плоскостность, параллельность и другие положения.

В качестве примера на рис. 1, а и б в двух проекциях – вид сверху и вид сбоку – представлены три фундамента, один верхний (ВФ) и два нижних фундамента (НФ), которые представляют собой кольца, на опорные поверхности которых устанавливается оборудование.

Схемы, представленные на этих рисунках, разработаны на основе КД. В центре схем размещается измерительный прибор, относительно которого показано положение фундаментов. По КД сформирован перечень параметров, ко-

ТЕХНОЛОГИЯ БЕСПРИГОНОЧНОГО МОНТАЖА ОБОРУДОВАНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАЗМЕЩЕНИЯ

Б. В. Грек, д-р техн. наук, ведущий специалист
АО «Концерн «Научно-производственное объединение «Аврора»,
Я. В. Рябис, зам. ген. директора по ремонту
и модернизации надводных кораблей
АО «Производственное объединение «Севмаш»,
контакт. тел. (812) 702 5971, (8184) 50 5945

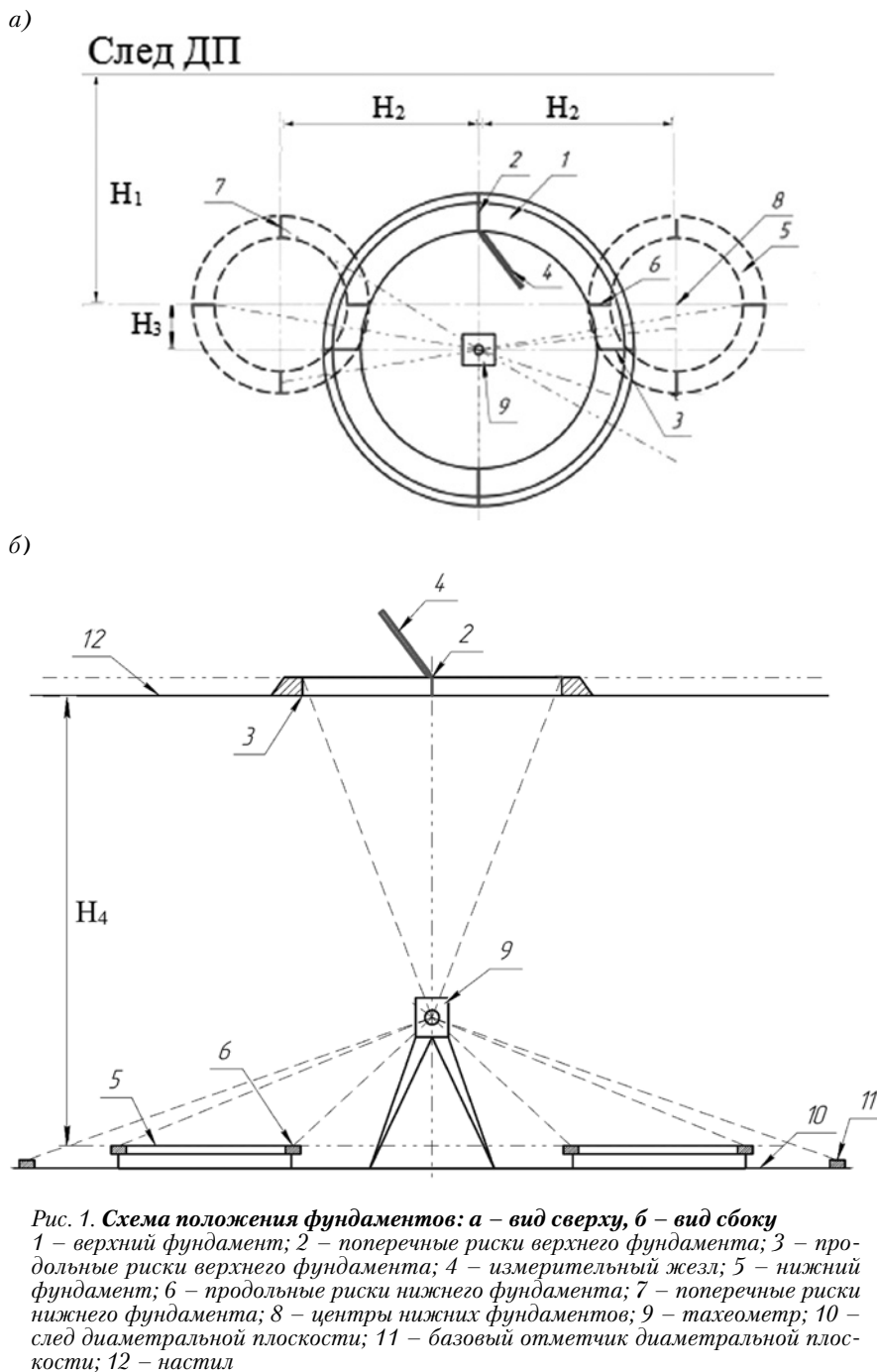


Рис. 1. Схема положения фундаментов: а – вид сверху, б – вид сбоку
1 – верхний фундамент; 2 – поперечные риски верхнего фундамента; 3 – продольные риски верхнего фундамента; 4 – измерительный жезл; 5 – нижний фундамент; 6 – продольные риски нижнего фундамента; 7 – поперечные риски нижнего фундамента; 8 – центры нижних фундаментов; 9 – тахеометр; 10 – след диаметральной плоскости; 11 – базовый отметчик диаметральной плоскости; 12 – настил

Перечень параметров пространственного положения фундаментов

№ п/п	Наименование измеряемого параметра	Обозначение параметра	Величина по чертежу
1	Отстояние продольной оси симметрии ВФ от следа ДП	А	H1 ± 1,5 мм
2	Совпадение поперечной оси симметрии ВФ и следа ПШ	Б	±8' (угл.мин)
3	Параллельность опорной поверхности ВФ к горизонтальной ОП корабля с учетом крена и дифферента корабля	В	±3' (угл.мин)
4	Отстояние центров НФ от поперечной оси симметрии ВФ	Г	H2 ± 1,5 мм
5	Отстояние продольных осей симметрии НФ и ВФ	Д	H3 ± 1,5 мм
6	Отстояние по высоте между опорными поверхностями ВФ и НФ	Е	H4 ± 1,5 мм
7	Перпендикулярность продольной оси симметрии НФ к поперечной оси симметрии ВФ	Ж	±3' (угл.мин)
8	Совпадение осей симметрии ВФ с их разметкой на палубе	З	±2,5 мм
9	Плоскостность опорной поверхности ВФ	И	±2,5 мм
10	Плоскостность опорных поверхностей НФ	К	±2,5 мм
11	Параллельность опорных поверхностей НФ и ВФ	Л	±3' (угл.мин)

торые представлены в таблице и характеризуют положение фундаментов в пространстве корпусной конструкции, а также относительно диаметральной плоскости (ДП), плоскости шпангоута (ПШ) и горизонтальной основной плоскости (ОП) корабля с учетом его крена и дифферента.

Значения параметров в таблице указаны с учетом допусков, в пределах которых устанавливаемое на фундаменты оборудование выполняет свое назначение. Рядом с наименованиями измеряемых параметров буквами указаны их двоичные обозначения от А по Л (включительно). Обозначенная двоичная переменная принимает значение 1, если измеряемое значение соответствует значению, представленному в таблице 1, 0 – в противном случае.

СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ

Для измерения параметров изготавливаемых конструкций применяются квадрант КО-10, линейки, угольники, а также высокоточные оптоэлектронные средства трехмерных измерений, к которым относятся тахеометр электронный Leica TDRA 6000 и система лазерная координатно-измерительная Leica AT-401. В основу измерений положен косвенный геодезический метод определения расстояний и углов в системе полярных координат, которые, как показано на рис. 2, затем преобразуются в систему прямоугольных координат XYZ.

Контрольные точки объекта измерения определяют контактным или бесконтактным методами. *Первый метод* предусматривает установку на контрольную точку углового отражателя, на который визируется лазерный луч тахеометра (трекера). При применении *второго метода* контролируемая точка

визуализируется пятном лазерного луча на поверхности объекта.

После отражения от углового отражателя или поверхности объекта луч поступает в измерительную систему прибора, в которой вырабатывается векторная информация о дистанции до объекта, а также азимутальном угле и угле возвышения. На основе результатов этих измерений рассчитываются три координаты контролируемой точки в системе координат прибора:

$$\begin{aligned} zA &= D \cdot \sin\theta; \\ xA &= D \cdot \cos\theta \cdot \sin\Psi; \\ yA &= D \cdot \cos\theta \cdot \cos\Psi. \end{aligned} \quad (1)$$

Координаты контролируемых точек, полученных в ходе измерений, обрабатываются в среде ПО SpatialAnalyzer.

При выполнении работ на корабле, как правило, используют два тахеометра в режиме теодолитов. После загрузки фундамента на корабль на обработанную площадку фундамента устанавливают зеркальный контрольный элемент. Напротив зеркала устанавливается тахеометр № 1, и в режиме автоколлима-

ции определяется положение нормали зеркала. Тахеометр № 2 устанавливался в створ внешней базы, определяющей положение ОП корабля. С тахеометра № 2 на тахеометр № 1 методом «сетка в сетку» передается направление, параллельное базе, и определяется разворот нормали зеркала относительно ОП корабля.

ИЗГОТОВЛЕНИЕ СБОРОЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Для оборудования, представленного на рис. 1, а и б, нижние фундаменты размещаются на палубе корабля, а верхний фундамент – в конструкции, именуемой в дальнейшем агрегат, которая создается сборочно-сварочным способом на основе агрегатирования.

Под *агрегатированием* понимается процесс укрупнения по общим принципам компоновки технически сложных изделий из КИ на единой несущей конструкции [2]. Целью агрегатирования является снижение затрат на монтаж КИ, входящих в агрегат, при минимизации

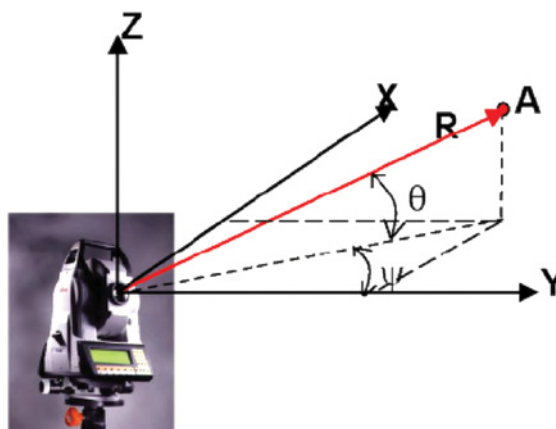


Рис. 2. Принципиальная схема измерения координат точки А

общих объемов. Агрегат и фундаменты создаются на стенде в цеху судостроительного предприятия, так как трудоемкость сборочно-монтажных работ на стенде благодаря лучшим условиям труда, значительно ниже трудоемкости аналогичных работ, выполняемых на корабле.

Стенд обеспечивает устойчивое размещение КИ в 3-мерной системе координат, оси которой являются монтажной базой. При изготовлении агрегата и фундаментов используются оснастка, стационарные средства измерения и станки, обеспечивающие точную механическую компоновку и соблюдение требований к конфигурации, размерам и положению агрегата, верхних и нижних фундаментов.

Агрегат содержит продольные и поперечные подкрепления, закрытые обшивкой. На настиле агрегата размещается верхний фундамент, нижние фундаменты устанавливаются на палубе корабля и поставляются на него отдельно от агрегата. Оси монтажной базы наносятся на агрегат и фундаменты для их последующего размещения на корабле в системе построения базы.

После сборочно-сварочных работ выполняется предварительная механическая обработка опорных поверхностей фундаментов, в процессе которой снимаются побочные продукты сварки и сварочные деформации. Контроль за обработкой фундаментов проводится по значениям параметров, указанных в таблице. Предварительная механическая обработка фундаментов завершается, если значения параметров с допусками соответствуют требованиям КД.

УСТАНОВКА ФУНДАМЕНТОВ ПОД ОБОРУДОВАНИЕ

Технология установки фундаментов на корабле разделена на три этапа: сначала на корабль сборочно-сварочным способом устанавливается агрегат с верхним фундаментом, затем устанавливаются нижние фундаменты, на заключительном этапе выполняется чистовая механическая обработка опорных поверхностей фундаментов под оборудование пространственного размещения.

Процесс установки фундаментов представляется структурными схемами, в которых исполнительные операторы отражают выполняемые работы, а условные операторы содержат результаты измерения контролируемых параметров.

Результаты измерений отображаются значениями двоичных переменных, которые представлены в таблице, а так-

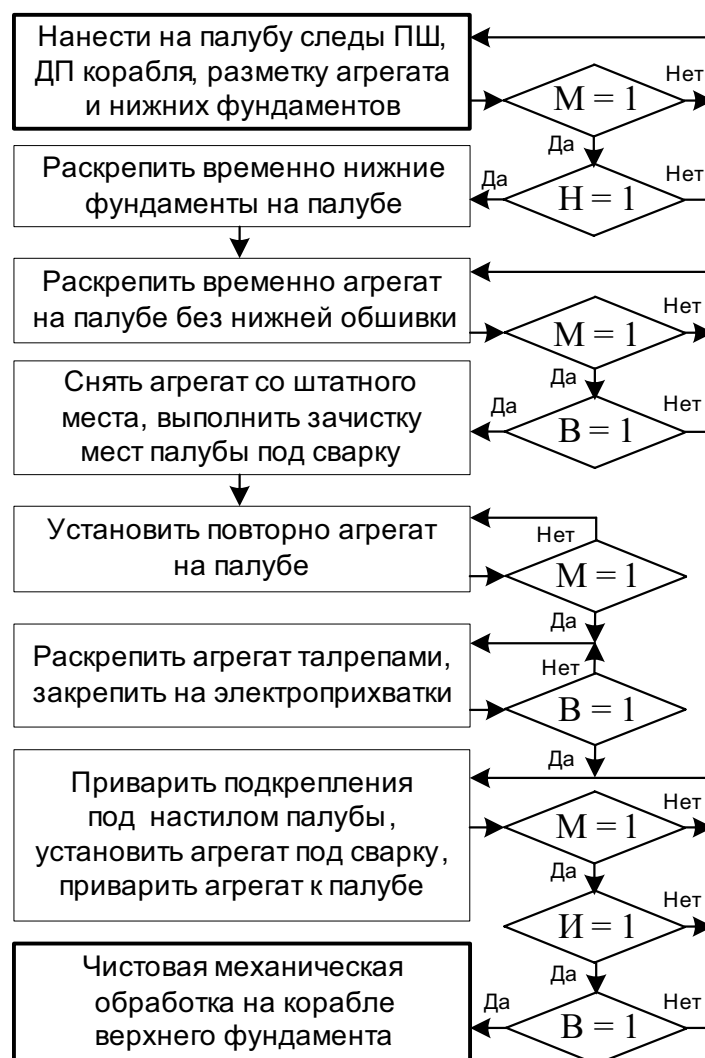


Рис. 3. Структурная схема технологии монтажа агрегата

же значениями новых переменных, которые получают путем перемножения ранее обозначенных в таблице:

$$M = A \cdot B; H = D \cdot J; \\ P = G \cdot I \cdot K \cdot L. \quad (2)$$

В выражениях (2) значение переменной M отражает положение фундаментов относительно базовых плоскостей ДП и ПШ корабля, переменная H показывает положение продольных осей симметрии НФ относительно ВФ, а переменная P характеризует положение и состояние опорных поверхностей фундаментов.

Условные операторы при нулевых значениях двоичных переменных не разрешают завершение выполняемых работ для достижения требуемых значений контролируемых параметров, а при значениях, равных 1, обозначают выполнение назначенных работ.

Структурная схема установки агрегата представлена на рис. 3, и основными работами по установке агрегата на палубе корабля являются:

- нанесение на палубу следов ДП и ПШ корабля; положение ОП корабля определяется по центральной

контрольной площадке (КП) или районной КП;

- разметка агрегата с ВФ и разметка НФ для позиционирования;
- временное размещение НФ на палубе корабля;
- временное размещение агрегата на палубе без нижнего пояса обшивки для определения мест зачистки палубы под сварку агрегата;
- установка агрегата на палубе корабля после зачистки мест под сварку;
- раскрепление агрегата талрепами и фиксация электроприхватками;
- приварка подкреплений под настилом палубы для обеспечения жесткости размещения агрегата на палубе;
- сварка агрегата.

Контроль выполняемых работ проводится по значениям двоичных переменных M, H, B, I .

Структурная схема размещения НФ на палубе корабля представлена на рис. 4, и основными работами по установке НФ являются:

- подготовка палубы корабля под сварку НФ;

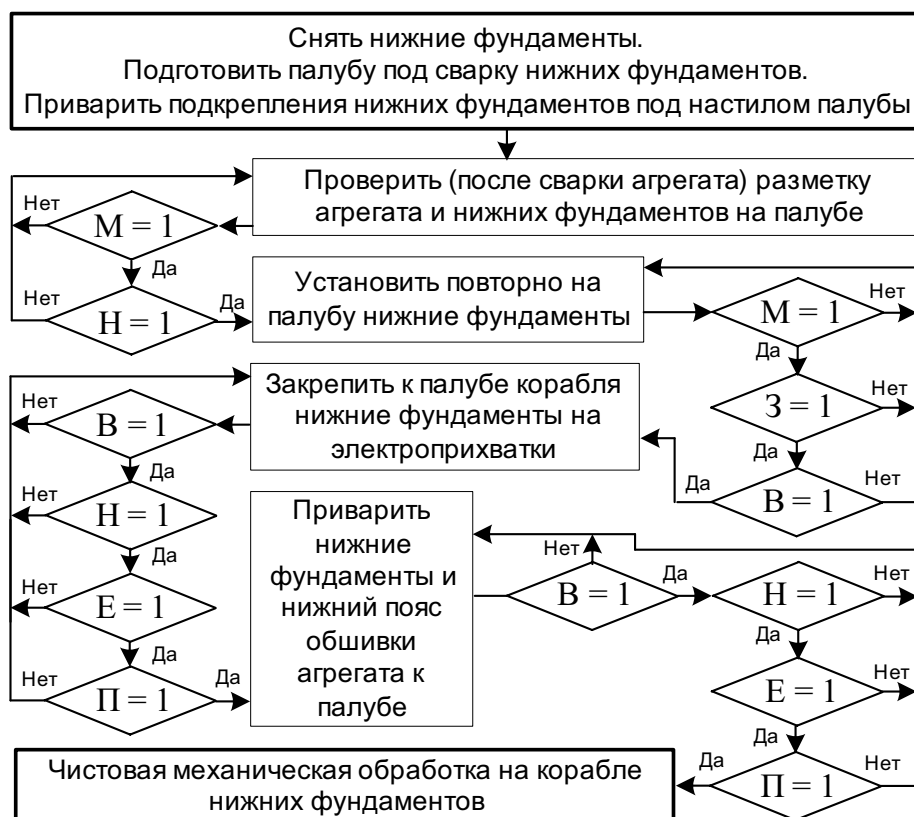


Рис. 4. Структурная схема технологии монтажа нижних фундаментов

- размещение подкреплений под настилом палубы НФ;
- проверка позиционирования агрегата после сварки по разметке НФ;
- повторная установка НФ на палубу корабля;
- размещение и фиксация на электроприхватки НФ;
- приварка НФ к палубе корабля.

Контроль выполняемых работ проводится по значениям двоичных переменных М, Н, В, Е, З и П.

Окончательная чистовая механическая обработка фундаментов под устанавливаемое оборудование выполняется с помощью переносного оборудования и переносных средств измерения.

Выводы

1. В составе изделий, монтаж которых проводится на корабле, существует оборудование, для его установки требуется пространственное размещение фундаментов в корпусе корабля в соответствии с требованиями КД.

2. Для снижения трудоемкости и сокращения сроков монтажа оборудования пространственного размещения предлагается технология, основными элементами которой являются изготовление в цеху судостроительного предприятия агрегата с фундаментами, перемещение их на корабль, закрепление на корабле с последующей установкой на фундаменты упомянутого оборудования.

3. Агрегат и фундаменты изготавливаются из КИ, в том числе собственно производства, поставляемых россыпью, в условиях стенда, обеспечивающего точную механическую компоновку и соблюдение требований к конфигурации, размерам и положению фундаментов.

4. Установка агрегата и фундаментов на корабле проводится по структурным схемам, исполнительные операторы которых отражают выполняемые работы, а условные операторы содержат результаты измерений контролируемых параметров, представляемые двоичными

переменными, с переходами по их значениям в обеспечение выполнения требований КД.

5. Беспригоничный монтаж оборудования пространственного размещения на корабле обеспечивается принятыми значениями контролируемых параметров и последовательностью выполняемых работ по изготовлению и установке на корабле фундаментов, соответствующих требованиям КД к геометрическим размерам опорных поверхностей, их взаимному положению и положению относительно ДП, ПШ и ОП корабля с учетом его крена и дифферента.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гаврилюк Л. П. Общие основы технологии монтажа судового оборудования. – СПб.: ОАО «ЦТСС», 2012. – 248 с.
2. Герасимов Н. И. Технология монтажа судового энергетического оборудования. – СПб.: ОАО «ЦТСС», 2014. – 622 с. ■

Северодвинское предприятие ОСК «Арктика» известно как лидер электромонтажных предприятий России. Ежегодно для выполнения электромонтажных работ требуется до 3000 км кабельной продукции.

Деятельность «Северного производственного объединения «Арктика» связана не только с монтажом электрооборудования, ремонтом и регулировкой систем навигации, радиосвязи, радиоразведки на кораблях и судах военного и гражданского назначения, но и прежде всего с кабельно-проводниковой продукцией (рис. 1).

В процессе обработки больших объемов этой продукции предприятие сталкивается с различными проблемами, которые препятствуют его планомерному развитию. Для измерения длины кабеля при его перемотке на участке входного контроля применяются счетные устройства со счетчиком импульсов, в которых заложена погрешность. Недостатка выявляется при заготовке последнего индекса с каждого барабана.

Изначально была реализована идея прохождения кабеля через направляющие, прикрепленные к металлическому столу, на котором располагался каплеструйный принтер. Исходя из расчета скорости перемотки кабеля, принтер должен был наносить маркировку на КПП через определенные одинаковые отрезки времени. Маркировка должна наноситься через каждый метр в процессе перемотки кабеля. Отделом технического развития СПО «Арктика» был подготовлен чертеж и 3D- модель стола для маркировки кабеля (рис. 2 и рис. 3).

После проведения эксперимента на опытном образце выяснилось, что кабель в процессе перемотки провисает, при смене провисания происходят толчки. Погрешность точности нанесения маркировки многократно превосходила погрешность, которая ранее отмечалась при измерениях длины с помощью штатных средств.

После проведения анализа всех недостатков, выявленных в ходе проведения эксперимента со столом для маркировки КПП, рабочей группой была предложена более совершенная модель маркировочной линии, конструкция которой позволила устранить ранее выявленные недостатки. Было принято решение использовать систему роликов, в которых кабель удерживается от проскальзывания. Это обеспечивает равномерную скорость перемотки без провисания и толчков. В новой модели маркировочной линии использованы имеющиеся в наличии приводные ролики от машин-

ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ЗАГОТОВКИ КАБЕЛЬНО-ПРОВОДНИКОВОЙ ПРОДУКЦИИ

А. В. Борисов, вед. аналитик Управления развития производственной системы,

Г. Б. Коробочкин, начальник цеха № 3,

А. Ю. Конев, зам. начальника цеха № 6,

А. И. Фунеров, зам. начальника цеха № 3,

С. А. Зиборов, мастер участка цеха № 6,

АО «Северное производственное объединение «Арктика»,
контакт. тел. (8184) 58 5433, arktika@spoarktika.ru



Рис. 1. Общий вид цеха технологической комплектации СПО «Арктика»

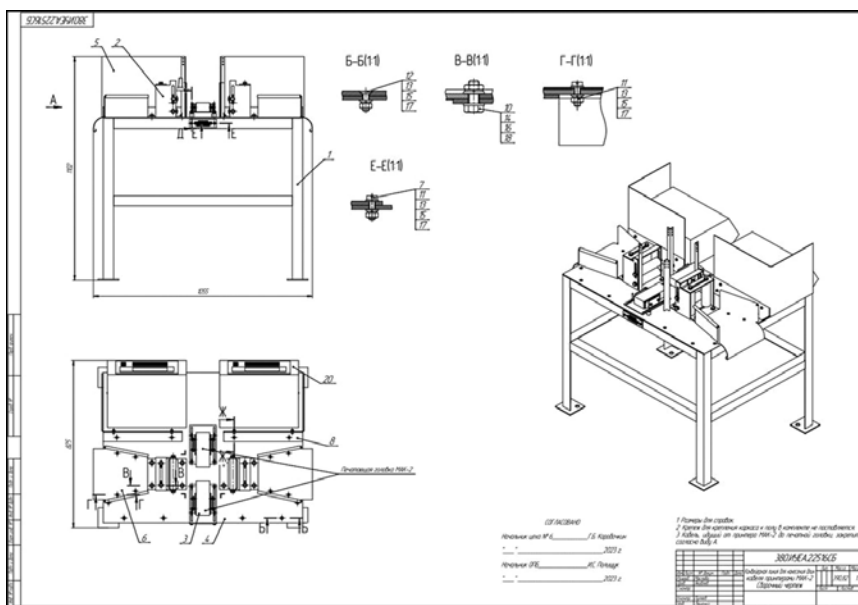


Рис. 2. Чертеж экспериментальной установки по нанесению маркировки на кабельно-проводниковую продукцию

ки для надевания оплётки на кабель (рис. 4).

В нижней части стального листа неподвижно зафиксированы направляющие четыре приводных ролика, по которым проходит кабель. Выше, на металлических направляющих, расположены еще четыре приводных ролика, которые могут перемещаться в вертикальной плоскости и которые можно фиксировать с помощью винтовых соединений с обратной стороны листа. Это обеспечивает надежную фиксацию кабеля в процессе перемотки.

В середине стального листа неподвижно закреплена рукоятка принтера для нанесения маркировки. Слева от рукоятки расположен один из приводных роликов, выполняющий функцию прижима кабеля к калибровочному ролику, который подключен к принтеру.

При перемотке электромонтажник укладывает кабель на нижние ролики и опускает фиксирующие ролики до создания оптимального прижимного усилия к наружной оболочке кабеля, фиксируя их положение. Затем конец кабеля проводится через направляющие ролики и измеритель длины марки ИДМ-65 ПВР для контроля, сверки точности линии маркировки и сравнения полученных результатов. Далее конец кабеля привязывается к щеке накопительного барабана шпагатом или изолированной жилой сечением до $2,5 \text{ мм}^2$ из обрезков кабеля.

На дисплее необходимо настроить печатающую головку принтера, ввести информацию о параметрах длины кабеля и установить линию реза. После настройки принтера электропривод барабана приводится в движение, начинается перемотка КПП совместно с работой линии маркировки. Через каждый метр длины кабеля на него краской наносятся линия реза и метраж.

В результате перемотки 400 м кабеля также было выявлено снижение погрешности при определении длины по сравнению с ИДМ-65 ПВР.

В соответствии с паспортом на изделие оценили погрешность измерения. В результате проведения нескольких перемоток кабеля в рамках эксперимента значения погрешности составили в среднем 0,3 м, что более чем в 3 раза ниже обычных значений.

Результаты реализации проекта позволили сократить длительность процесса заготовки кабельно-проводниковой продукции, увеличить производительность труда и, как следствие, повысить объем выпускаемой продукции. ■

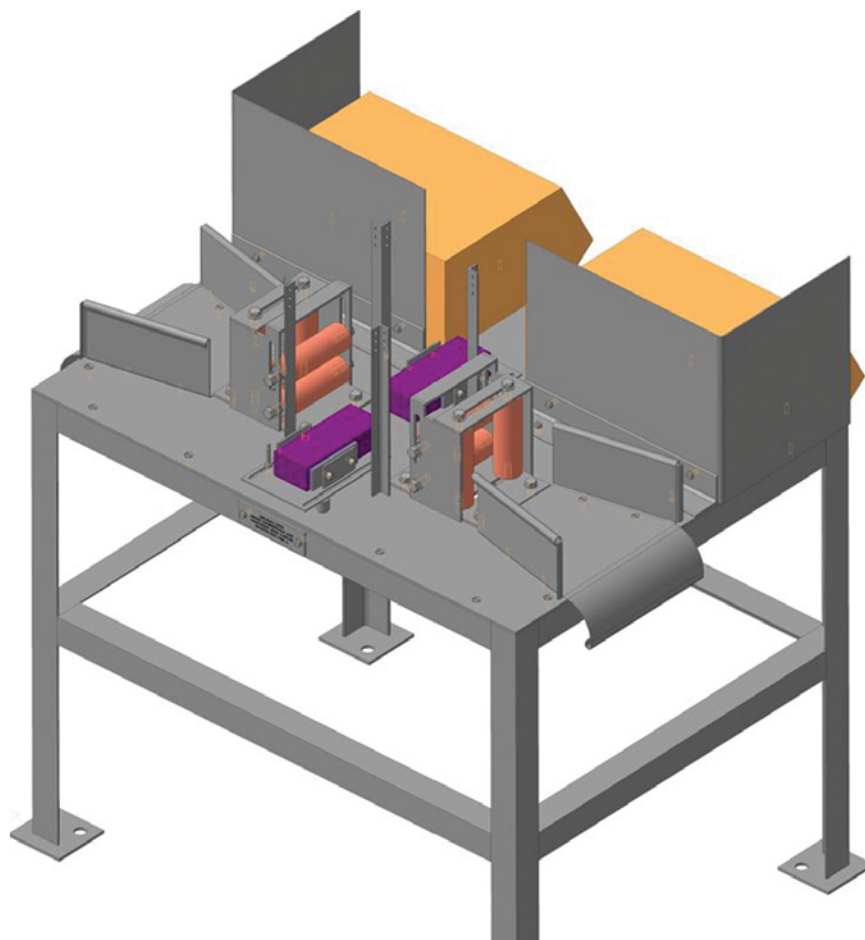


Рис. 3. 3D-модель экспериментальной установки по нанесению маркировки на КПП



Рис. 4. Линия, обеспечивающая повышенную точность маркировки КПП

22 июля 2025 г. на Средне-Невском судостроительном заводе ОСК состоялась торжественная церемония спуска на воду экскурсионно-прогулочного пассажирского катамарана «Габиион» пр. 04710 «Соммерс».

«Габиион» – третье судно в серии катамаранов этого проекта, которое построено в рамках соглашения о сотрудничестве между Минпромторгом России, туристско-рекреационным кластером «Остров фортов» и судоходной компанией «Нева Тревел», подписанного на полях Петербургского международного экономического форума.

Катамараны пр. 04710 спроектированы с учетом особенностей расположения туристических объектов в акватории Финского залива и будут осуществлять перевозки пассажиров к полностью изолированным от берега фортам «Кроншлот» и «Император Александр Первый», которые будут отреставрированы и открыты для посещения в 2026 г.

В праздничном мероприятии приняли участие представители региональной власти, администрация предприятия, заводчане и семьи корабелов.

Средне-Невский судостроительный завод уже передал заказчику два катамарана данного проекта – «Бастион» и «Равелин», осуществляющие регулярные перевозки пассажиров по экскурсионному маршруту вокруг фортов Кронштадта. Планируется, что «Габиион» выйдет в первый рейс уже в навигацию этого года.

29 июля на Средне-Невском судостроительном заводе ОСК состоялся спуск на воду катамарана «Форт Шанец» – последнего, шестого, судна этой серии. Построенные на Средне-Невском заводе катамараны пр. 04580 «Котлин» обеспечивают надежную транспортную связь с развивающимся патриотическим кластером в Кронштадте, создаваемым по поручению Президента России.

Катамараны серии «Котлин» сочетают преимущества речных и морских судов: низкое волнообразование и повышенную мореходность, что позволяет им передвигаться как по рекам Петербурга, так и в акватории Финского залива. Конструкция позволяет им проходить под городскими мостами. При скорости 27 уз (около 50 км/ч) каждое судно может перевозить до 200 пассажиров.

Строительство серии из шести катамаранов велось в рамках государственной программы обновления пассажирского флота: «Форт Кроншлот» и «Форт Пётр I» (переданы в 2023 г.), «Форт Александр I» и «Форт Тотлебен» (построены в 2024 г.), «Форт Обручев» и «Форт Шанец» (оба – спущены на воду в 2025 г.).

«Каждый катамаран этой серии – не просто судно, а шаг вперед в раз-

НА СРЕДНЕ-НЕВСКОМ СУДОСТРОИТЕЛЬНОМ ЗАВОДЕ СПУЩЕНЫ НА ВОДУ КАТАМАРАНЫ «ГАБИОН» И «ФОРТ ШАНЕЦ»

*Пресс-центр СНСЗ ОСК,
контакт. тел. (812) 648 3050*



Катамаран «Габиион»



Катамаран «Форт Шанец» на плаву



Генеральный директор СНСЗ В.А. Середохо, крестная мать катамарана «Габиион» Т.И. Чекалина, вице-губернатор СПб К.В. Поляков, генеральный директор СК «Нева Тревел» Ю.А. Набатов

витии современной и комфортной логистики на воде. Эти катамараны уже становятся новым туристическим символом Санкт-Петербурга, и мы рады, что город с гордостью показывает их своим гостям, в том числе на самом высоком уровне. «Форт Шанец», как и его предшественники, получил имя, отсылающее к морской истории Крон-

штадта, и символизирует уверенность, надежность и устойчивость курса, которого мы придерживаемся. После спуска еще многое предстоит сделать, но мы благодарим наших партнеров за проделанную работу, а пассажирам обещаем новые впечатления», – отметил генеральный директор судоходной компании «Нева Тревел» Юрий Набатов.■

В современном военно-морском и гражданском флоте России применяются самые разнообразные пропульсивные системы в зависимости от назначения кораблей, судов и катеров, потребной мощности главных двигателей, приемлемой экономичности, показателей надежности, удобства в эксплуатации, ресурса и многих других технических характеристик.

Пропульсивная система необходима для обеспечения поступательного движения и маневренности судов, преобразования энергии двигателя в тягу движителя для перемещения по воде, но основное их назначение – эффективная передача мощности от двигателя к движителю.

Такие системы могут различаться в зависимости от типа двигателя – дизельные, газотурбинные или паросиловые и пр., и от типа движителя – гребной винт фиксированного шага, гребной винт регулируемого шага, водометный движитель и пр. К пропульсивным системам скоростных катеров предъявляются более жесткие требования к их общей эффективности, удельной мощности, экономичности, надежности.

При выборе главных двигателей скоростных катеров, к ресурсу которых предъявляются также высокие требования, конструкторы стараются обеспечить им высокие показатели агрегатной мощности при минимальных габаритах и массе, а также высокие показатели надежности и низкий расход топлива.

Вопрос выбора двигателя всегда остро стоял перед судостроителями. Так, на ранних стадиях проектирования судна для определения типа двигателя конструкторов интересуют в первую очередь такие параметры, как диапазон регулируемой мощности, удельный вес и удельный расход топлива, а при постройке и эксплуатации – также экономические показатели, такие, как начальная стоимость энергетического оборудования, стоимость эксплуатации в течение всего жизненного цикла судна, технического обслуживания и ремонта.

При проектировании скоростных катеров наибольшее распространение получили энергетические установки с главными дизельными двигателями благодаря их высокой экономичности, большой агрегатной мощности и крутящему моменту, высокому моторесурсу и безотказности, несложному вспомогательному оборудованию и приемлемым компоновочным решениям при размещении в машинных отделениях. Совокупность перечисленных характеристик обуславливает использование дизельного двигателя в качестве базового варианта в составе пропульсивной системы, что подтвержда-

ПРОПУЛЬСИВНЫЕ СИСТЕМЫ СКОРОСТНЫХ КАТЕРОВ ПРОЕКТОВ АО «ЦМКБ «АЛМАЗ» И ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОМПЛЕКТУЮЩИХ ГРАЖДАНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

В. В. Барановский, д-р техн. наук, проф., зам. ген. директора,

В. С. Домнин, начальник сектора,

А. В. Довличарова, вед. инженер-конструктор,

АО «ЦМКБ «Алмаз»,

контакт. тел. (812) 373 2899, office@almaz-kb.ru

ется мировым опытом судостроения при создании скоростных катеров, яхт, кораблей и судов различного назначения.

Современный высокооборотный дизельный двигатель представляет собой сложный комплекс механизмов и агрегатов, в конструкцию которого входит более 4000 деталей, обеспечивающих привод газораспределительных механизмов, системы смазки, топливо и воздухоподачи, охлаждения, газовыхлопа, а также работоспособность приводных механизмов и вспомогательного навесного оборудования.

Вопрос выбора движителя для высокоскоростных катеров также не менее важен. Так, на скоростных катерах и судах наибольшее распространение получили водометные движители и частично-погружные суперкавитирующие гребные винты (ЧПГВ).

Водометный движитель (рис. 1) работает по принципу насоса, где вода, попадая в водозаборник, проходит через насосную часть и с высокой скоростью выбрасывается на выходе из сопла, создавая упор. Такие движители не имеют выступающих вращающихся частей, поэтому для их работы достаточно толщины водяного слоя в несколько десятков сантиметров, что делает их очень удобными для использования на мелководье, а отсутствие открытого винта – безопасными для людей в воде при проведении спасательных операций.

Катера с водометными движителями могут проходить по мелководью с глубинами, равными осадке корпуса. Движущиеся части водометного движителя находятся внутри корпуса судна и, соответственно, корпуса самого движителя, вследствие чего они надежно защищены от повреждений при встрече с подводным препятствием, а правильно рассчитанное рабочее колесо – импеллер, точно соответствует мощности двигателя, что исключает его перегрузку при работе в любых условиях.

Подъемно-поворотные приводы с частично-погружными гребными винтами (рис. 2) это движительный комплекс, состоящий из гребного вала с гребным винтом, помещенного

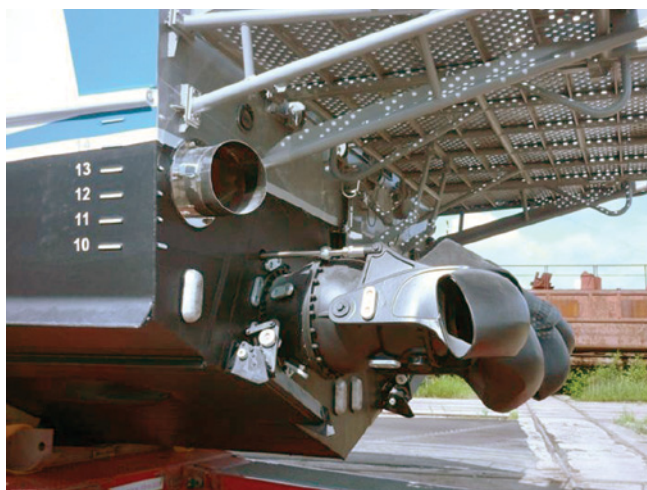


Рис. 1. Водометные движители в составе катера





Рис. 2. Подъемно-поворотные приводы с частично-погружными гребными винтами в составе катера

в корпус, имеющий подвижную и неподвижную части. Неподвижная часть оснащена карданным шарниром и упорным подшипником, воспринимающим упор винта. Неподвижный корпус привода крепится фланцем к транцу судна, а его подвижная часть подвешивается к транцу системой гидроцилиндров, позволяющей поворачивать валы в вертикальной плоскости в пределах до 15° – оптимизируя заглубление винта, а также в горизонтальной плоскости до 40° – для управления курсом судна. Классическая рулевая система при этом не требуется.

Двигатель и движитель соединяют трансмиссия и валопровод. Трансмиссия представляет собой редуктор, обеспечивающий снижение оборотов коленчатого вала главного двигателя до оборотов, необходимых для эффективной работы движителя, а также для обеспечения плавного включения и выключения (сцепления) движителя при работающем главном двигателе. Валопровод в свою очередь обеспечивает передачу крутящего момента от двигателя к движителю и состоит из набора валов, муфт и подшипников.

В пропульсивных системах скоростных катеров большое распространение получили реверсивные редукторы фирм ZF (Германия) и Twin Disc (США) (рис. 3), которые имеют небольшие габариты и массу, допускающие возможность их стыковки практически с любыми дизельными двигателями. Редукторы указанных производителей позволяют в достаточно большом диапазоне делать выбор передаточных чисел, входной мощности и частоты вращения главных двигателей.

АО «ЦМКБ «Алмаз», будучи ведущим российским проектантом скоростных катеров, до введения санкционных ограничений активно применяло высокооборотные дизельные двигатели большой удельной мощности в составе энергетических установок скоростных катеров и судов, а также водометные движители и ЧПГВ ведущих мировых производителей.

Водометные движители обладают рядом неоспоримых преимуществ, привлекающих заказчиков, вследствие чего в последнее время они получили наибольшее распространение.

На счету КБ есть как ряд активных, так и ряд завершенных проектов, ходовые испытания которых показали правильность выбора оборудования для пропульсивной установки. Это проекты катеров «Мангуст», «Соболь», «Ястреб», «Катран», «Стриж», «Буревестник». Серийное строительство ряда этих катеров временно остановлено в связи с невозможностью на настоящий момент закупки комплектующего оборудования зарубежного производства. Данные катера очень востребованы у заказчиков и после импортозамещения главных двигателей, редукторных передач и движителей строительство серии катеров по данным проектам может быть возобновлено.

АО «ЦМКБ «Алмаз» ведет ряд перспективных работ, для которых необходимо использование высокооборотных дизельных двигателей мощностью до 2000 кВт. Примером может служить высокоскоростной катер специального назначения, спроектированный по заказу Министерства промышленности и торговли РФ, который активно строится в настоящее время. На изначально разработанном и согласованном с заказчиком проекте в составе ЭУ планировалось использование главных двигателей MAN V12–1800 (Германия) и водометных движителей фирмы MJP (Швеция). Однако изменение геополитической ситуации и введение новых санкционных ограничений фирмами MAN и MJP сделали невозможными их поставку, что побудило конструкторов к вынужденной замене главных двигателей на Hengan Diesel 16V2316.

Водометные движители также были заменены на аналоги китайского производства, собираемые на территории Российской Федерации.

Реверсивные редукторы фирмы ZF успели заменить изделиями Dong-I (Южная Корея), которые впоследствии также оказались недоступными, поэтому в случае серийного строительства катеров необходимо будет решить указанную проблему.

Все перечисленные составные части пропульсивной системы, которые пришлось заменить на катере, по своим характеристикам оказались хуже планируемых к применению изначально, что привело к снижению тактико-технических характеристик катера.



Рис. 3. Судовые реверс-редукторные передачи фирм ZF и Twin Disc

В настоящее время российский рынок судовых высокооборотных дизельных двигателей (в диапазоне мощности от 200 до 2000 кВт) представлен в основном автомобильными и промышленными двигателями морского исполнения мощностью до 620 кВт и единичными моделями двигателей, созданных изначально как судовые, такими как, например, двигатели ПАО «Звезда» М470 разных модификаций и двигатели ООО «УДМЗ» серии ДМ-185.

Однако если двигатели серии М470, которые к настоящему времени морально устарели, но по массогабаритным характеристикам могут быть использованы в составе энергетических установок скоростных катеров, то двигатели серии ДМ-185 могут использоваться на кораблях и судах водоизмещением не менее 600–800 т и только в составе дизель-генераторов.

Таким образом, в открытом доступе на российском рынке присутствуют лишь двигатели М470 максимальной мощностью до 1100 кВт и менее мощные (до 620 кВт) промышленные дизели морского исполнения производителей ПАО «Автодизель» и ПАО «Тутаевский моторный завод». В редких случаях встречаются дизели морского исполнения производства ПАО «КАМАЗ», причем доведением до морского исполнения данных двигателей, как правило, занимаются не сами производители, а сторонние организации с соответствующим соглашением с производителями.

Морские высокооборотные двигатели представляют собой особый класс, который сильно отличается от автомобильных и промышленных аналогов по режимам работы, цикличности нагрузок, требованиям к надежности, а также по исполнению систем охлаждения, управления, аварийно-предупредительной сигнализации и защиты. В силу указанных причин достаточно сложно промышленный дизельный двигатель довести до морского исполнения под полное соответствие судовым стандартам и требованиям классификационных обществ. Но если эту задачу удастся выполнить, то это позволит сэкономить значительные средства по сравнению с разработкой судового дизеля с «чистого листа».

Однако, даже опираясь на возможность маринизации, в линейке выпускаемых на настоящий момент отечественных автомобильных и промышленных дизельных двигателей отсутствует номенклатура изделий, удовлетворяющих по характеристикам требованиям к энергетическим установкам перспективных высокоскоростных катеров и яхт. По имеющейся информации, в линейках выпускаемых автомобильных двигателей (ПАО «Автодизель», ПАО «Тутаевский моторный завод», ПАО «КАМАЗ») их мощностной ряд не превышает значений 750 кВт, а перспективных – не более 850–880 кВт, что не согласуется с перечисленными ранее реализованными и перспективными проектами катеров АО «ЦМКБ «Алмаз», потребная мощность которых достигает значений 1500 кВт, а в перспективе до 2000 кВт.

Следует также отметить, что производство легких судовых редукторных передач, аналогичных зарубежным ZF и Twin Disc, в России также отсутствует. Компания «Р-Флот. Машиностроение» занимается импортозамещением реверсивных редукторов производства фирмы Dong-I, и в номенклатуре разработанной и выпускаемой продукции на данный момент есть только две модели редукторов – РРФ-90 и РРФ-160, которые предназначены для агрегатирования с двигателями серии: ЯМЗ-534, ЯМЗ-536, ЯМЗ-236, ЯМЗ-238 и ТМЗ8486.10–03 с максимальной подводимой мощностью до 413 кВт. В разработке находятся редукторы моделей РРФ-210 и РРФ-350, предназначенные для агрегатирования с двигателями ЯМЗ-770 и ЯМЗ-865.10 с максимальной подводимой мощностью до 843 кВт. У данных редукторов отсутствует точка отбора мощности для привода гидронасосов управления движителем, а также нет возможности выбора передаточного отношения при их заказе.



Рис. 4. Катера проектов «Мангуст», «Ястреб» и «Катран»

Ситуация с водометными движителями, которые могут использоваться в составе пропульсивных систем проектируемых скоростных катеров, более благоприятная, однако также требует определенного внимания. Так, в частности, разработанные ранее в рамках выполнения ОКР «Слеинг-Водозабор» водометные движители ВД-177Д, ВД-280Д и ВД-490Д, производимые серийно ООО «ДМ Технолоджи» и НПО «Винт», не отвечают требованиям, предъявляемым заказчиками к пропульсивным и маневренным характеристикам, характеристикам надежности, и требованиям к системе управления.

Учитывая, что основными потребителями пропульсивных комплексов скоростных катеров и судов являются силовые структуры России, решение проблемы замещения основных комплектующих пропульсивных комплексов изделиями гражданского назначения, выполненными в морском исполнении, – важнейшая задача уже на самую ближайшую перспективу. Обозначенная проблема должна найти отклик у Министерства промышленности и торговли Российской Федерации, в частности, для того, чтобы можно было начать соответствующие опытно-конструкторские работы по обозначенным направлениям судового машиностроения. ■

В настоящее время задачи снижения магнитного поля корабельных корпусных конструкций решаются двумя способами: безобмоточным или обмоточным размагничиванием. Эти способы взаимно дополняют друг друга и используются на разных стадиях эксплуатации кораблей. Устройство обмоточного размагничивания (далее – ДУ) постоянно находится на борту корабля и включается в период выхода его в море. Безобмоточное размагничивание проводится только в периоды электромагнитной обработки (далее – ЭМО) корпуса с помощью временных обмоток, накладываемых на корпус корабля или располагаемых на дне. Настоящая статья посвящена вопросам питания временных обмоток, используемых в системах безобмоточного размагничивания (далее – СБР), и подробно не затрагивает вопросы питания обмоток, имеющих в составе систем ДУ.

ХАРАКТЕРИСТИКИ СИСТЕМ СБР

Рассмотрим устройство систем СБР, обеспечивающих необходимую характеристику магнитной индукции как по величине, так и по характеру изменения ее во времени для эффективного размагничивания постоянного магнитного поля корпусов кораблей. На рис. 1 показан корабль, находящийся на ЭМО, на корпус которого наложены временные обмотки системы СБР, на рис. 2 – обмотки системы СБР, расположенные на дне полигона ЭМО.

Общим принципом размагничивания, который используется в системах СБР, является создание знакопеременного затухающего магнитного поля, в результате воздействия которого магнитные домены в материале ферромагнитных конструкций корпусов теряют однонаправленную ориентацию и располагаются в случайных направлениях.

Достоинства и недостатки способов ЭМО, показанных на рис. 1 и рис. 2, очевидны. Первый способ ЭМО – на СБР с временными обмотками, накладываемыми на корпус корабля, можно выполнять в необорудованных местах нахождения корабля, при условии доступности измерительной базы (судно физических полей, далее – СФП) и питания обмоток (судно размагничивания, далее – СР). В то же время работа на СБР данного типа сопряжена с высокой трудоемкостью прежде всего за счет длительного времени и высокой сложности установки (и затем снятия) временных обмоток.

Второй способ ЭМО, который выполняется на СБР со стационарными донными обмотками, имеет значительно меньшую трудоемкость: для проведения ЭМО корабля достаточно его корпус провести несколько раз над обмотками, в которые подан электрический ток.

ПОСЕКЦИОННОЕ ПИТАНИЕ КОНТУРОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ОБРАБОТКИ В СИСТЕМАХ БЕЗОБМОТОЧНОГО РАЗМАГНИЧИВАНИЯ КОРАБЕЛЬНЫХ КОРПУСНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

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



Рис. 1. Временно наложенные обмотки систем СБР

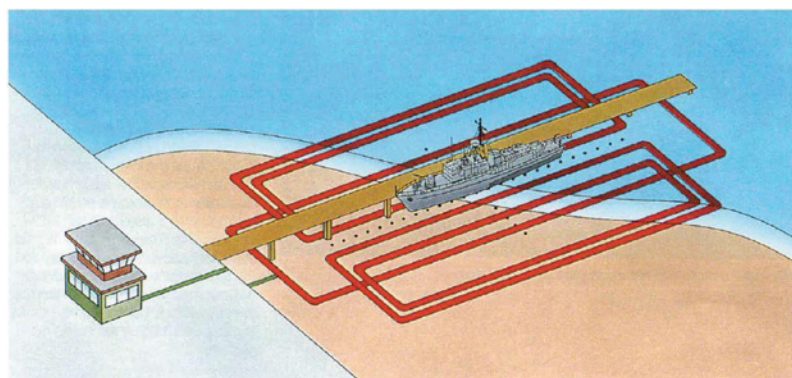


Рис. 2. Система СБР со стационарным базированием обмоток

Среди недостатков, наличие которых привело к практически полному отсутствию СБР данного типа в эксплуатации, следует назвать высокие затраты на постройку этой системы, необходимость специальной подготовки акватории полигона для установки обмоток, а также отсутствие возможности перебазировать систему. Тем не менее данный тип СБР позволяет чаще выполнять ЭМО корабля и, следовательно, более качественно поддерживать уровень его магнитного поля в допустимых пределах.

В настоящее время распространение получает третий тип СБР, который совмещает преимущества СБР названных выше типов и задействует в процессе ЭМО обмоточную систему ДУ, подстраивая в соответствии с итогами измерительных операций, проведенных на СБР. Внешний вид СБР третьего типа показан на рис. 3. В составе СБР данного типа имеются не только обмотки для электромагнитной обработки, но также обмотки, имитирующие изменение индукции магнитного поля Земли в процессе широтного плавания корабля. По этим данным составляется модель поведения остаточного постоянного магнитного поля корабля при широтном плавании. Коррекция модели осуществляется статистически, поэтому по мере эксплуатации корабля и прохождения его ЭМО модель корректируется, а период между прохождениями ЭМО постепенно увеличивается. Данный вид СБР также стационарный.

ХАРАКТЕРИСТИКИ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ СИСТЕМ СБР

Вне зависимости от типа СБР для создания уровня индукции магнитного поля, которое позволяет «раскачать» магнитные домены материала, из которого изготовлен корпус корабля, необходим ток, максимальное импульсное значение которого составляет 6...7 кА. Кроме этого, источник тока, питающий обмотки, должен подавать знакопеременный ток, форма, период, количество и закон уменьшения которого задаются оператором. При этом форма тока может быть задана импульсная, трапецидальная, синусоидальная и колоколообразная. Период следования возможен от 5 до 10 с, количество импульсов может составлять от единиц до сотен. Закон уменьшения импульсов также может быть задан линейный, экспоненциальный, логарифмический.

Отдельно следует остановиться на величине максимального напряжения, которое зависит от источника питания на холостом ходу. Величина этого напряжения в среднем составляет 300...350 В, но фактическое его значение будет определяться сопротивлением



Рис. 3. Внешний вид систем СБР, имитирующих широтное плавание

нагрузки, т. е. сопротивлением обмотки, подключаемой к источнику тока.

До настоящего времени подавляющее большинство источников питания СБР представляли собой электромашинные агрегаты. К примеру, на рис. 4 показан электромашинный источник питания из состава стационарного СБР фирмы Sam Electronics (Германия).

Типовые источники питания вращающегося типа, установленные в составе отечественных СБР, обеспечивают величину тока от 0 до 4500 А с шагом регулировки не более 1 А. Габариты данных источников питания без учета габаритов пусковых электромашинных агрегатов и пускорегулирующего оборудования составляют 8×3×3 м. Кроме этого, для поддержания стабильности

питания в составе источников питания используются пассивные маховики-стабилизаторы, масса которых находится в диапазоне 10...75 т.

Использование преобразователей вращающегося типа, обеспечивающих трансформацию первичного питания, в настоящее время считается морально устаревшим техническим решением. Объясняется это сложностью проведения ремонтных работ и необходимостью применения громоздкого подъемно-транспортного оборудования, устранения биений вращающихся частей и т. д.

Развитие электронной компонентной базы силовой электроники в начале XXI в. подтолкнуло проектантов кораблей к замене в системах ДУ вращающихся преобразователей на их ста-

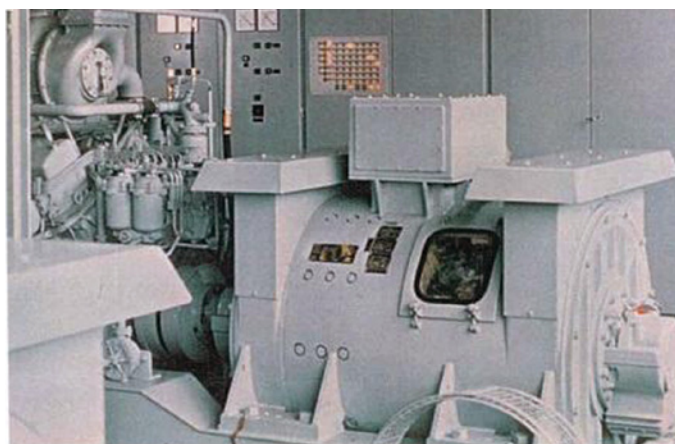


Рис. 4. Пример электромашинного источника питания СБР

тические аналоги, разработанные на основе электронной компонентной базы силовой электроники. В этом направлении достигнуты значительные успехи, благодаря которым корабли, спроектированные за прошедшие 15–20 лет, строятся и эксплуатируются исключительно с использованием статических преобразователей электроэнергии, выходной ток которых не превышает 130 А.

К сожалению, в области создания СБР с питанием от статических преобразователей электроэнергии подобными успехами похвастаться нельзя. Связано это, как ни парадоксально, также с возможностями электронной компонентной базы силовой электроники.

Приведем простой пример. Согласно документу [1], требующему использовать в изделиях спецтехники только разрешенную к применению электронную компонентную базу, имеются силовые ключевые транзисторы типа 2М421...2М426 с максимальным напряжением «коллектор–эмиттер» не более 1200 В и максимальным током коллектора не более 400 А, что позволяет реализовать на основе данных модулей при условии их параллельного включения не более двух штук, статический преобразователь с выходным током не более 130 А. Простой расчет показывает, что для реализации преобразователя тока с максимальным выходным током 6000 А необходимо наличие 46 преобразователей, включенных параллельно.

Опыт работы с аналогичными преобразователями, которые включаются параллельно, имеющийся в АО «НПФ «Меридиан», показывает, что относительно стабильно может обеспечиваться работа с числом преобразователей не более трех. При дальнейшем параллельном включении возникают проблемы равномерного распределения токов между приборами. Есть ли смысл ожидать появления ключевых транзисторов с необходимыми характеристиками, чтобы приступить к проектированию мощного преобразователя, не имеющего схемы параллельной работы? Избрав такой путь, разработчик неизбежно столкнется с колоссальными технологическими трудностями, связанными, например, с изготовлением мощных высокочастотных индуктивных элементов и с организацией системы отвода тепла. Эксплуатировать такой преобразователь, даже если удастся технически его реализовать, будет также трудоемко, как и вращающийся прототип.

РЕАЛИЗАЦИЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ТОКА С ПОСЕКЦИОННЫМ ПИТАНИЕМ

Рассмотрим теперь преимущества, которые дает эксплуатация мощного преобразователя, построенного на основе преобразователей сравнительно

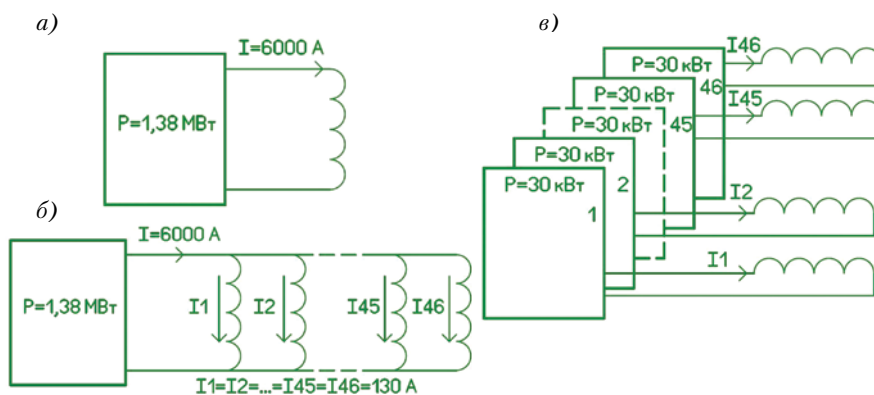


Рис. 5. Переход от общего к посекционному питанию в системах СБР

небольшой мощности. Можно выделить следующие преимущества:

а) возможность доставки запасных частей из состава ЗИП одиночного силами личного состава, без применения специального подъемно-транспортного оборудования;

б) возможность резервирования и оперативного введения в действие резерва путем установки дополнительных однотипных преобразователей небольшой мощности;

в) возможность задания требуемой величины магнитной индукции не только путем установки выходного тока, но также путем последовательного отключения преобразователей.

Несмотря на то, что в составе мощного преобразователя будет содержаться значительное количество маломощных преобразователей, такое техническое решение будет обладать высокой надежностью, поскольку время непрерывной работы у него небольшое (не более 2 часов), и восстановление технической готовности можно провести не только за счет введения резерва, но и за счет замены составных частей ЗИП.

Существенное отличие от существующих систем СБР будет в данном случае заключаться в необходимости использования многожильного кабеля для обмоток. Соответственно, если в традиционной системе СБР предусматривается одножильный кабель, позволяющий пропускать через себя ток 6000 А, то в системе СБР с посекционным питанием этот кабель будет состоять из 46 жил, по каждой из которых будет протекать ток 130 А.

На рис. 5 показан принцип перехода к секционной схеме питания обмотки системы СБР. Одножильный кабель обмотки (рис. 5, а) с током 6000 А можно представить как параллельное соединение 46 жил (рис. 5, б), по каждой из которых протекает ток 130 А. Поскольку суммарный магнитный момент обмотки формируется как алгебраическая сумма моментов, создаваемых витками провода (в данном случае все витки включены параллельно), то для суммарного ре-

зультата нет никакой принципиальной разницы, если токи в витках обмотки будут создаваться отдельными источниками питания согласно рис. 5, в). Разница падений напряжений на разных витках, появляющаяся из-за разного омического сопротивления, разного прогрева витков и разницы других условий, также не является принципиальной, поскольку каждая секция питается независимо, в условиях стабилизации тока.

Широкое распространение цифровых интерфейсов управления типа «Манчестер-2», CAN и аналогичных открывает большие возможности для алгоритмов управления секционной системой СБР. При наличии требований к дискретному изменению выходного тока системы СБР от 6000 до 0 А с дискретностью 1 А это крайне трудно реализовать, имея в наличии только один преобразователь. В то же время, если в системе СБР суммируется магнитное поле, создаваемое 46 преобразователями, то в расчете на один прибор можно установить шаг регулировки в 1/130 от максимального значения тока прибора, а не 1/6000. Такой дискретности можно достичь, если регулирование тока одномоментно будет осуществляться только одним прибором.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках данной статьи рассмотрены общие принципы реализации системы СБР на основе статических преобразователей электроэнергии, использующихся в составе корабельных систем ДУ и выпуск которых освоен серийно. Для технической реализации изложенной идеи предстоит выполнить задачи оптимизации данных преобразователей для уменьшения их габаритов, объединения отдельных узлов, предложить новые схемотехнические и конструктивные решения.

ЛИТЕРАТУРА

1. ЭКБ-03. Перечень электронной компонентной базы, разрешенной для применения при разработке, модернизации, производстве и эксплуатации вооружения, военной и специальной техники. ■

В соответствии с требованиями нормативного документа «Правила классификации и постройки атомных судов и плавучих сооружений» Российского морского регистра судоходства (РМРС) на атомном судне должны быть предусмотрены средства для отвода остаточной теплоты от активной зоны (критерий безопасной постройки Б) [1]. Этим средством является система расхолаживания реактора. По правилам ядерной безопасности судов и других плавсредств с ядерными реакторами НП-029–17 [2] система классифицируется как защитная система безопасности.

На кафедре судовой ядерной и водородной энергетики СПбГМТУ созданы инжекторные системы аварийного расхолаживания, позволяющие отводить остаточное тепловыделение к заборной воде [12]. Данная система предназначена для ядерных энергетических установок (ЯЭУ) универсальных атомных ледоколов и плавучих атомных теплоэлектростанций. Использование струйных аппаратов позволяет обеспечить безопасный запуск системы, работу ее в режиме как аварийного, так и штатного расхолаживания подводимой к парогенератору теплоты без пульсаций в системе.

С целью определения показателей надежности системы аварийного расхолаживания (САР) была проведена оценка вероятности его безотказной работы и определена средняя наработка на отказ за период непрерывной работы, равный времени расхолаживания реактора. За отказ оборудования принята неспособность выполнения им поставленных целей функционирования.

Элементы САР проходят достаточный комплекс предварительных испытаний, в основном исключающих возможность появления при эксплуатации приработочных отказов повышенной интенсивности. Эксплуатация САР осуществляется с соблюдением планово-предупредительных ремонтов в пределах ресурса, гарантированного техническими условиями и строгим соблюдением руководства по эксплуатации, вследствие чего характер возможных отказов не износостойкий, а случайный, с постоянной интенсивностью (за рассматриваемое время эксплуатации), т. е. поток отказов – стационарный.

Вероятность совмещения моментов возникновения двух или более отказов настолько мала, что ею можно пренебречь. Вследствие этого поток отказов принимается ординарным.

Вероятность появления отказов САР не зависит от распределения отказов в прошедшем, т. е. поток отказов – без последствий.

ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ИНЖЕКТОРНОЙ СИСТЕМЫ АВАРИЙНОГО РАСХОЛАЖИВАНИЯ ЯДЕРНОГО РЕАКТОРА

А.М. Белов, аспирант СПбГМТУ,
инженер 2-й категории НПКВЭ ФГУП «КГНЦ»,
С.С. Белова, аспирант СПбГМТУ,
контакт. тел. +7 (911) 719 3089, +7 (911) 211 9542,
belov_alj@mail.ru, sofja.gonyayeva@yandex.ru

На основании этих допущений поток отказов элементов САР принимается стационарным пуассоновским (простейшим), а закон распределения времени наступления отказа – экспоненциальным.

В расчетах надежности САР принимается, что каждый из ее элементов может находиться в одном из двух возможных состояний – работоспособности или отказа. Отказы элементов САР являются независимыми событиями.

Расчетные выражения и используемые термины приняты согласно [3].

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ НАРАБОТКИ

В соответствии с требованиями РМРС необходимо, чтобы САР имела не менее двух независимых каналов расхолаживания. При этом в процессе расхолаживания важно организовать теплоотвод от тепловыделяющих элементов, при котором гарантируется их работоспособность в течение ресурсного срока.

В рассмотренной ЯЭУ использованы два реактора тепловой мощностью 175 МВт каждый. На каждый реактор предусмотрено две ветки САР с пароводяным инжектором (ПВИ).

Время расхолаживания ЯЭУ можно по формуле Вигнера–Вея [13, 14]:

$$N_{\text{ост}} = 0,07 \cdot N_p \cdot \tau^{-0,2}, \quad (1)$$

где $N_{\text{ост}}$ – мощность остаточного тепловыделения после останова реактора, МВт; N_p – мощность, на которой длительное время работал реактор, МВт; τ – время после останова реактора, с.

Было принято, что реактор длительное время работал на номинальной мощности – 175 МВт, но так как на один реактор приходится две ветки САР, то в расчетном выражении (1) принята мощность, равная 50% от номинальной. Предварительные расчеты статистических характеристик САР показали работоспособность данной системы до мощности остаточных тепловыделений 0,5 МВт.

Согласно формуле (2) время работы САР составило 305 176 секунд, или 84 часа:

$$\tau^{-0,2} = \frac{N_{\text{ост}}}{0,07 \cdot N_p}. \quad (2)$$

РАСЧЕТНЫЕ ВЫРАЖЕНИЯ

Средняя наработка на отказ T , ч, определяется либо по справочным данным, либо экспериментально по формуле

$$T = \frac{N \cdot t}{N_o}, \quad (3)$$

где N – число испытываемых единиц оборудования, шт.; t – время наработки, ч; N_o – число отказов оборудования, шт.

Интенсивность отказов работы элемента системы λ , ч⁻¹, рассчитывается по формуле

$$\lambda = \frac{1}{T}, \quad (4)$$

где T – среднее время наработки на отказ элемента, ч.

Вероятность безотказной работы (ВБР) элемента $P(t)$ (далее – ВБР) при экспоненциальном законе распределения времени наступления отказов определяется по следующей формуле:

$$P(t) = e^{-\lambda t}. \quad (5)$$

Вероятность безотказной работы для некритического оборудования принималась равной единице.

Интенсивность восстановления, ч⁻¹,

$$\mu = \frac{1}{\tau}, \quad (6)$$

где τ – среднее время восстановления, ч.

Вероятность возникновения отказа элемента

$$Q(t) = 1 - P(t) = 1 - e^{-\lambda t}. \quad (7)$$

ВБР системы, представляющей собой группу n последовательно соединенных (с точки зрения взаимодействия) элементов, определяется по формуле

$$P(t) = P_1(t) P_2(t) \dots P_n(t) = e^{-t \sum_{i=1}^n \lambda_i}, \quad (8)$$

где $P_i(t)$ – ВБР i -го элемента системы.

Выражение (8) можно переписать в следующем виде:

$$P(t) = e^{-\lambda_{\Sigma} t}, \quad (9)$$

где $\lambda_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n \lambda_i$ – эквивалентная интенсивность отказов группы n последовательно соединенных элементов, ч⁻¹.

Вероятность отказа системы

$$Q(t) = 1 - P(t) = 1 - e^{-t \sum_{i=1}^n \lambda_i}. \quad (10)$$

ВБР системы, представляющей собой группу n параллельных соединений,

$$P(t) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - P_i). \quad (11)$$

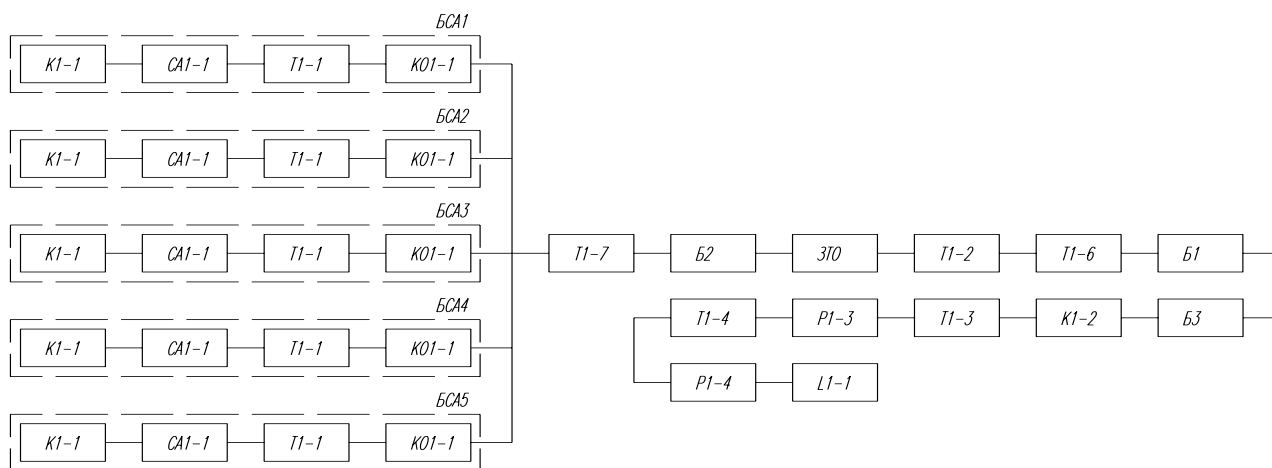


Рис. 1. Структурная схема расчета надежности САР

ВБР системы, представляющей собой систему k из n соединений,

$$P(t) = \sum_{i=k}^n \left(\frac{n}{i} \right) p(t)^i q(t)^{n-i}, \quad (12)$$

где $\left(\frac{n}{i} \right)$ – биномиальный коэффициент.

СТРУКТУРА РАСЧЕТА НАДЕЖНОСТИ

В качестве структурной схемы для дальнейшего расчета надежности была выбрана схема с пятью ветками блока струйных аппаратов (БСА) (рис. 1).

Расчетные элементы по принципу взаимодействия объединены в логические структурные группы, каждая из которых состоит из соединенных по заданному логическому принципу элементов.

В виду использования САР в проектах ядерной энергетики использование общепромышленного оборудования недопустимо, поэтому для расчета показателей надежности был осуществлен поиск необходимого оборудования, разрешенного к применению в составе АЭС. В начальный момент расхолаживания в САР поступает пар из парогенератора с

температурой до плюс 275 °С и давлением до 3,5 МПа, используемое оборудование должно соответствовать этим условиям. В качестве оборудования для САР было выбрано следующее:

- для блока струйных аппаратов:
 - K1-1 – клапан сильфонный запорный НГ 26524 ТУ 26-07-1407–2008 ПКТИ «Атомармпроект» (МК «Сплав»);
 - CA1-1 – аппарат струйный;
 - T1-1 – термопреобразователь корабельный ТПК-Р-67-050-+005-+400-В-12Т-0-Р13-100-02 АТЛМ.405211.004ТУ–2010 ООО «Валком»;
 - KO1-1 – КПЛВ.494314 по ТУ 3742-039-49149890–2008 ПКТИ «Атомармпроект» (МК «Сплав»);
- для САР в целом:
 - ЗТО – заборный теплообменный аппарат;
 - L1-1 – T1-2 – T1-7 – термопреобразователь корабельный ТПК-Р-67-050-+005-+400-В-12Т-0-Р13-100-02 (12Х18Н10Т ГОСТ 5632) АТЛМ.405211.004ТУ–2010 ООО «Валком»;

- P1-3, P1-4 – преобразователь давления корабельный ПДК-67-А-06М0-А-0-М20-Н-2-Р13-Р (12Х18Н10Т ГОСТ 5632) АТЛМ.406233.001ТУ–2008 ООО «Валком»;
- Б1 – Б3 – клапан сильфонный регулирующий НГ 27 ТУ 26-07-1387–2009 ПКТИ «Атомармпроект» (МК «Сплав»);
- ультразвуковой корабельный сигнализатор уровня УКСУ-Р-67-0115-М27-Н(В)-Т3-0-Т1-Р13 ООО «Валком».

РАСЧЕТ ВБР И НАРАБОТКИ НА ОТКАЗ САР

Требования к надежности в части наработки на отказ САР подтверждаются расчетным методом. При расчете ВБР и наработки на отказ САР последовательно рассчитывались все группы согласно схеме расчета (рис. 1 и рис. 2), начиная с вложенных и заканчивая родительскими.

Исходные данные и детализация расчета представлены в табл. 1 и табл. 2.

Таблица 1

Исходные данные и результаты расчета показателей надежности структурного элемента САР

Исходные данные			Результаты расчета				
Наименование	Источник	Количество, шт.	Наработка на отказ, ч	Интенсивность отказов, 1/ч	ВБР элементов	Тип соединения	ВБР группы элементов
САР	Расчетное	1	12 030	8,31E-05	0,9930	Последовательный	0,9930
БСА	Расчетное	5	70 430	1,42E-05	0,9988	Параллельный	1,0000
K1-2	[4, 5]	1	418 949	2,39E-06	0,9998	Последовательный	0,9998
Б1	[5, 6]	1	2 456 461	4,07E-07	1,0000	То же	1,0000
Б2	[5, 6]	1	2 456 461	4,07E-07	1,0000	“ ”	1,0000
Б3	[5, 6]	1	2 456 461	4,07E-07	1,0000	“ ”	1,0000
ЗТО	[7]	1	66 667	1,50E-05	0,9987	“ ”	0,9987
T1-1	[8]	1	155 000	6,45E-06	0,9995	“ ”	0,9995
T1-2	[8]	1	155 000	6,45E-06	0,9995	“ ”	0,9995
T1-3	[8]	1	155 000	6,45E-06	0,9995	“ ”	0,9995

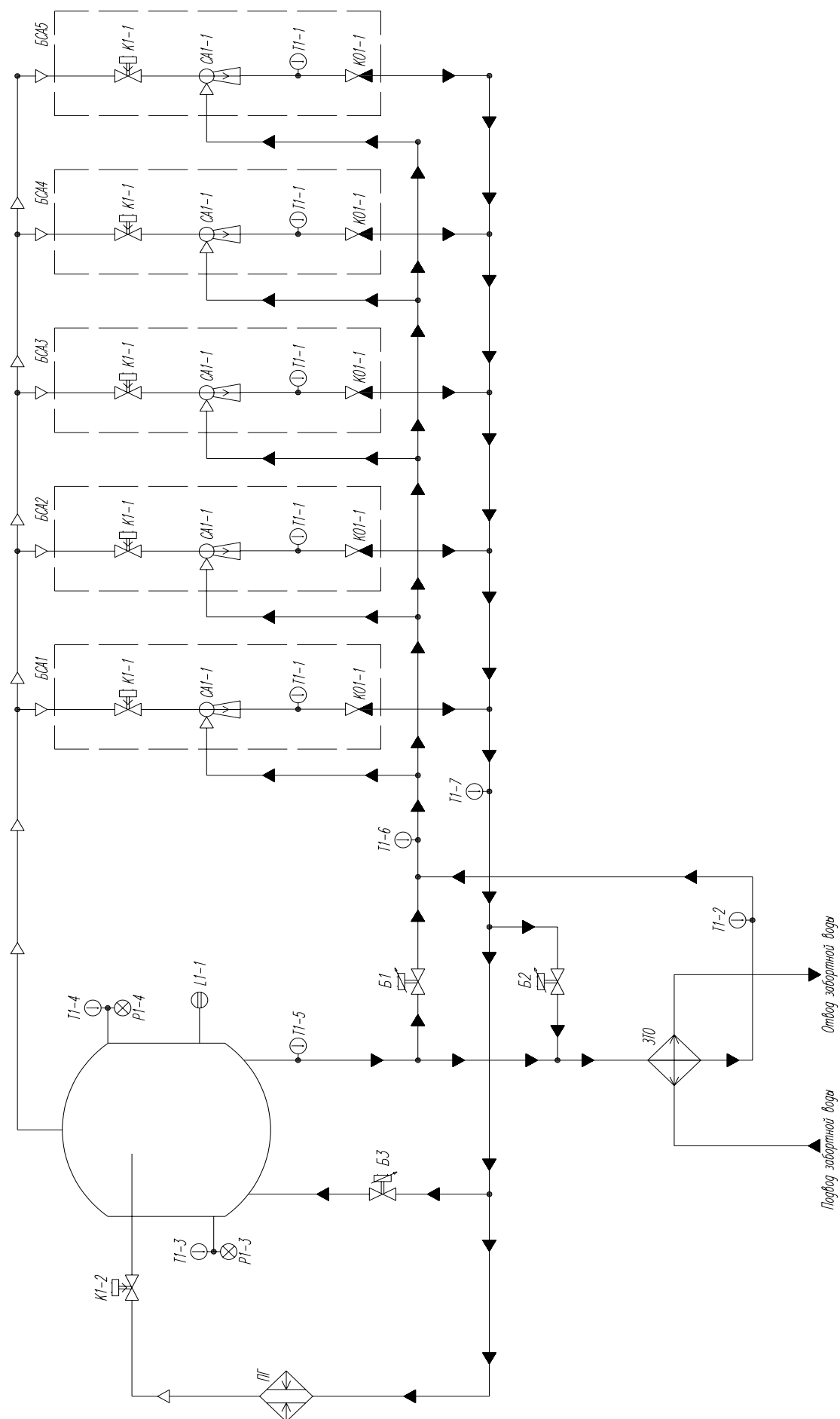


Рис. 2. Принципиальная газогидравлическая схема САР с 5 БСА

Исходные данные и результаты расчета показателей надежности структурного элемента САР

Исходные данные			Результаты расчета				
Наименование	Источник	Количество, шт.	Наработка на отказ, ч	Интенсивность отказов, 1/ч	ВБР элементов	Тип соединения	ВБР группы элементов
T1-4	[8]	1	155 000	6,45E-06	0,9995	То же	0,9995
T1-5	[8]	1	155 000	6,45E-06	0,9995	“ ”	0,9995
T1-6	[8]	1	155 000	6,45E-06	0,9995	“ ”	0,9995
T1-7	[8]	1	155 000	6,45E-06	0,9995	“ ”	0,9995
P1-10	[9]	1	155 000	6,45E-06	0,9995	“ ”	0,9995
P1-11	[9]	1	155 000	6,45E-06	0,9995	“ ”	0,9995
L1-1	[10]	1	155 000	6,45E-06	0,9995	“ ”	0,9995

Таблица 2

Исходные данные и результаты расчета показателей надежности структурного элемента БСА

Исходные данные			Результаты расчета				
Наименование	Источник	Количество, шт.	Наработка на отказ, ч	Интенсивность отказов, 1/ч	ВБР элементов	Тип соединения	ВБР группы элементов
БСА	Расчетное	1	70 430	1,42E-05	0,9988	Последовательный	0,9988
K1-1	[4,5]	1	418 949	2,39E-06	0,9998	То же	0,9998
CA1-1	[7]	1	200 000	5,00E-06	0,9996	“ ”	0,9996
KO1-1	[5,11]	1	2 777 914	3,60E-07	1,0000	“ ”	1,0000
T1-3	[8]	1	155 000	6,45E-06	0,9995	“ ”	0,9995

ВБР САР за время непрерывной работы (84 часа) составила 0,993, а наработка на отказ – 12 030 часов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе рассмотрена инжекторная система аварийного расхолаживания и выполнен расчет показателей надежности данной системы. Разработана структурная схема расчета надежности системы аварийного расхолаживания с пятью блоками струйных аппаратов.

Был проведен подбор необходимого оборудования для инжекторной системы аварийного расхолаживания с целью определения показателей надежности согласно документации, предоставленной предприятиями-изготовителями оборудования для АЭС. Расчет надежности был проведен согласно ГОСТ Р 27.102–2021 «Надежность в технике».

Определены показатели надежности инжекторной системы аварийного расхолаживания. Вероятность безотказной работы системы за время непрерывной работы (84 часа) составила 0,993, а наработка на отказ – 1030 часов. Полученные показатели надежности инжекторной

системы аварийного расхолаживания могут быть использованы при обосновании надежности реакторной установки в целом.

ЛИТЕРАТУРА

1. НД № 2-020101–168 «Правила классификации и постройки атомных судов и плавучих сооружений»/«Об утверждении федеральных норм и правил в области использования атомной энергии. Правила ядерной безопасности судов и других плавсредств с ядерными реакторами»/Ростехнадзор; Руководитель Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору. – Приказ № 352 от 04.09.2017.
2. ГОСТ Р 27.102–2021 «Надежность в технике. Надежность объекта. Термины и определения» – М.: ФГБУ «РСТ», 2021.
3. ТУ 3742-023-49149890–2005 «Клапаны сильфонные запорные. Технические условия».
4. НП-068–05 «Трубопроводная арматура для атомных станций. Общие технические требования»: Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии/Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору. – М., 2005.
5. ТУ 26-07-1387–2009 «Клапаны сильфонные регулирующие. Технические условия».
6. Дубинский Н.М. Надежность систем газоснабжения. – Киев: Техника, 1970. – 96 с.
7. 405211.004РЭ–2012 «Термопреобразователи корабельные ТПК. Руководство по эксплуатации».
8. АТЛМ.406233.001РЭ–2015 «Преобразователи давления корабельные ПДК. Руководство по эксплуатации».
9. АТЛМ.407730.004Р-2012 «Ультразвуковые корабельные сигнализаторы уровня типа УКСУ. Руководство по эксплуатации».
10. ТУ3742-038-49149890–2000 «Клапаны обратные». Технические условия.
11. Патент 2822563 (РФ). Система пассивного отвода теплоты/ Аполлова А.В., Голышева С.С., Кожемякин В.О., Кожемякин В.В., Морозов Н. А., Николаева С.А., Шаманов Д.Н. Заявитель и патентообладатель СПбГМТУ; заявл. 10.01.2024, опуб. 09.07.2024. АЭС с реактором типа ВВЭР-1000. От физических основ эксплуатации до эволюции проекта/ Андрущечко С.А., Афоров А.М., Васильев Б.Ю., Генералов В.Н., Косоуров К.Б., Семченков Ю.М., Украинцев В. Ф. – М.: Логос, 2010. – 604 с. – ISBN 978-5-98704-496-4.
12. Кириллов П. Л., Богословская Г.П. Тепло-массообмен в ядерных энергетических установках. – М.: Энергоатомиздат, 2000. – 456 с. – ISBN 5-283-03636-7. ■

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

В настоящее время особенно актуальным становится решение проблемы надежности функционирования автономных систем электропитания, подводных автономных аппаратов, в которых располагаемые ресурсы всегда ограничены, а режимы эксплуатации не всегда оптимальны.

Возрастающие требования к степени электромагнитной совместимости преобразователей с питающей сетью потребовали новых технических решений для преобразователей в автономных системах электропитания (АСЭ) с приданием им свойств активной коррекции коэффициента мощности, что является одним из основных направлений развития силовой электроники.

Наиболее перспективной способом энергосбережения и повышения экономичности использования электрической энергии в полупроводниковых преобразователях как постоянного, так и переменного тока является повышение качества энергопотребления за счет применения схемотехнических решений при построении силовых схем этих преобразователей (с учетом современной элементной базы устройств силовой электроники) и усовершенствования алгоритмов управления ключевыми преобразователями электрической энергии. С этой целью ведутся разработки и используются релейные и импульсно-модуляционные способы управления, обеспечивающие энергетическую и электромагнитную совместимость полупроводниковых преобразователей с питающей сетью.

Если схемы преобразователей выполнять на полностью управляемых полупроводниковых приборах, для управления которыми применять релейные или импульсно-модуляционные способы, то становится возможным активное формирование потребляемых таким преобразователем сетевых токов и режимов энергопотребления из питающей сети.

Основным свойством преобразователей рассматриваемого класса является не фильтрация, не компенсация нежелательных гармоник тока или напряжения, а преобразование энергии (напряжения, тока, частоты) за счет использования импульсно-модуляционных способов управления ключевыми преобразователями [1, 2].

Таким образом, рассматриваемые преобразователи, будучи исходно преобразователями, за счет определенных особенностей построения и управления оказывают мало искажающее влияние на питающую сеть.

ТРЕХФАЗНЫЕ КОРРЕКТОРЫ КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ В АВТОНОМНЫХ СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ МОРСКИХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Б. Ф. Дмитриев, д-р техн. наук, проф.,
С. Я. Галушин, канд. техн. наук, доцент,
А. Ю. Розов, канд. техн. наук, доцент,
И. В. Скударнова, ст. преподаватель,
СПбГМТУ,
контакт. тел. (812) 714 0761

Существуют два основных способа преобразования электрической энергии в системах регулирования мощности:

- однокаскадное, которое включает в себя управление входным током, регулирование (стабилизацию) напряжения на нагрузке и, возможно, гальваническую развязку между входом и выходом;
- двухкаскадное, где входной каскад, корректор коэффициента мощности (ККМ) управляет входным током и обеспечивает грубое регулирование выходного напряжения, в то время как регулирование (стабилизация) напряжения на нагрузке выполняется преобразователем второго каскада.

Однокаскадный подход устраняет промежуточное преобразование энергии и имеет достаточно простую схему силового каскада, что делает его привлекательным для некоторых областей применения. Однако при этом подходе достаточно сложная система управления и все силовые ключи работают с большими коммутационными перенапряжениями в отличие от двухкаскадной схемы.

Рассмотрим топологии трехфазных схем коррекции коэффициента мощности. Для уменьшения стоимости корректора и избежания сложности построения трехфазных ККМ ис-

пользуются топологии, выполненные по мостовой схеме [3–5].

Наиболее простой способ реализации корректора коэффициента мощности в трехфазном исполнении состоит в том, что используют три идентичных повышающих конвертера на входе, выходы которых непосредственно соединяются, как показано на рис. 1.

Это упрощение приводит к существенному сокращению стоимости устройства, так как уменьшается емкость конденсатора выходного фильтра, при этом возможно получить достаточно широкий диапазон регулирования выходного напряжения без существенного искажения входного тока. Недостатком топологии является то, что токи в различных фазах ККМ неодинаковые, что приводит к изменению управления ключами преобразователя. Чтобы уменьшить неидентичность фазных токов, в рассматриваемую структуру включаются катушки индуктивности L . Главное достоинство этой топологии состоит в создании режима мягкой коммутации для силового ключа КЛ за счет введения дополнительной цепи K_x, L_x, D_x, D_1, D_2 . Высокий коэффициент мощности можно получить, используя повышающие или понижающие конвертеры (разновидности схем Кука) с постоянной час-

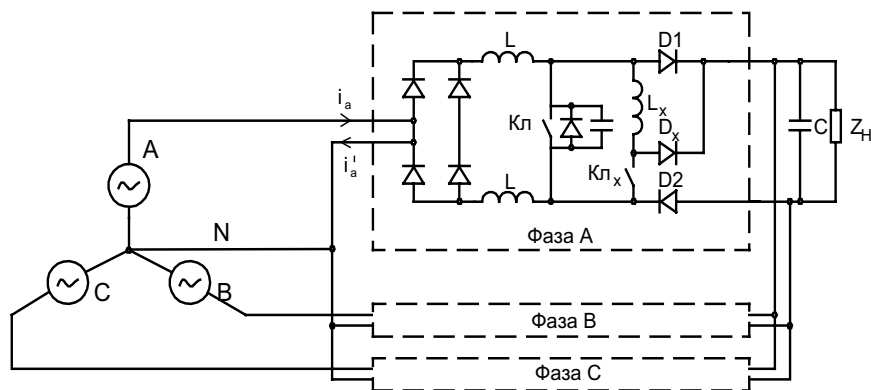


Рис. 1. Базовая топология трехфазного корректора коэффициента мощности

тотой коммутации. Наиболее распространенной топологией в этой классификации является схема, изображенная на рис. 2.

В ней входной ток пропорционален выходному напряжению и может быть улучшен усовершенствованием управления ключевым элементом K_n , а именно, за счет изменения частоты коммутации в функции выходного напряжения. Для выполнения требований стандарта IEC552-2 максимальная мощность такой топологии не должна превышать $P = 100$ кВт [3].

Для использования в системах большей мощности с требуемой эффективностью применяется топология, показанная на рис. 3.

Корректор управляется с учетом уровня выходного напряжения (на рис. 3 не показано). Из-за серьезных проблем, связанных с коммутационными потерями, были предложены методы мягкого переключения силовыми ключами (применяемые в различных структурах резонансных преобразователей).

На рис. 4, а и рис. 4, б изображены модификации предложенной выше топологии (см. рис. 3), в которых по-разному осуществляется режим мягкой коммутации. Наиболее эффективна и проще в реализации структура, показанная на рис 4, б [1, 6].

Принцип мягкой коммутации может быть реализован в цепи переменного тока, что обеспечивает двухсторонний обмен энергией корректора с питающей сетью. Такие топологии наиболее перспективны в системах большой мощности. Для применения в высоковольтных системах используют многоуровневые топологии, которые обеспечивают низкие коммутационные потери.

Многоуровневый принцип преобразования параметров электрической энергии позволяет осуществить практически синусоидальное потребление тока из питающей сети, синфазное с напряжением сети во всем диапазоне регулирования (стабилизации) выходного напряжения.

На рис. 5 изображена имитационная модель предлагаемого корректора коэффициента мощности в пакете Matlab [7]. Результаты имитационного моделирования подтверждаются результатами математического моделирования в пакете Mathcad [7], которые представлены на рис. 6–8.

Выводы

Можно констатировать, что трехфазные корректоры коэффициента мощности на базе многоуровневых преобразователей напряжения позволяют значительно повысить качество электроэнергии и улучшить техни-

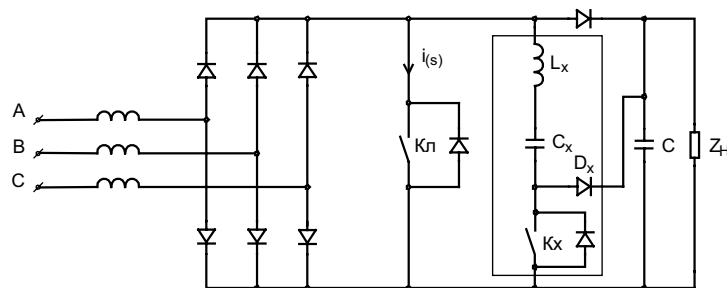


Рис. 2. Структура трехфазного ККМ на базе схемы Кука

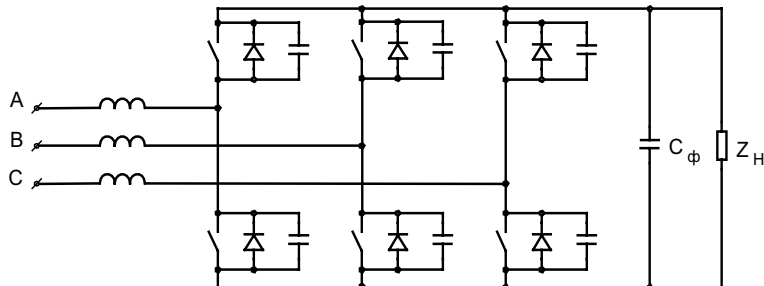
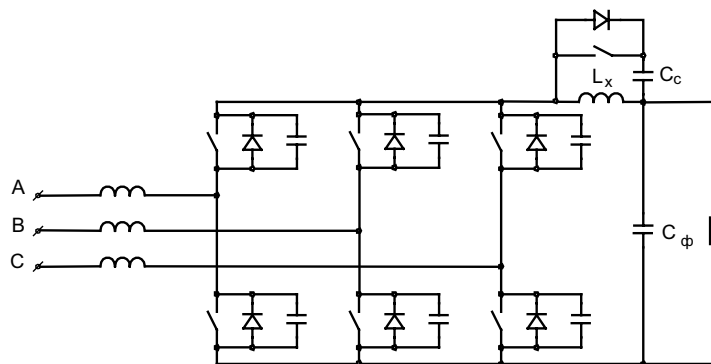


Рис. 3. Структура трехфазного ККМ на силовых ключах с двухсторонней проводимостью

а)



б)

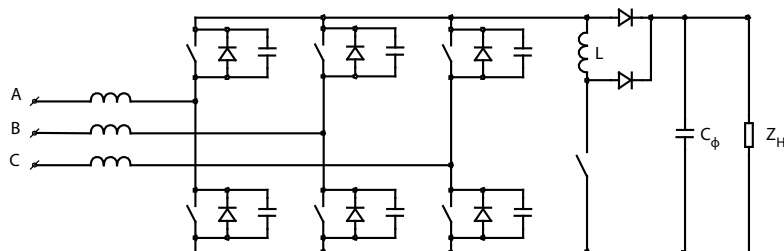


Рис. 4. Структуры трехфазных ККМ с мягкой коммутацией: а – режим мягкой коммутации при нулевом напряжении, б – режим мягкой коммутации при нулевом токе

ческие характеристики разрабатываемых систем автономного электропитания:

- потребление практически синусоидального тока за счет применения импульсно-модуляционных способов управления;
- двусторонний обмен энергией между питающей сетью и нагрузкой, существенно влияющий на энергетические показатели АСЭ;
- возможность регулирования не только коэффициента несинусоидальности сетевого тока, но и коэффициента сдвига, что обеспечивает управление коэффи-

циентом мощности по входу трехфазного корректора.

Несмотря на некоторое усложнение силовой части и системы управления, трехфазный корректор мощности позволяет улучшить ЭМС систем автономного электропитания с питающей сетью и унифицировать схемные решения. Усложнение управляющей части корректора не столь существенно при условии, что вновь разрабатываемые АСЭ, как правило, создаются с системами прямого микропроцессорного управления, в которой сложность реализации алгоритмов управления достигается за счет усложнения только программного обеспечения.

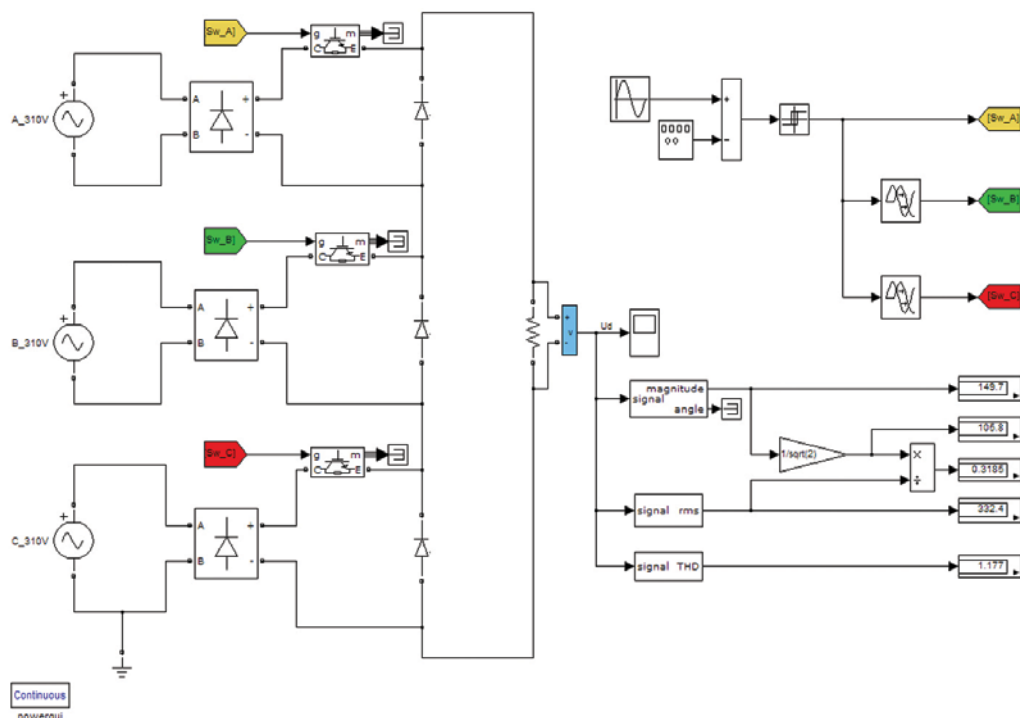


Рис. 5. Имитационная модель корректора коэффициента мощности

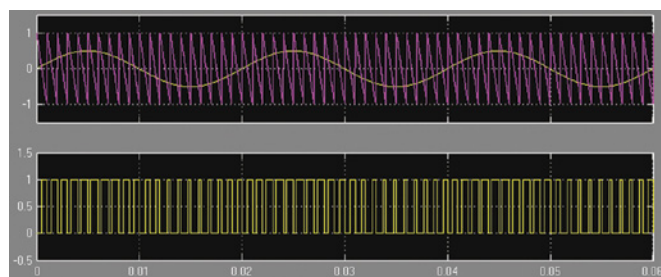


Рис. 6. Формирование управляемого тока на затворе транзистора IGBT

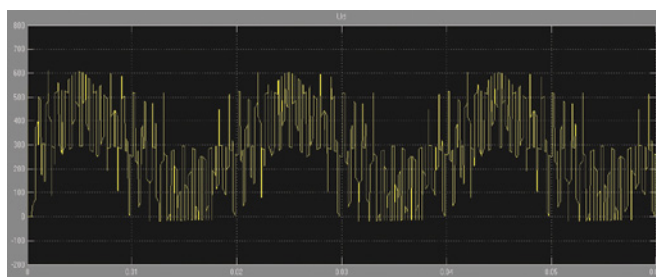


Рис. 7. Выходное напряжение корректора коэффициента мощности при $f_k = 1 \text{ кГц}$; $f_y = 50 \text{ Гц}$; $n = 10$; $\varphi = 0^\circ$; $U_y = 0,5$

ЛИТЕРАТУРА

1. Ефимов А. А., Шрейнер Р. Т. Активные преобразователи в регулируемых электроприводах переменного тока. – Новоуральск: Изд-во НГТН, 2001. – 250 с.
2. Авдзейко В. И., Шурыгин Ю. А. АИМ с дискретным изменением параметров ступеней. Аппаратно-программные средства автоматизации технологических процессов: Сб. ст./Под ред. Ю. А. Шурыгина. – Томск: Изд-во том. ун-та, 1995, с. 149–161.
3. Томасов В. С., Усольцев А. А., Вертегел Д. А. Особенности использования многоуровневых инверторов в системах прецизионного сервопривода//Изв. вузов. – Сер.: Приборостроение – 2022. – Т. 65. – № 1. – С. 1052–1059.
4. Yazdani Atousa. Energy and Voltage Management Methods for Multilevel Converters for Bulk Power System Power Quality Improvement. – Doctoral Dissertations. Presented to the Faculty of the Graduate School of the Missouri University of Science and technology – 2009. – P. 102. – https://scholar.mine.mst.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=3167&context=doctoral_dissertations
5. Кобзев А. В. Многозонная импульсная модуляция. – Новосибирск: Наука. – 1979. – С. 304.
6. Дмитриев Б. Ф., Пьей Пью Тун. Струк-

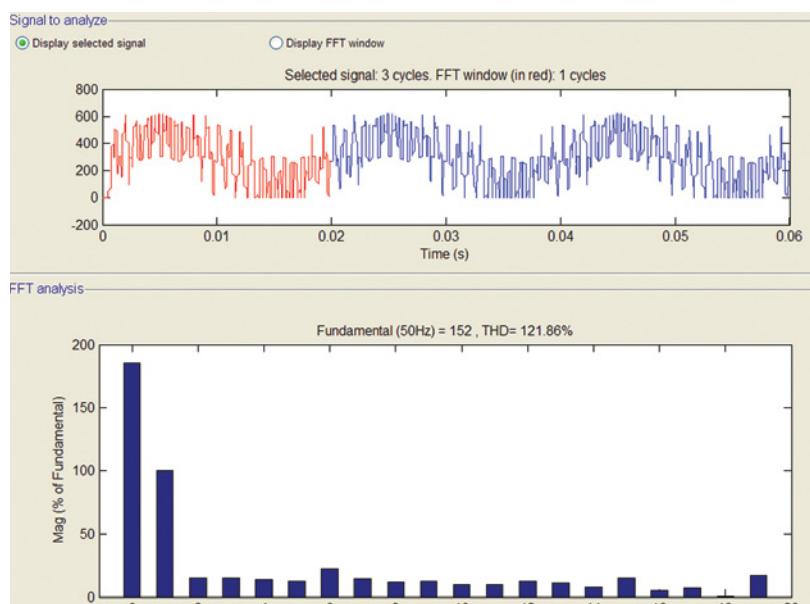


Рис. 8. Спектр выходного напряжения корректора коэффициента мощности

туры силовой части многоуровневых преобразователей электрической энергии для транспортных средств. – Всероссийская межотраслевая НТК: Актуальные проблемы морской энергетики. – СПб.: Изд-во СПбГМТУ, 2013, с. 216–221.

7. Дмитриев Б. Ф., Пьей Пью Тун. Математическое описание электромагнитных процессов в многоуровневых преобразователях для автономных систем электропитания//Морской вестник. – 2013. – Спецвыпуск № 2 (125). – С. 40–45. ■

Значение систем сжатого воздуха (ССВ) на кораблях и судах гражданского и ВМФ постоянно возрастает параллельно с увеличением их технической оснащенности. Ключевую роль играют общекорабельные системы воздуха высокого и среднего давления (ВВД и ВСД), которые обеспечивают функционирование главных и вспомогательных энергетических установок, а также механизмов и систем, поддерживающих обитаемость корабельного личного состава. Воздух высокого давления критически важен для работы систем вооружения, обеспечения живучести корабля, энергетических установок и вспомогательных агрегатов, а также для процессов всплытия подводных лодок. Воздух среднего давления преимущественно используется в системах защиты главных дизель-генераторов, сигнальных устройствах (тифонах и сиренах), пневматическом инструменте и системах снижения шумности гребных винтов, что особенно важно для скрытности подводных лодок и надводных кораблей. Поршневые компрессоры (далее – ПК) сохраняют ключевое значение в ССВ и являются основным её элементом. Их продолжают активно использовать благодаря следующим техническим преимуществам:

- высокая ремонтпригодность в условиях ограниченного судового пространства;
- устойчивость к качке и вибрациям;
- способность обеспечивать стабильное давление при переменных нагрузках.

Интенсивное развитие автоматизации корабельных систем и увеличение числа потребителей сжатого воздуха приводят к значительному ужесточению требований к компрессорному оборудованию. В условиях эксплуатации на флоте особую важность приобретает способность компрессорных установок оперативно восполнять запасы ВВД и ВСД при резких изменениях воздухопотребления, характерных для боевых и аварийных режимов работы корабельных систем.

Учитывая критическую важность компрессоров для безопасности кораблей и судов, к их надежности предъявляются особые требования:

- повышенная стойкость к коррозии в морских условиях;
- минимизация вибраций для предотвращения резонансных явлений;
- обеспечение бесперебойной работы при качке до 45°.

В этих условиях методы оперативно-го выявления аномалий в работе судовых компрессоров приобретают особую актуальность, позволяя предотвращать аварийные ситуации и поддерживать

боеготовность кораблей ВМФ и работоспособность гражданского флота.

В настоящее время судовые ПК чаще всего обслуживаются по системе планово-предупредительного ремонта или технического обслуживания, которые предполагают проведение регламентных работ по фиксированному графику или по определенной наработке моточасов. Хотя такой подход и обеспечивает безопасную эксплуатацию компрессорного оборудования, он имеет существенный недостаток: технически исправные агрегаты, способные продолжать работу, выводятся из эксплуатации для проведения регламентных работ. Это приводит к неоправданному росту затрат на обслуживание и снижению экономической эффективности, создавая ситуацию «избыточного» или «недостаточного» технического обслуживания.

Учитывая эти недостатки, все большее внимание уделяют системе технического обслуживания по фактическому состоянию. Такой подход позволяет:

- выявлять потенциальные неисправности без вывода компрессора из работы;
- прогнозировать изменения технического состояния оборудования;
- обеспечивать адресный и точный выбор момента для проведения обслуживания [1, 2].

Ключевое значение для технического обслуживания по фактическому состоянию имеет мониторинг технического состояния, в рамках которого особую важность приобретает обнаружение аномалий в работе компрессора. Своевременное выявление отклонений позволяет:

- оптимизировать графики технического обслуживания;
- повысить научную обоснованность эксплуатационной политики;
- значительно увеличить эффектив-

ность обслуживания судовых компрессорных установок.

Данная методика представляет особую ценность для обеспечения надежной работы ПК на кораблях ВМФ, где требования к безотказности оборудования особенно высоки.

Мониторинг параметров давления и температуры по ступеням ПК представляет собой базовый и наиболее распространенный метод диагностики судовых компрессорных установок. Анализ этих параметров позволяет реализовать обнаружение аномальных режимов эксплуатации посредством нейронных сетей, осуществляющих автоматическое выделение диагностических признаков при отклонениях от нормальной работы [3].

Анализ индикаторных диаграмм ступеней ПК позволяет построить параметрическую модель, диагностирующую следующие характерные неисправности [4]:

- 1) дефекты, связанные с объемными потерями:
 - чрезмерно увеличенный объем вредного пространства;
 - значительные утечки через поршневые кольца;
 - негерметичность клапанных узлов;
- 2) нарушения работы клапанного механизма:
 - заклинивание нагнетательного клапана в открытом положении;
 - заедание всасывающего клапана;
 - отскок нагнетательного клапана от седла с последующей реверсивной утечкой;
- 3) ограничения пропускной способности:
 - недостаточное проходное сечение всасывающих клапанов или впускного тракта;
 - повышенное аэродинамическое сопротивление в нагнетательном тракте или выпускных клапанах.

АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СУДОВОГО ПОРШНЕВОГО КОМПРЕССОРА НА ОСНОВЕ ВАРИАЦИОННОЙ МОДОВОЙ ДЕКОМПОЗИЦИИ И ГЛУБОКОГО АВТОЭНКОДЕРА

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

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

А.В. Бураков, начальник ЦКБ,

АО «Компрессор»,

А.В. Махшинов, д-р техн. наук, проф.,

Л.Н. Тындыкаръ, ст. преподаватель,

ГУМРФ им. адм. С.О. Макарова,

контакт. тел. (812) 295 5034, (812) 295 5090, (812) 295 3147,

+7(921) 325 2493, +7 (904) 644 3598

Каждый из перечисленных дефектов имеет характерные признаки на индикаторной диаграмме, проявляющиеся в изменении формы кривой давления, величине коэффициента подачи и температурных параметрах на соответствующих ступенях сжатия.

Поскольку аномальные данные сложно получить в реальных условиях эксплуатации судовых ПК, методы мониторинга без учителя стали основным направлением исследований. В частности, был предложен метод обнаружения аномалий на основе минимального основного дерева, применяемый для мониторинга гидротурбинных систем [5]. Система мониторинга собирает данные с десятков датчиков, включая:

- температуру масла в системе смазки;
- температуру подшипников;
- температуру окружающей среды;
- вибрацию в рабочих зонах.

Методы кластеризации как один из подходов к обучению без учителя также нашли применение в диагностике [6]. В них реализовано практическое применение плотностного алгоритма кластеризации для мониторинга температуры подшипников с улучшением метода распределения вероятностей [7].

Авторы в [8] предложили метод обнаружения аномалий температуры подшипников, комбинируя регрессионную модель скользящего окна на основе LSTM-сетей с анализом скорости изменения температуры во времени.

Эволюция методов диагностики прошла путь от анализа индикаторных диаграмм и отдельных вибрационных сигналов до комплексного мониторинга с использованием данных множества датчиков. В последние годы с развитием методов, основанных на данных, машинное обучение находит все большее применение в задачах обнаружения аномалий. Автоэнкодеры (AE – *autoencoder*) как важный метод машинного обучения уже доказали свою практическую эффективность в этой области [9].

ДСП Традиционные алгоритмы машинного обучения демонстрируют низкую эффективность при обнаружении аномалий в работе судовых ПК, поскольку не способны выявлять сложные структурные зависимости в данных. Более перспективным подходом является использование AE, которые позволяют выделять низкоразмерное пространство признаков, обеспечивающее качественную реконструкцию исходных данных. В современных методах диагностики широко применяются различные архитектуры AE, показавшие свою эффективность при анализе технического состояния оборудования. Особое распространение получили разреженные автоэнкодеры (*Sparse Autoencoders*) [10], успешно используемые для выделения

характерных признаков из вибрационных сигналов и токовых характеристик электрооборудования. Эти методы позволяют с высокой точностью идентифицировать различные типы повреждений в электрических машинах и силовых агрегатах.

Для решения задач диагностики механических систем активно применяются стекированные (многослойные) автоэнкодеры (*Stacked Autoencoder*) [11]. Их ключевое преимущество заключается в способности выявлять сложные нелинейные зависимости в данных, что особенно важно при анализе вибрационных сигналов подшипниковых узлов и зубчатых передач. Модификации с использованием принципа максимальной энтропии в качестве функции потерь демонстрируют повышенную точность при выделении диагностических признаков.

Особого внимания заслуживают автоэнкодеры с шумоподавлением (*Denoising Autoencoder*) [12], которые показывают высокую устойчивость к помехам и сохраняют эффективность при различных рабочих режимах оборудования. Эти методы особенно ценны для мониторинга динамических систем, где уровень шумов и вариативность условий эксплуатации существенно осложняют процесс диагностики.

Применение классических AE для диагностики судовых ПК демонстрирует ограниченную эффективность, что обусловлено комплексом технологических и эксплуатационных факторов. Основная проблема заключается в крайней нестационарности рабочих режимов судовых компрессоров, характеризующихся изменениями нагрузки, частыми пусками/остановами и циклическим характером работы с переменным давлением. Эти факторы усугубляются влиянием внешних возмущений, таких как качка и вибрация корпуса судна, что приводит к существенному ухудшению соотношения сигнал/шум и появлению нелинейных искажений в диагностических сигналах.

Специфические ограничения AE проявляются в их чувствительности к изменению масштаба данных при вариациях оборотов, трудностях выделения слабовыраженных признаков зарождающихся дефектов и повышенной вероятности ложных срабатываний во время переходных процессов. Особую сложность представляет диагностика мультипликативных дефектов, характерных для поршневых компрессоров, когда наблюдается одновременное развитие нескольких видов повреждений (например, износ клапанов в сочетании с деградацией поршневых колец). Быстрое прогрессирование повреждений после появления первых признаков и

сильная взаимосвязь контролируемых параметров (температура, давление, вибрация) дополнительно осложняют процесс ранней диагностики.

На практике это приводит к трем основным проблемам: высокому проценту ложных тревог (достигающему 30–40% для простых архитектур AE), пропуску ранних стадий развития дефектов и недостаточной устойчивости моделей при изменении условий эксплуатации. Именно поэтому прямое применение AE без предварительной обработки данных не удовлетворяет строгим требованиям к достоверности диагностики судовых систем, где допустимый уровень ошибок должен быть значительно ниже, чем для стационарных промышленных установок.

Комбинированный подход вариационной модовой декомпозиции (*VMD – Variational modal decomposition*) и AE позволяет преодолеть эти ограничения за счет трех ключевых преимуществ. Во-первых, предварительная фильтрация и модовая декомпозиция сигналов обеспечивают разделение полезной информации и помех. Во-вторых, анализ отдельных мод разной физической природы повышает чувствительность к слабым диагностическим признакам. В-третьих, построение инвариантных характеристик, устойчивых к изменению условий эксплуатации, значительно снижает вероятность ложных срабатываний. Особенно важно, что такой подход позволяет выявлять комплексные дефекты на ранних стадиях их развития, что критически важно для обеспечения надежности судовых компрессорных установок.

МЕТОДИКА ОБНАРУЖЕНИЯ АНОМАЛИЙ В РАБОТЕ СУДОВЫХ ПОРШНЕВЫХ КОМПРЕССОРОВ НА ОСНОВЕ ВАРИАЦИОННОЙ МОДОВОЙ ДЕКОМПОЗИЦИИ И ГЛУБОКОГО АВТОЭНКОДЕРА

В последние годы методы глубокого обучения как перспективное направление машинного обучения успешно применяются для решения задач классификации и распознавания. Развитием этого направления стало появление глубоких автоэнкодеров (*DAE – Deep Autoencoder*), сочетающих принципы глубинного обучения с классической архитектурой автоэнкодеров. В данной работе DAE применяется для решения задачи обнаружения аномалий в работе судовых ПК.

AE как инструмент обучения без учителя особенно подходит для задач обнаружения аномалий, где невозможно получить достаточное количество аномальных образцов. При этом он обладает мощной способностью находить скрытые модели и признаки в многомерных данных. AE состоит из двух частей: ко-

дировщика и декодировщика. Кодировщик получает сжатый код из входных данных, а декодировщик может восстанавливать данные из этого кода.

АЕ имеет симметричную структуру с использованием нейросетевой архитектуры, где первая часть выполняет кодирование, вторая часть – декодирование, а сжатый код получается в середине (рис. 1). Его математическое выражение для кодирования (энкодера) выглядит следующим образом:

$$h = \sigma(W_{xh}x + b_{xh}), \quad (1)$$

где h – скрытое представление данных (код); σ – функция активации (обычно ReLU, sigmoid или tanh); W_{xh} – матрица весовых коэффициентов энкодера; x – входной вектор данных (например, показания датчиков); b_{xh} – вектор смещения энкодера.

– для декодирования (декодера) выглядит следующим образом:

$$z = \sigma(W_{hz}h + b_{hz}), \quad (2)$$

где z – восстановленный выходной вектор; W_{hz} – матрица весовых коэффициентов декодера; b_{hz} – вектор смещения декодера.

– для ошибки реконструкции выглядит следующим образом:

$$r = \|x - z\|, \quad (3)$$

где r – норма разницы между входным и восстановленным векторами; $\|\cdot\|$ – обычно L2-норма (евклидово расстояние); x – исходный входной вектор; z – восстановленный вектор.

АЕ состоит из двух частей: первая половина представляет собой сеть кодировщика, а вторая половина – сеть декодировщика. Входные данные сжимаются посредством сети кодировщика, извлекаются значения, наиболее точно отражающие характеристики входных данных, после чего данные восстанавливаются через сеть декодировщика. Поскольку входные и выходные данные в процессе обучения идентичны, при тестировании восстановленные и входные данные будут относительно схожи. Благодаря уникальным нелинейным характеристикам функции активации в нейронной сети, кодировщик и декодировщик способны осуществлять извлечение признаков и восстановление исходного сигнала.

Обнаружение аномалий на основе АЕ использует ошибку реконструкции в качестве классификационного индикатора для разделения нормальных и аномальных данных. Поскольку количество нейронов в промежуточном слое АЕ, как правило, меньше, чем во входном и выходном слоях, считается, что промежуточный слой содержит сжатые характеристики входного сигнала. Эти характеристики восстанавливают исходный сигнал после прохождения через декодировщик. Поскольку АЕ обучается на большом объеме данных, соответс-

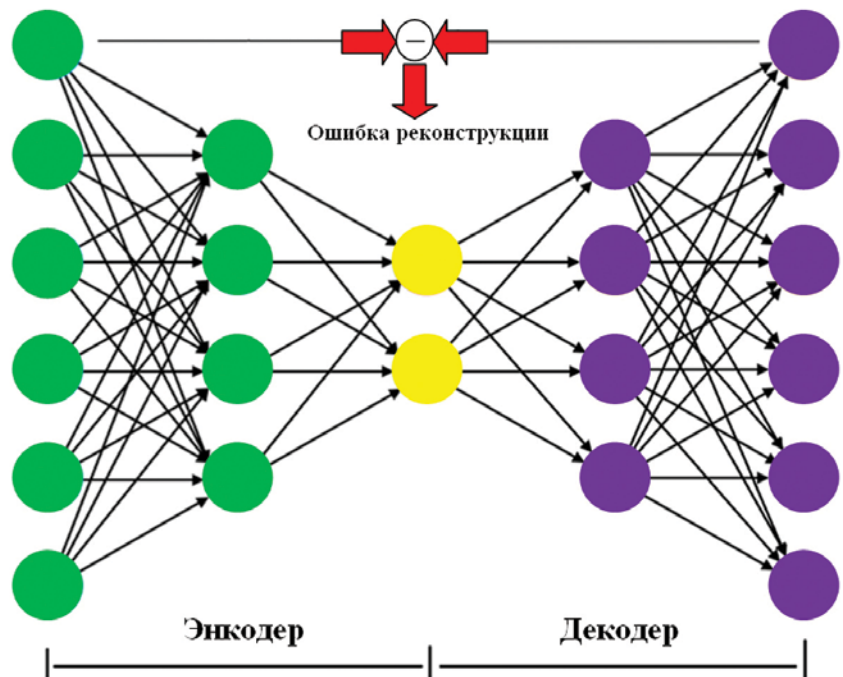


Рис. 1. Архитектура автоэнкодера и ошибка реконструкции

твующих нормальному состоянию, его цель – минимизировать ошибку реконструкции.

Таким образом, обученный АЕ обладает высокой способностью к восстановлению нормальных сигналов. Однако для аномальных данных ошибка реконструкции оказывается значительной, поскольку они не участвовали в обучении. Следовательно, ошибку реконструкции можно использовать для определения аномальности сигнала.

Иными словами, при обучении автоэнкодера в сеть подаются только нормальные данные. В результате модель, обученная с целью минимизации ошибки реконструкции, демонстрирует высокую способность к восстановлению нормальных данных, но недостаточную – для аномальных. Это приводит к существенно большей ошибке реконструкции для аномальных данных.

ГЛУБОКИЙ АВТОЭНКОДЕР

В традиционном АЕ входные и выходные данные соединены через полносвязный слой, тогда как в сверточном автоэнкодере эти слои заменены сверточными. Поскольку в данной работе используются временные ряды, где присутствует взаимосвязь между предыдущими и последующими данными, применение простого АЕ привело бы к потере временной информации. Поэтому был выбран сверточный АЕ.

Так как последовательные данные являются одномерными, рассмотрим автоэнкодер на основе одномерной сверточной нейронной сети (1D CNN – convolutional neural networks). CNN демонстрирует высокую эффективность при решении различных задач.

Поскольку данные с каждого датчика представляют собой одномерные временные ряды, в модели применяется именно 1D CNN. При этом формула свертки 1D CNN выглядит следующим образом:

$$x_k^l = \sum_{i=1}^{N_{l-1}} \text{Conv1D}(w_{ik}^{l-1}, s_i^{l-1}) + b_k^l, \quad (4)$$

где x_k^l – входной сигнал для нейрона k в слое l ; N_{l-1} – количество карт признаков (фильтров) в предыдущем слое $l-1$; Conv1D – операция одномерной свертки; w_{ik}^{l-1} – весовой коэффициент фильтра, связывающего i -й нейрон слоя $l-1$ с k -м нейроном слоя l ; s_i^{l-1} – выходной сигнал k -го нейрона из предыдущего слоя $l-1$; b_k^l – коэффициент смещения для k -го нейрона в слое l .

Формула активации 1D CNN выглядит следующим образом:

$$y_k^l = f(x_k^l) = \max(0, x_k^l), \quad (5)$$

где y_k^l – выходное значение нейрона k в слое l после функции активации; f – функция активации; $\max(0, x_k^l)$ – операция, возвращающая максимум между 0 и входным значением.

Когда данные являются двумерными, одномерная 1D CNN, описанная выше, может быть заменена стандартной двумерной 2D CNN. Такая архитектура двумерной сверточной сети широко применяется в задачах классификации и распознавания изображений. В данной работе используется DAE на основе 2D CNN.

ВАРИАЦИОННАЯ МОДОВАЯ ДЕКОМПОЗИЦИЯ

Сигналы, поступающие с датчиков ПК, могут быть разложены на суперпозицию нескольких простых сигналов. Сигнал, который выглядит особенно

сложным во временной области, может демонстрировать очень простое распределение в частотной области, и этот простой сигнал очевидно более благоприятен для кодирования данных. Наиболее часто используемым методом разложения сигналов является преобразование Фурье, но его ограничение заключается в том, что трудно разделить нестационарные сигналы. Вейвлет-преобразование может быть использовано для разложения нестационарных сигналов, но его производительность разложения зависит главным образом от выбора материнского вейвлета. Эмпирическая модовая декомпозиция (*EMD – empirical mode decomposition*) помогает устранить взаимное влияние между подпоследовательностями, недостатком является то, что наложение мод будет происходить часто. Для повышения эффективности обучения без учителя сигналы, поступающие с датчик ПК, разлагаются с помощью *VMD* [13]. Основная идея *VMD* состоит в построении и решении вариационной задачи. Предполагая, что исходный сигнал разлагается на несколько подсигналов, каждая мода представляет собой ограниченную полосу пропускания с центральной частотой, а сумма расчетной полосы пропускания каждой моды минимальна, ограничивающим условием является то, что сумма всех мод равна исходному сигналу. Соответствующее ограниченное вариационное выражение принимает вид

$$\min_{\{u_k\}, \{\omega_k\}} \sum_{k=1}^K \left\| \partial_t \left[\left(\delta(t) + \frac{j}{\pi t} \right) * u_k(t) \right] e^{-j\omega_k t} \right\|_2^2 \quad (6)$$

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

где $\{u_k\}$ – k -я мода; $\{\omega_k\}$ – центральная частота k -й моды; δ – распределение Дирака; k – количество мод; t – время; $*$ – обозначает свертку.

Решая уравнение (6), можно получить формулы для моды k и центральной частоты ω_k :

$$\hat{u}_k^{n+1}(\omega) = \frac{\hat{f}(\omega) - \sum_{i \neq k} \hat{u}_i(\omega) + \frac{\hat{\lambda}(\omega)}{2}}{1 + 2\alpha(\omega - \omega_k)^2}, \quad (8)$$

$$\omega_k^{n+1} = \frac{\int_0^\infty \omega |\hat{u}_k(\omega)|^2 d\omega}{\int_0^\infty |\hat{u}_k(\omega)|^2 d\omega}. \quad (9)$$

Эффективность декомпозиции методом *VMD* зависит в первую очередь от выбранного количества мод. При недостаточном количестве мод алгоритм *VMD*, функционирующий как адаптивный фильтр, может отфильтровать важные компоненты исходного сигнала, что негативно скажется на точности последующего прогнозирования. С другой стороны, избыточное количество мод приводит к сближению центральных частот соседних модальных компонен-

тов, вызывая их перекрытие или появление «паразитных» шумовых составляющих. Поскольку центральные частоты различных мод различаются, оптимальное количество мод может быть подобрано путем анализа распределения центральных частот при различных значениях этого параметра.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Сложность конструкции судовых ПК обуславливает наличие значительного количества комплексной информации в сигналах их датчиков. Применение *VMD* позволяет разложить эти сложные сигналы на множество простых *субсигналов*. Ключевое преимущество такого подхода заключается в том, что аномальные паттерны, которые трудно выявить в исходном комплексном сигнале, становятся хорошо различимыми при анализе отдельных простых компонент. На этом основании в работе предлагается методика обнаружения аномалий, сочетающий *VMD* с *DAE*.

Алгоритм реализации метода включает следующие этапы:

- декомпозиция сигналов каждого датчика с помощью *VMD* на набор субсигналов;

- формирование двумерной матрицы, содержащей все полученные субсигналы;
- обучение *DAE* на основе 2D CNN;
- расчет ошибки реконструкции для выявления аномалий;
- классификация состояния ПК на основе анализа ошибки.

Методика демонстрирует повышенную точность по сравнению с традиционными подходами за счет:

- сохранения временных зависимостей в сигналах;
- эффективного подавления «паразитных» шумов;
- возможности выявления комплексных дефектов.

Для оценки технического состояния ПК были выбраны два датчика КИП станции компрессорной автоматизированной СКА60/200.

Для оценки технического состояния ПК использовались данные с двух ключевых датчиков станции компрессорной автоматизированной СКА60/200 (рис. 2, а), установленных в первом цилиндре: датчика температуры (рис. 2, б) и датчика давления (рис. 2, в).

Датчик температуры в первом цилиндре обеспечивает контроль теплового состояния рабочей камеры, где

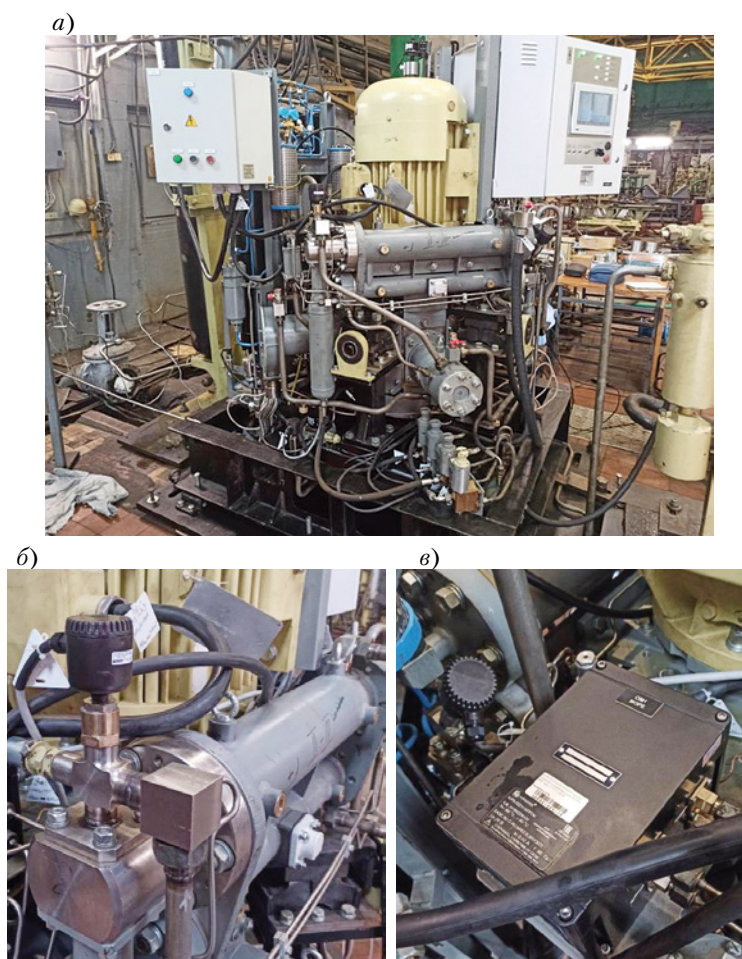


Рис. 2. Состав экспериментальной установки: а – станция компрессорная автоматизированная СКА60/200, б – датчик температуры, в – датчик давления в коробке клеммной

превышение нормативных значений может свидетельствовать о перегреве, вызванном износом поршневых колец или нарушением теплоотвода. Датчик давления в первом цилиндре фиксирует параметры рабочего процесса на тактах всасывания и сжатия, при этом отклонения от заданных характеристик давления указывают на возможные неисправности клапанного механизма или потерю герметичности. Совместный анализ этих двух параметров позволяет выявить взаимосвязи между тепловыми и механическими процессами, что особенно важно для ранней диагностики таких дефектов, как задиры цилиндра,

износ уплотнений или нарушение работы клапанов. Получаемые сигналы с датчиков температуры и давления первого цилиндра формируют исходные данные для последующей обработки методами *VMD* и *DAE*.

Первым этапом обработки данных является их декомпозиция методом *VMD* с использованием высокоточного инкрементального энкодера, обеспечивающего регистрацию 3600 импульсов в секунду. В ходе 10-минутного экспериментального исследования данные с датчиков температуры и давления первого цилиндра синхронизировались с сигналами инкрементального

энкодера и разбивались на интервалы, соответствующие полному рабочему циклу компрессора. Для анализа использовались равномерные временные отрезки, позволяющие построить точную индикаторную диаграмму (рис. 3, а), которая служит классическим инструментом для получения эталонных характеристик рабочего цикла и выявления отклонений, связанных с различными неисправностями. Экспериментальным путем установлено, что оптимальное разложение сигнала датчика температуры составляет 3 моды, а для сигнала давления – 5 мод (рис. 3, б и 3, в).

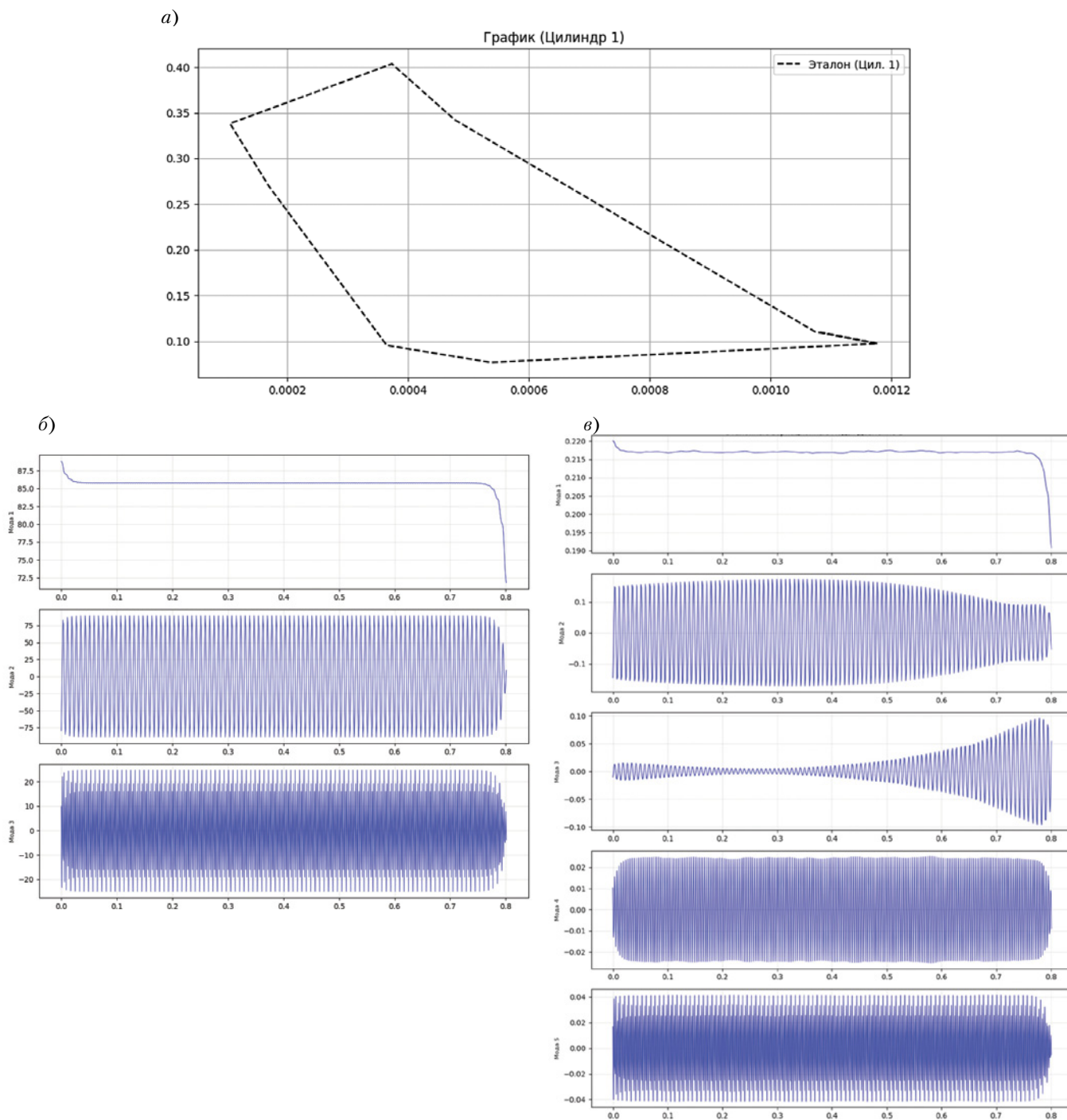


Рис. 3. Состав экспериментальной установки: а – индикаторная диаграмма 1 цилиндра SKA60/200 в исправном состоянии, б – вариационные моды сигнала с датчика температуры 1 цилиндра, в – вариационные моды сигнала с датчика давления 1 цилиндра

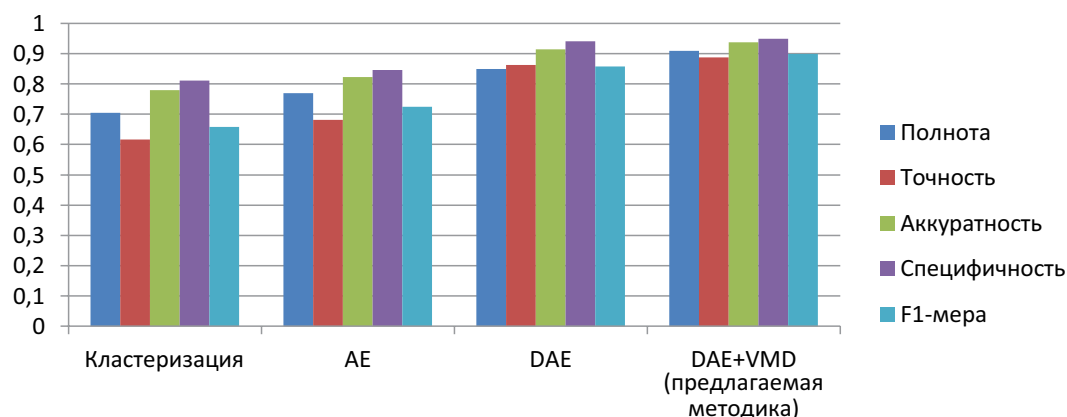


Рис. 4. Сравнение различных методов обнаружения аномалий

С учетом частоты дискретизации энкодера (3600 Гц) и продолжительности эксперимента (600 секунд) общий объем данных составил 2 160 000 отсчетов, которые после обработки *VMD* преобразованы в матрицу размером $8 \times 30\,000$, где 8 – суммарное количество мод (3 температурных + 5 по давлению), а 30 000 – количество анализируемых рабочих циклов (по 72 отсчета энкодера на каждый цикл). Такое представление данных сохраняет временную и фазовую корреляцию параметров, что обеспечивает высокую точность построения индикаторных диаграмм и последующего выявления аномалий с помощью *DAE*.

DAE, используемый для обнаружения аномалий в работе судового ПК, имеет стандартную *CNN*-архитектуру. Кодировщик состоит из 4 слоев, где входной размер составляет $30\,000 \times 8 \times 1$. Последовательно соединены три стандартных *CNN*-слоя с размерностями $30\,000 \times 8 \times 16$, $15\,000 \times 4 \times 8$ и $7500 \times 2 \times 4$ соответственно. Каждый кодирующий *CNN*-слой включает сверточный слой, функцию активации ReLU (Rectified Linear Unit) и слой MaxPool (Max Pooling). В результате кодирования получается двумерное представление размером 7500×2 . Декодировщик использует обратную архитектуру, где стандартный декодирующий *CNN*-слой состоит из слоя апсемплинга, сверточного слоя и функции активации ReLU. На выходе декодировщик восстанавливает дан-

ные исходного размера $30\,000 \times 8 \times 1$. Для определения аномалий используется остаточная ошибка реконструкции автоэнкодера, причем пороговое значение вычисляется динамическим методом. Исходный набор данных, содержащий как нормальные, так и аномальные показания датчиков температуры и давления первого цилиндра, упаковывается в определенной пропорции, и на этом наборе определяется новый порог. Динамическая модель вычисляет вектор отклонений между исходными и реконструированными данными, после чего порог обновляется в реальном времени путем максимизации F1-меры. Методика определения порога заключается в разделении диапазона между максимальным и минимальным значениями в векторе отклонений на 100 равных частей, где каждая часть представляет потенциальный порог. Путем последовательного перебора вычисляется порог, максимизирующий F1-меру, который затем используется для классификации нормальных и аномальных данных в тестовом наборе. (Корректировка размерностей матрицы выполнена в соответствии с ранее рассчитанными параметрами: 30 000 отсчетов по времени и 8 мод (3 температурных + 5 по давлению), что обеспечивает корректное соответствие архитектуры сети структуре входных данных).

Для обучения модели использовались данные с двух датчиков (температуры и давления первого цилинд-

ра), включающие эталонные показатели, формирующие индикаторную диаграмму, зарегистрированные в стабильном рабочем режиме судового ПК. Тестирование проводилось на отдельном наборе из 10 000 циклов, формирующих индикаторные диаграммы, содержащие как смоделированные аномалии (3000 циклов), так и реальные нормальные показания (7000 циклов). Для оценки эффективности обнаружения аномалий применялись метрики: полнота (recall), точность (precision), аккуратность (accuracy), специфичность (specificity) и F1-мера, причем F1-мера использовалась как интегральный показатель качества. В сравнительном анализе участвовали: методика кластеризации, классический *AE* и предложенная методика *DAE* без *VMD*. Результаты экспериментов, приведенные в таблице и на рис. 4, демонстрируют значительное превосходство предложенной методики по всем показателям, включая F1-меру. Матрица путаницы (рис. 5) подтверждает эти выводы, показывая высокую точность классификации для данных с датчиков температуры (3 моды *VMD*) и давления (5 мод *VMD*), сформированных в матрицу $30\,000 \times 8$ на основе сигналов инкрементального энкодера. Динамический порог, адаптированный под специфику работы судового компрессора, обеспечил надежное разделение аномальных и нормальных состояний.

Таблица

Сравнение различных методов обнаружения аномалий работы ПК

Метрика	Методика			
	Кластеризация	AE	DAE	DAE+VMD (предлагаемая методика)
Полнота	0,705	0,770	0,850	0,910
Точность	0,616	0,682	0,863	0,887
Аккуратность	0,780	0,823	0,914	0,938
Специфичность	0,811	0,846	0,941	0,950
F1-мера	0,658	0,724	0,857	0,899

		Предсказано: Аномалия	Предсказано: Норма			Предсказано: Аномалия	Предсказано: Норма		
Аномалия	Норма	2115 (TP)	885 (FN)	Аномалия	Норма	2310 (TP)	690 (FN)		
		1316 (FP)	5684 (TN)			1080 (FP)	5920 (TN)		
Кластеризация				AE					
		Предсказано: Аномалия	Предсказано: Норма			Предсказано: Аномалия	Предсказано: Норма		
Аномалия	Норма	2550 (TP)	450 (FN)	Аномалия	Норма	2730 (TP)	270 (FN)		
		408 (FP)	6592 (TN)			345 (FP)	6655 (TN)		
DAE				DAE+VMD (предлагаемая методика)					

Рис. 5. Матрица путаницы: TP (True Positive) – правильно обнаруженные аномалии, FP (False Positive) – ложные срабатывания (нормальные циклы, ошибочно классифицированные как аномальные), FN (False Negative) – пропущенные аномалии, TN (True Negative) – правильно классифицированные нормальные циклы

ВЫВОДЫ

В данной работе предлагается метод обнаружения аномалий в работе судового ПК, основанный на комбинации VMD и DAE. Сигналы с датчиков температуры и давления первого цилиндра подвергаются декомпозиции методом VMD для получения модальных компонент, которые затем обрабатываются с помощью DAE в рамках обучения без учителя, а остаточная ошибка реконструкции используется для выявления аномалий. Экспериментальные результаты демонстрируют, что DAE эффективно увеличивает разделимость между нормальными и аномальными образцами, а VMD существенно сокращает количество образцов в зоне перекрытия классов. По сравнению с кластеризацией и базовой методикой AE предложенный подход обеспечивает улучшение полноты на 22,52% и 15,38%, точности на 30,55% и 23,11% и F1-меры на 26,8% и 19,46%, тогда как по сравнению с DAE без использования VMD наблюдается рост соответствующих метрик на 6,59%, 2,7% и 4,67%. Результаты подтверждают превосходство предложенного метода над существующими аналогами, а также его потенциал для применения в других областях. Исследование проводилось в условиях стабильного рабочего режима ПК. Дальнейшая работа будет направлена на расширение метода для работы с разнообразными режимами эксплуатации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Емелин Н. М. К вопросу обоснования технического обслуживания сложных технических комплексов по их фактическому техническому состоянию // Двойные технологии. – 2025. – № 1(110). – С. 7–9. – EDN GDQRJU.
2. Абрамов О. В. Использование минимаксного гарантирующего подхода в задачах планирования эксплуатации технических систем // Тр. междунар. симпозиума «Надежность и качество». – 2024. – Т. 1. – С. 59–61. – EDN NBNZZF.
3. Хотский Р. Р., Бураков А. В., Махшинов А. В., Тындыкарь Л. Н. Прогнозирование технического состояния поршневого компрессора на основе вариационной модальной декомпозиции и рекуррентной нейронной сети // Морской вестник. – 2025. – № 2(94). – С. 45–49. – EDN XDDJRI.
4. Бураков А. В., Хотский Р. Р., Кузнецов Л. Г. Выбор и изучение способов реализации модели диагностирования компрессорных станций ракетно-космического комплекса // Омский науч. вестник. – Серия: Авиационно-ракетное и энергетическое машиностроение. – 2025. – Т. 9. – № 1. – С. 72–82. – DOI 10.25206/2588-0373-2025-9-1-72-82. – EDN JRHMTO.
5. Dagnino Ahmed A. and Ding, Y. Unsupervised Anomaly Detection Based on Minimum Spanning Tree Approximated Distance Measures and its Application to Hydropower Turbines // IEEE Transactions on Automation Science and Engineering. – 2019. – Vol. 16. – № 2 (April). – P. 654–667. Doi: 10.1109/TASE.2018.2848198.
6. Алексеев А. А., Попова Ю. Б., Шестопалов М. Ю. Алгоритмы нечеткой кластеризации в задачах диагностики технических систем // Изв. вузов (Северо-Кавказский регион): – Технические науки. – 2012. – № 3(167). – С. 3–7. – EDN OYZUBP.
7. Calvo-Bascones P., Sanz-Bobi M. A., Welte T. M. Anomaly detection method based on the deep knowledge behind behavior patterns in industrial components. Application to a hydropower plant // Computers in Industry. – 2021. – Т. 125. – С. 103376.
8. Yuan J., Wang Y., Wang K. LSTM based prediction and time-temperature varying rate fusion for hydropower plant anomaly detection: A case study // International Workshop of Advanced Manufacturing and Automation. – Singapore: Springer Singapore, 2018. – P. 86–94.
9. Сравнительное исследование эффективности автоэнкодеров в задачах обнаружения аномалий / Марлей В. Е., Терехов А. Н., Гатчин Ю. А. [и др.] // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. – 2024. – Т. 26. – № 5. – С. 96–106. – DOI 10.18127/j19998554-202405-09. – EDN VHNMPD.
10. Wang L. et al. Transformer fault diagnosis using continuous sparse autoencoder // SpringerPlus. – 2016. – Т. 5. – № 1. – С. 448.
11. Shao H. et al. A novel deep autoencoder feature learning method for rotating machinery fault diagnosis // Mechanical Systems and Signal Processing. – 2017. – Т. 95. – P. 187–204.
12. Lu C. et al. Fault diagnosis of rotary machinery components using a stacked denoising autoencoder-based health state identification // Signal Processing. – 2017. – Т. 130. – P. 377–388.
13. Zosso D., Dragomiretskiy K. Variational Mode Decomposition // IEEE Transactions on Signal Processing. – 2014. – Vol. 62 (3). – P. 531–544. ■

Судовой валопровод является трансмиссией энергетической установки и передает мощность от главного двигателя к гребному винту. Он также воспринимает продольную силу от гребного винта к корпусу судна. Судовой валопровод – это единая валовая линия, которая состоит из соединенных между собой валов на одной оси: гребной, промежуточный, упорный. Они опираются на дейдвудные и промежуточные подшипники. Количество опорных подшипников зависит от расположения машинного отделения на судне и от общей длины самого валопровода [7].

Кормовой дейдвудный подшипник, расположенный близко к гребному винту, – самый нагруженный, он воспринимает большие нагрузки (постоянные, переменные, случайные) со стороны самого гребного вала и винта. Его общая длина может достигать $(1-4)d_{гр}$.

Дейдвудное устройство – сложная конструкция, которая обеспечивает герметичное и надежное соединение корпуса самого судна с гребным валом судового валопровода. Оно включает дейдвудную трубу, дейдвудные подшипники (скользящие), уплотнения и систему смазки. Дейдвудные подшипники характеризуются по химическому строению используемых антифрикционных материалов, которые делятся на два вида [6, 7]: металлические (бabbит, чугун) и неметаллические (капролон, капрон, бакаут). К используемым антифрикционным материалам предъявляются требования хорошей обрабатываемости и высокой теплопроводности при низком коэффициенте теплового расширения.

Сами подшипники устанавливаются внутри дейдвудной трубы. Они обеспечивают плавное вращение гребного вала с минимальным трением. Для этого на гребном валу устанавливается цельная бронзовая облицовка, толщина которой зависит от диаметра гребного вала. Окончательное значение толщины облицовочной втулки, которая может составлять $1/20$ диаметра гребного вала, принимается по ближайшему большему нормализованному размеру самого дейдвудного подшипника.

Уплотнения, расположенные на концах дейдвудной трубы, предотвращают проникновение воды внутрь корпуса судна. Система смазки, непрерывно подающая масло (для баббита) или заборную воду (для неметаллических антифрикционных материалов) к подшипникам, обеспечивает их надежную работу и продлевает срок службы. Общий вид дейдвудного подшипника с антифрикционным материалом баббит представлен на рис. 1.

Надежная работа гребного вала и дейдвудного устройства важны для безопасной и эффективной эксплуатации самого судна. Регулярное техническое обслуживание, качественный ремонт и контроль состояния этих элементов позволяют своевременно выявлять и устранять возникающие проблемы, предотвращая серьезные аварии и обеспечивая бесперебойную работу и ходкость судна [8]. Следует отметить, что оценить рабочее состояние дейдвудного подшипника в процессе эксплуатации практически невозможно. Поэтому применяется анализ механических параметров валопровода, таких как вибрация и температура, изменения параметров которых в процессе эксплуатации используется при комплексной диагностике дейдвудных подшипников и всего валопровода. Это позволяет выявить проблемы на ранних стадиях энерге-

ВЛИЯНИЕ ДЕЙСТВИЯ СЛУЧАЙНЫХ НАГРУЗОК НА СРОК СЛУЖБЫ РЕЗИНОМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ДЕЙДВУДНЫХ ПОДШИПНИКОВ

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

А.Р. Санжапов, ст. инженер-инспектор,

Российский морской регистр судоходства (Астраханский филиал),

А.Р. Наумчик, аспирант,

А.А. Денисов, аспирант,

Керченский государственный технологический университет,

sopromat112@mail.ru, sanzhapov.ar@rs-class.org, seykgmtu@gmail.com

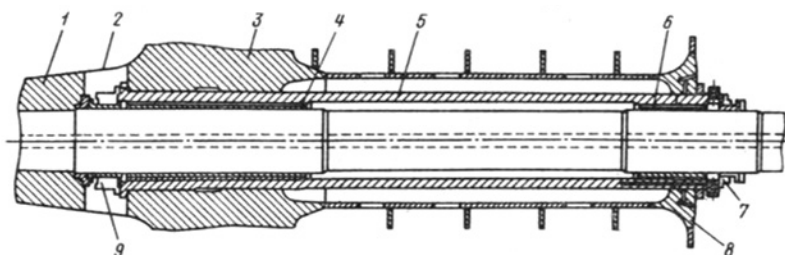


Рис. 1. Дейдвудное устройство с металлическим подшипником

1 – гребной винт; 2 – кожух из двух половин; 3 – ахтерштевень; 4 – кормовой подшипник; 5 – дейдвудная труба; 6 – носовой подшипник; 7 – носовой сальник; 8 – навары ахтерниковой переборки; 9 – кормовой сальник

тической установки и тем самым предотвращать поломки и обеспечивать безопасность плавания всего судна.

В настоящее время среди антифрикционных материалов широкое применение нашла резина, значения механических параметров которой представлены в ГОСТ 7199–77 [11]. Дейдвудные подшипники из резины устанавливаются на морских и речных судах. Основное достоинство данного материала – его упругие и высокие антифрикционные свойства при работе с водяной смазкой. Коэффициент трения самой резины с водяной смазкой равен коэффициенту трения хорошо обработанного металлического дейдвудного подшипника с масляной смазкой (рис. 1). Удельное давление на судовой подшипник согласно ГОСТ 7199–77 не должно превышать 0,35 МПа. Для вращения в дейдвудном подшипнике на гребном валу должна быть установлена бронзовая облицовка (облицовочное покрытие) или облицовка нержавеющей стали толщиной s . Минимальный коэффициент трения резиновых дейдвудных подшипников лежит в диапазоне 0,004 – 0,007 [6].

По сравнению с другими антифрикционными материалами резина может работать со взвешенными абразивными частицами (песок, ил и пр.), размер которых может достигать до 2,5 мм. Если частицы попадают между облицовкой гребного вала и резиновым подшипником, то вал вдавливая их в эластичный материал (резину), а затем перекачивает в направлении своего вращения до ближайшей смазочной канавки, из которой они вымываются водой. При этом сама поверхность облицовочного покрытия вала изнашивается незначительно.

При анализе антифрикционного слоя в виде цельного вкладыша из резины дейдвудного подшипника после эксплуатации была выявлена неравномерность износа по всей его длине. Одной из причин этой неравномерности может быть консольное расположение гребного винта и действие случайных нагрузок на гребной винт, которые могут в три раза превышать значения, полученные расчетным путем при проектировании судового валопровода. К случайным нагрузкам относятся удары лопастей гребного винта о льдины или другие твердые тела.

Следует отметить, что наибольшая глубина износа антифрикционного материала приходилась именно на конец (бли-

же к гребному винту) кормового дейдвудного подшипника [3, 6]. Возникали изломы самой резины на конце подшипника. Так, на рис. 2 показан данный вид дефекта одной валовой линии морского судна, выявленного при ремонте валопровода.



Рис. 2. Излом на конце резинометаллического подшипника (ГОСТ 7199–77)

Вышеприведенные формы износа и дефекты ускоряют процесс выхода из строя не только дейдвудного подшипника и судового валопровода, но и всей судовой энергетической установки. И это с учетом хороших упругих свойств самой резины. Представленная форма дефекта резинометаллического подшипника является недопустимой, поэтому подшипник должен быть заменен на новый.

СТАТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ГРЕБНОГО ВАЛА

На первоначальном этапе исследования влияния действия случайных нагрузок со стороны гребного винта на кормовой дейдвудный подшипник с учетом его упругих свойств рассмотрим расчетную схему, которая представлена на рис. 3. Балка (гребной вал) общей длиной L нагружена распределенной нагрузкой q и сосредоточенной нагрузкой P , которые моделируют вес гребного вала и винта соответственно. Распределенная нагрузка, как и момент инерции самой балки J , постоянны по всей длине: $q = \text{const}$, $J = \text{const}$.

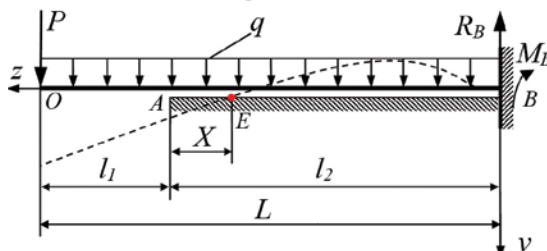


Рис. 3. Расчетная схема валопровода

На правом конце балки расположена заземленная опора. Сама балка частично опирается на упругое винклерово основание с коэффициентом жесткости k [1, 2]. Частичный упор длиной X моделирует фактический контакт гребного вала с кормовым дейдвудным подшипником общей длиной l_2 . Винклерова модель упругого основания представляет собой ряд пружин одинаковой жесткости, опирающихся на абсолютно жесткое основание и действующих независимо одна от другой. Упругое основание Винклера было предложено немецким инженером Эмилем Винклером в конце XIX в. В основе данной модели лежит предположение о том, что давление, оказываемое конструкцией на само основание, пропорционально осадке, возникающей в этой точке. Коэффициент пропорциональности, известный как коэффициент постели (k), является главным параметром, характеризующим упругие свойства основания. Гипотеза Винклера об упругом основании является удобной рабочей гипотезой, на основании которой задача о расчете балки на упругом основании решается довольно просто, и поэто-

му ее чаще используют по сравнению с другими известными гипотезами (например, метод Пастернака).

Важно отметить, что статический прогиб балки на конце фактического контакта с упругим основанием в точке E равен нулю ($y_E = 0$). Данное условие характеризует свободное расположение гребного вала в нижней части кормового дейдвудного подшипника. Используемые граничные условия, как правило, описывают поведение балки на ее концах или в точках, где она закреплена при действии статических нагрузок в виде распределенной и сосредоточенной нагрузок.

Составим уравнение статического прогиба на каждом участке исследуемой расчетной схемы, приняв во внимание граничные условия (рис. 3):

$$\begin{cases} y_O \neq 0; \varphi_O \neq 0; M_O = 0; Q_O = P; \\ y_A \neq 0; \varphi_A \neq 0; M_A \neq 0; Q_A \neq 0; \\ y_E = 0; \varphi_E \neq 0; M_E \neq 0; Q_E \neq 0; \\ y_B = 0; \varphi_B = 0; M_B \neq 0; Q_B = R_B. \end{cases} \quad (1)$$

Уравнение прогиба балки на первом консольном участке длиной l_1 на основании метода начальных параметров примет вид [1, 5]

$$y_z^I = y_0 + \varphi_0 z - \frac{1}{EJ} \left[\frac{Pz^3}{3!} + \frac{qz^4}{4!} \right], \quad (2)$$

Принимая во внимания общую дифференциальную связь между параметрами напряженно-деформированного состояния валопровода (прогиб балки y_z , угол поворота φ_z , изгибающий момент M_z , поперечная сила Q_z), запишем

$$\begin{cases} \varphi(z) = \frac{dy(z)}{dz}; \\ M(z) = -EJ \frac{d^2 y(z)}{dz^2}; \\ Q(z) = -EJ \frac{d^3 y(z)}{dz^3}. \end{cases} \quad (3)$$

Уравнение прогиба балки на упругом основании длиной X (участок 2) представляет собой следующее выражение [1, 4, 9]:

$$y_z^{II} = y_A K_1(\beta z) + \varphi_A \frac{K_2(\beta z)}{\beta} - \frac{1}{EJ} \left[M_A \frac{K_3(\beta z)}{\beta^2} + Q_A \frac{K_4(\beta z)}{\beta^3} - \frac{q}{4\beta^4} (1 - K_1(\beta z)) \right], \quad (4)$$

где $K_i(\beta z)$ ($i = 1, 2, 3, 4$) – функции А.Н.Крылова [10]:

$$\beta = \sqrt{\frac{k}{4EJ}}. \quad (5)$$

Здесь k – коэффициент жесткости основания размерности Н/м².

Функции Крылова $K_i(\beta z)$ по координате z описываются следующим тригонометрическим выражением:

$$\begin{cases} K_1(\beta z) = \text{ch}(\beta z) \cos(\beta z); \\ K_2(\beta z) = \frac{1}{2} (\text{ch}(\beta z) \sin(\beta z) + \text{sh}(\beta z) \cos(\beta z)); \\ K_3(\beta z) = \frac{1}{2} \text{sh}(\beta z) \sin(\beta z); \\ K_4(\beta z) = \frac{1}{4} (\text{ch}(\beta z) \sin(\beta z) - \text{sh}(\beta z) \cos(\beta z)). \end{cases} \quad (6)$$

Вышеприведенные функции $K_i(\beta z)$ по координате z связаны между собой производными, которые представлены в таблице.

На основании (3) и (6) определяем параметры в точке E с учетом уравнения прогиба на упругом основании относительно z (4): y_E (условие $y_E = 0$), φ_E , M_E , Q_E .

Так как балка частично контактирует с упругим основанием, то уравнение (4) описывает прогиб балки на упругом основании только в зоне контакта (участок AE) в диапазоне $0 \leq z \leq X$.

При $z = l$ уравнение (2) примет следующий вид с учетом граничных условий в заземленной опоре:

i	$K_i(\beta z)$	K_i^I	K_i^{II}	K_i^{III}	K_i^{IV}
1	$\text{ch}(\beta z)\cos(\beta z)$	$-4\beta K_4$	$-4\beta^2 K_3$	$-4\beta^3 K_2$	$-4\beta^4 K_1$
2	$\frac{1}{2}(\text{ch}(\beta z)\sin(\beta z) + \text{sh}(\beta z)\cos(\beta z))$	βK_1	$-4\beta^2 K_4$	$-4\beta^3 K_3$	$-4\beta^4 K_2$
3	$\frac{1}{2}\text{sh}(\beta z)\sin(\beta z)$	βK_2	$\beta^2 K_1$	$-4\beta^3 K_4$	$-4\beta^4 K_3$
4	$\frac{1}{4}(\text{ch}(\beta z)\sin(\beta z) - \text{sh}(\beta z)\cos(\beta z))$	βK_3	$\beta^2 K_2$	$\beta^3 K_1$	$-4\beta^4 K_4$

$$y_B = y_E + \varphi_E v - \frac{1}{EJ} \left[\frac{M_E v^2}{2!} + \frac{Q_E v^3}{3!} + \frac{qv^4}{4!} \right] = 0. \quad (7)$$

В заземленной опоре угол поворота также равен 0 ($\varphi_B=0$):

$$\varphi_B = \varphi_E - \frac{1}{EJ} \left[M_E v + \frac{Q_E v^2}{2!} + \frac{qv^3}{3!} \right] = 0, \quad (8)$$

где $v = L - X - l_1$.

На основании полученных выражений (7) и (8) и условий сопряжения участков исследуемой расчетной схемы определяем выражения прогиба балки y_O и угла поворота φ_O в точке O . В виду трансцендентности уравнений (y_E, φ_E, M_E, Q_E) получить выражение X в открытом виде не предоставляется возможным. Поэтому для решения этой задачи использован численный метод [10].

Сам численный метод определения длины контакта состоит в следующем: вычисляется значение величины X , входящей в функции Крылова, при которой прогиб в точках E и B исследуемой расчетной схемы равен нулю [4, 9, 10].

В качестве примера рассмотрим гребной вал судна с заданными параметрами исследуемой расчетной схемы: $P = 0 \div 3500$ Н; $q = 887,34$ Н/м; $l_1 = 0,4$ м; $l_2 = 0,6$ м; $L = 1$ м. Диаметр гребного вала принимаем равным $d_{\text{гр}} = 120$ мм. Диапазон принятых значений сосредоточенной нагрузки характеризует действие случайных нагрузок. На основании [6] принимаем коэффициент жесткости $k = 0,5 \cdot 10^9$ Н/м², который характеризует упругость материала резины [12].

На рис. 4 представлен график изменения осадки упругого основания в точке A (рис. 3), с увеличением действия нагрузки в виде сосредоточенной нагрузки P .

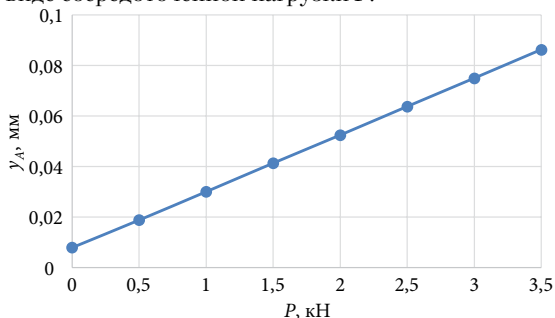


Рис. 4. График $y_A = f(P)$

Полученный график позволяет сделать вывод: действие случайных нагрузок приводит к увеличению деформации дейдвудного подшипника, особенно в его кормовом конце. Переменность (цикличность) действия этих нагрузок также является одной из причин образования дефектов в виде излома антифрикционного материала, как это показано на рис. 2.

Как отмечается в работах [6,11,12], неравномерность нагруженности кормового дейдвудного подшипника по его длине приводит к ускоренному выходу из строя всего валопровода, что в дальнейшем может привести к дополнительным нагрузкам и возникновению поперечных колебаний и его резонансному состоянию (динамической неустойчивости) при малых рабочих частотах вращения.

На рис. 5 представлен график прогиба балки (осадки упругого основания) в той же точке A от сосредоточенной нагрузки P и изменения длины консоли длиной l_1 в диапазоне 0,2–0,6 м.

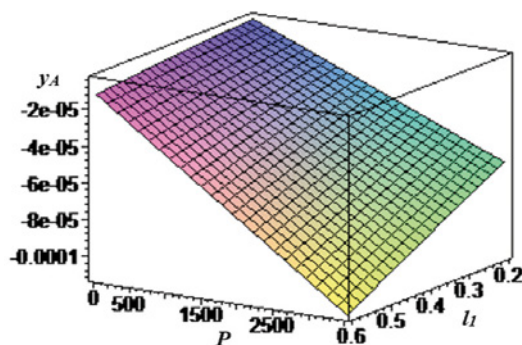


Рис. 5. Зависимость y_A от величин P и l_1

Как видно из полученного графика, изменение длины консоли (что возникает в процессе изменение контакта вращающегося гребного вала с подшипником при большом зазоре между ними) существенно влияет на деформацию антифрикционного материала дейдвудного подшипника.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании полученных результатов можно сделать вывод, что неравномерность нагруженности кормового дейдвудного подшипника по всей его длине может привести к его ускоренному выходу из строя. Это в дальнейшем приводит к возникновению дополнительных нагрузок, а затем к возникновению поперечных колебаний валопровода и его резонансному состоянию при малых рабочих частотах вращения судового валопровода. Действие случайных нагрузок с учетом консольного расположения гребного вала также приводит к ускоренному износу и образованию дефектов на поверхности антифрикционного материала дейдвудного подшипника.

ЛИТЕРАТУРА

1. Александров А.В., Потапов В.Д., Державин Б.П. Сопротивление материалов. – М.: Высшая школа, 1995. – 560 с.
2. Бобовский В.А., Гольцев Б.В., Лаврушин Г.А., Митюгов Д.А. Исследование влияния коэффициента жесткости дейдвудного подшипника на изгибные характеристики гребного вала // Тр. дальневосточного политех. ин-та им. В.В. Куйбышева. – 2001. – №129. – С. 237–240.
3. Гаращенко П.А. Влияние износостойкости подшипников на параметры работоспособности судовых валопроводов // Вестник Астраханского гос.техн. ун-та. – 2004. – № 1(20). – С. 113–118.
4. Гордон В.В., Халявкин А.А., Макеев С.А., Бондаренко В.В. О влиянии контакта гребного вала с дейдвудным подшипником на рабочее состояние валопровода // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2022. – № 2 (232). – С. 19 – 25.
5. Писаренко Г.С., Яковлев А.П., Матвеев В. В. Справочник по сопротивлению материалов. – 2-е изд. – М.: Мир, 1985. – 694 с.
6. Рубин М.Б., Бахарева В.Е. Подшипники в судовой технике: Справочник. – Л.: Судостроение, 1987. – 344 с.
7. Румб В.К. Основы проектирования и расчета судового валопровода: учеб.пособие. – СПб.: Изд.центр СПбГМТУ, 1996. – 106 с.
8. Румб В.К., Ян М.Н. Исходные зависимости для прогнозирования долговечности дейдвудных подшипников судовых валопроводов // Тр. СПбГМТУ. – 2023. – №4(8). – С. 97–104.
9. Халявкин А.А. и др. Влияние капролоновых дейдвудных подшипников на рабочее состояние гребного вала / Халявкин А.А., Старкова М.В., Бондаренко В.В., Гордон В.А., Мамонтов В.А. // Вестник Астрахан. гос. техн. ун-та. – Серия: Морская техника и технология. – 2022. – № 3. – С. 7 – 15.
10. Халявкин А.А., Ивановская А.В., Симагина В.Б. Исследование прогиба гребного вала с учетом неполного контакта с кормовым дейдвудным подшипником // Вестник Керченского ГМТУ. – Серия: Морские технологии. – 2024. – № 2. – С. 46–53.
11. Халявкин А.А. и др. Дейдвудные подшипники судовых валопроводов: монография / Халявкин А.А., Мамонтов В.А., Саламех А., Лошадикин Д.В., Старкова М.В., Бондаренко В.В., Чурилова А.В. – Астрахань: ИП Сорокин Р.В., 2024. – 126 с.
12. Чура М.Н. К оценке усталостной прочности материалов судовых валопроводов // Эксплуатация морского транспорта. – 2019. – №4 (93). – С. 115 – 121. ■

Тенденции развития современных корабельных комплексов связи обусловлены в основном уровнем развития систем управления и используемыми информационными технологиями, поскольку именно последние определяют виды информационного обмена между должностными лицами объектов систем управления, а также требованиями к характеристикам информационного обмена. Требования, предъявляемые к связному оборудованию и его элементам, определяются принципами организации связи и возможностями комплексов связи. Поэтому применение современных передовых информационных технологий в управленческой деятельности невозможно без реализации современных автоматизированных комплексов радиосвязи, развертываемых на мобильных и стационарных объектах [1].

Известны корабельные автоматизированные комплексы связи (КАКС) [2–4]. К их недостаткам может быть отнесено большое количество абонентского оборудования и низкое качество разборчивости речи, предоставляющего услуги потребителям. Устранить вышеперечисленные недостатки КАКС позволит применение многофункционального абонентского терминала (МФАТ), предназначенного для доступа к современным услугам телефонии, IPTV, OTT и высокоскоростному интернету. Кроме того, многофункциональные абонентские терминалы позволяют операторам предоставлять пользователям широкий набор услуг и возможностей для работы в локальной сети.

Для расширения функциональных возможностей и повышения оперативности передачи сообщений предлагается КАКС [5], содержащий:

- антенно-фидерную подсистему, включающую три приемные антенны СВ-КВ диапазонов,
- три передающие антенны КВ диапазона,
- три антенны УКВ диапазона и два антенных коммутатора,
- два антенных согласующих устройства,
- телематический модуль и шесть широкополосных модулей приемопередачи, каналобразующую подсистему, включающую два радиопередающих,
- четыре радиоприемных устройства КВ диапазона и радиоприемное устройство СВ диапазона,
- три радиостанции УКВ диапазона,
- устройство широкополосной связи, автоматизированную интеллектуально-управляющую подсистему (АИУП),

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СОВРЕМЕННОГО КОРАБЕЛЬНОГО АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОМПЛЕКСА СВЯЗИ

А. А. Катанович, д-р техн. наук, проф., заслуженный деятель науки РФ, заслуженный изобретатель РФ, гл. науч. сотрудник НИИ ОСИС ВМФ ВУНЦ ВМФ «ВМА им. Н. Г. Кузнецова»,

К. В. Гольдибаев, ген. директор ПКБ «РИО»,

В. А. Цыванюк, канд. воен. наук, ст. науч. сотрудник НИИ ОСИС ВМФ ВУНЦ ВМФ «ВМА им. Н. Г. Кузнецова»,

А. В. Сорокин, заместитель ген. директора – гл. конструктор «ПКБ «РИО»

контакт. тел. (812) 3136181, andrei.katanovitch@yandex.ru, civoniuk@mail.ru

- окончную аппаратуру, включающую два комплекта телефонной (ТЛФ) шифровальной аппаратуры связи (ШАС),
- коммутатор Ethernet,
- комплект из 19 адаптеров, обеспечивающих сопряжение каналобразующей подсистемы, АИУП и окончной аппаратуры по информационным стыкам и стыкам управления с коммутатором Ethernet,
- дублированный коммутатор Ethernet для коммутации стыков адаптеров,
- центр обработки данных, программное обеспечение для автоматизации работы оператора связи, подсистему электропитания, телеграфную (ТЛГ) ШАС,
- устройство документирования,
- коммутатор ШАС, два дополнительных коммутатора Ethernet открытого и закрытого сегментов,
- слуховой телеграфный аппарат ШАС,
- девять распределительных блоков и четыре блока расширения адаптера, при этом в комплекс связи введены четыре многофункциональных абонентских терминала открытого и закрытого сегментов,
- информационно-управляющая система открытого и закрытого сегментов,
- устройство обработки информации, включающее две серверные ПЭВМ открытого и закрытого сегментов и систему однонаправленной передачи данных. При этом два многофункциональных абонентских терминала открытого сегмента соединены с дополнительным коммутатором Ethernet открытого сегмента, один выход которого соединен с серверной ПЭВМ открытого сегмента, а второй выход – со входом открытой части системы однонаправленной передачи данных, выход которой соединен с информационно-управляющей сис-

темой закрытого сегмента. А два многофункциональных абонентских терминала закрытого сегмента соединены с дополнительным коммутатором Ethernet закрытого сегмента, один выход которого соединен с серверной ПЭВМ закрытого сегмента, а второй выход – со входом закрытой части системы однонаправленной передачи, выход которой соединен с информационно-управляющей системой открытого сегмента, где происходит настройка, коммутация и контроль радиотракта.

На рис. 1 представлена схема предлагаемого КАКС.

1 – антенно-фидерная подсистема (АФП); 2 – каналобразующая подсистема (КОП); 3 – автоматизированная интеллектуально-управляющая подсистема (АИУП); 4 – подсистема обработки, распределения и защиты информации (ПОРЗИ); 5 – подсистема электропитания (ПЭП).

АФП в свой состав включает:

10 – две передающие антенны КВ диапазона К-676–2 АШ; 11 – два широкополосных согласующих устройства (ШСУ); 12 – коммутатор передающих антенн Ю-627 6×4; 17 – передающую антенну КВ диапазона К-676–2; 18 – коммутатор приемных антенн Ю-628 6×6; 22 – три приемные антенны СВ-КВ диапазона Акация-КВ; 30 – три приемопередающие антенны УКВ диапазона К-674–11Б; 40 – телематический модуль; 41 – шесть широкополосных модулей приемопередачи (ШМПП).

КОП в свой состав включает:

6 – два распределительных блока Б12–174; 7 – четыре блока расширения; 8 – 19 блоков адаптеров телефонной сети (ТС); 9 – два коммутатора Ethernet; 13 – два радиопередающих устройства (РПДУ) КВ диапазона РПДУ-1000; 19 – два радиоприемных устройства (РПУ) КВ диапазона Р-673; 25 – два радиопри-

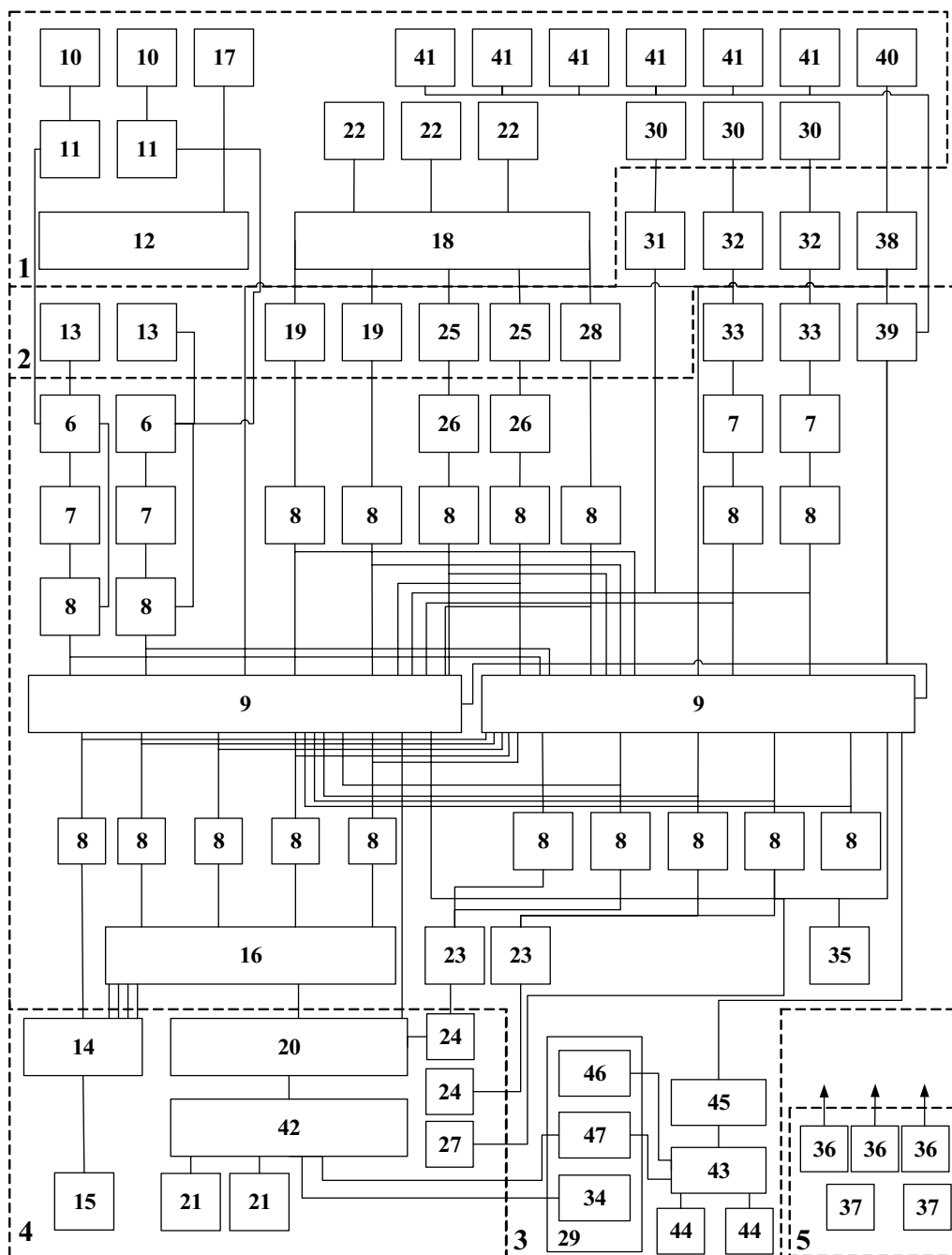


Рис. 1. Структурная схема корабельного автоматизированного комплекса связи

емных устройства Р-774 К1 КВ диапазона; 28 – радиоприемное устройство Р-682-1 СВ диапазона; 31 – радиостанция Р-620 УКВ диапазона; 32 – две радиостанции Р-620 с блоком широкополосной связи УКВ диапазона; 38 – устройство широкополосной связи.

АИУП в свой состав включает:

16 – распределительный блок Б12–175; 23 – два распределительных блока Б12–176; 26 – два распределительных блока Б12–171; 29 – устройство обработки информации (оно содержит: 34 – серверная ПЭВМ закрытого сегмента; 46 – серверная ПЭВМ открытого сегмента; 47 – система односторонней передачи данных);

33 – два распределительных блока Б12–173; 35 – центр обработки данных (ЦОД); 39 – блок маршрутизации и управления; 43 – коммутатор Ethernet открытого сегмента; 44 – два многофункциональных абонентских терминала (МФАТ) открытого сегмента; 45 – информационно-управляющая система открытого сегмента;

ПОРЗИ в свой состав включает:

14 – изделие шифровальной аппаратуры телеграфной связи (ТЛГ ШАС); 15 – устройство документирования УДМ-421; 20 – информационно-управляющая система закрытого сегмента; 21 – два многофункциональных абонентских терминала (МФАТ) закрытого сегмента; 27 – слуховой

телеграфный аппарат шифровальной аппаратуры связи (ШАС); 42 – коммутатор Ethernet закрытого сегмента.

ПЭП в свой состав включает:

36 – три распределительные коробки электропитания напряжением 220 В; 37 – два источника бесперебойного питания.

НАЗНАЧЕНИЕ ОСНОВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ КАКС

АФП 1 обеспечивает приемопередачу всех видов сигналов каналаообразующей подсистемы КАКС, а также сигналов радионавигации, системы единого времени, ГЛОНАСС/GPS с учетом выполнения требований по электро-

магнитной совместимости. АФП состоит из отдельных антенн, каждая из которых работает в своем диапазоне.

Приемопередающие антенны 30 предназначены для приема и передачи электромагнитных волн в УКВ диапазоне, приемные антенны 22 – для приема электромагнитных волн в КВ и СВ диапазонах. Коммутатор приемных антенн 18 осуществляет коммутацию РПУ на приемную антенну.

Передающие антенны 10, 17 предназначены для электромагнитного излучения КВ диапазона. ШСУ 11 служит для согласования передающей антенны с РПДУ. Коммутатор передающих антенн 12 осуществляет коммутацию РПДУ на передающую антенну.

Телематический модуль 40 состоит из модулей ГЛОНАСС/GPS, акселерометра, обеспечивающих определение координат, времени, курса и угла отклонения от вертикали, а также выдачу данных позиционирования.

КОП 2 предназначена для построения системы радиоканалов, обеспечивающей на основе динамического распределения диапазонов рабочих частот адаптацию к изменяющейся электромагнитной обстановке и организацию рационального использования ресурса пропускной способности радиосредств корабельного автоматизированного комплекса связи для обслуживания всех видов передаваемой и принимаемой информации (телефония, данные, видео, графика т. д.). Каналообразующая подсистема 2 включает в себя радиоприемные и радиопередающие устройства, радиостанции, а также устройство широкополосной связи, позволяющее формировать высокоскоростные многоканальные системы предоставления телекоммуникационных услуг и каналов связи.

РПДУ 13 работает в КВ диапазоне. РПУ осуществляют прием в КВ (19 и 25) и в СВ (28) диапазонах. Радиостанции УКВ диапазона 31 и 32 обеспечивают обмен ТЛФ информацией и передачу данных по каналам ближней ультракоротковолновой связи.

Устройство широкополосной связи 38 выполняет обмен данными между подвижными объектами в оптимальном диапазоне рабочих частот на требуемой скорости для предоставления услуг связи должностным лицам и автоматизированным комплексам корабля.

Широкополосный модуль приемопередачи (ШМПП) 41 служит для выбора оптимального частотного диапазона для обеспечения взаимодействия с различными объектами связи и формирования радиосетей.

Блок маршрутизации и управления (БМУ) 39 осуществляет коммутацию и управление ШМПП 41 в варианте исполнения модуля, включающего до шести блоков.

АИУП 3 предназначена для формирования структуры сообщения в различных радиоперелиниях, выбора алгоритмов работы передачи данных и шифрования сетей радиосвязи в зависимости от предоставляемой услуги абонентским устройствам и автоматизированным комплексам корабля.

МФАТ открытого сегмента 44 обеспечивает автоматизированную коммутацию оконечной аппаратуры, находящейся в различных помещениях корабля, на каналообразующую аппаратуру и выполняет следующие функции:

- формирование трактов связи и управления ими;
- управление и контроль технического состояния аппаратуры связи и коммутации;
- ввод, хранение и использование справочной информации по организации и состоянию связи;
- слуховой контроль трактов связи.

Блоки адаптеров ТС 8 необходимы для подключения аппаратуры старого парка и обеспечивают преобразование аналоговых сигналов в цифровые. Блоки расширения 7 подключаются к блокам адаптеров ТС 8 для увеличения количества обрабатываемых проводимых команд. Распределительные блоки 6, 16, 23, 26, 33 предназначены для обеспечения коммутации адаптеров ТС 8 с аппаратурой старого парка.

Коммутатор Ethernet открытого сегмента 43 предназначен для обеспечения коммутации МФАТ открытого сегмента 44 на каналообразующую аппаратуру. МФАТ открытого сегмента 44 обеспечивает ТЛФ радиопереговоры и передачу данных должностных лиц корабля в открытом сегменте сети передачи данных. В исходном состоянии МФАТ посредством контроллера стыка Ethernet соединяется с локальной вычислительной сетью (ЛВС) с аналогичными терминалами либо с оконечной аппаратурой приема-передачи документированной информации сопряженных узлов связи либо с аналогичными терминалами, поддерживающими соответствующие протоколы соединений. При этом как передаваемые, так и принимаемые сообщения для проведения необходимой корректировки могут выводиться на экран монитора, являющегося одним из устройств ввода-вывода. Благодаря выводу на экран монитора передаваемых и принимаемых документированных сообщений, осуществлению их корректировки существенно сокращается время обработки передаваемых

и принимаемых сообщений, т. е. повышается оперативность передачи и приема информации.

Информационно-управляющая система открытого сегмента 45 предназначена для организации открытой части трактов радиосвязи в КАКС.

Серверная ПЭВМ открытого сегмента 46 из состава устройства обработки информации 29 предназначена для организации клиент-серверной архитектуры взаимодействия в открытом сегменте. Серверная ПЭВМ закрытого сегмента 34 из состава устройства обработки информации 29 предназначена для организации клиент-серверной архитектуры взаимодействия в закрытом сегменте.

Система односторонней передачи данных 47 из состава устройства обработки информации 29 предназначена для защиты информации от несанкционированного доступа при получении информации от информационно-управляющей системы закрытого сегмента 20 и информационно-управляющей системы открытого сегмента 45.

ПОРЗИ 4 формирует независимые «подсети», обеспечивающие взаимодействие подключенных к ним комплектов оборудования и предоставление защищенных, служебных услуг.

Коммутатор Ethernet закрытого сегмента 42 предназначен для обеспечения коммутации МФАТ закрытого сегмента 21 на каналообразующую аппаратуру.

Информационно-управляющая система закрытого сегмента 20 предназначена для организации закрытой части трактов радиосвязи в КАКС.

Изделия шифровальной аппаратуры телефонной связи (ТЛФ ШАС) 24 предназначены для кодирования и декодирования ТЛФ переговоров при встречной работе с аналогичной аппаратурой.

Шифровальная аппаратура телеграфной связи (ТЛГ ШАС) 14 и слуховой телеграфный аппарат ШАС 27 служат для кодирования и декодирования ТЛГ информации при встречной работе с аналогичной аппаратурой.

Устройство документирования 15 предназначено для документирования принимаемой и передаваемой информации, обработанной шифровальной аппаратурой телеграфной связи 14.

МФАТ закрытого сегмента 21 обеспечивает ТЛФ радиопереговоры и передачу данных должностных лиц корабля в закрытом сегменте сети передачи данных.

ПЭП 5 предназначена для электропитания КАКС от корабельных линий напряжением 220 В и частотой сети 50 Гц с параметрами согласно ГОСТ

Комплекс связи корабля



Подсистема связи ИСБУ

Увеличение количества услуг



Унификация и уменьшение количества абонентского оборудования



Рис. 2. Многофункциональные абонентские терминалы *PRINCIPLES OF BUILDING A MODERN AUTOMATED SHIP COMMUNICATIONS COMPLEX*

В2339–78. При длительном или кратковременном отключении (переключении) источников корабельного электропитания обеспечивается функционирование ранее сформированных каналов (трактов) связи в КАКС после восстановления электропитания. В ПЭП 5 с помощью распределительных коробок электропитания 36, подключенных через источник бесперебойного питания 37, КАКС обеспечивается электропитанием от корабельных линий напряжением 220 В и частотой сети 50 Гц.

РАБОТА КАКС

Прием сообщений по радиолиниям осуществляется в АФП 1, где электромагнитные волны принимаются на приемные антенны СВ–КВ диапазона 22 и преобразуется в электрический сигнал с последующей коммутацией на коммутатор 18 приемных антенн Ю-628 6×6. Далее сигнал поступает в КОП 2 на радиоприемное устройство, с которого преобразованный в определенный вид сигнал передается на коммутатор Ethernet 9 с помощью блока адаптера телефонной сети 8. Через распределительные блоки 16, 23 сигнал поступает в ПОРЗИ 4 на информационно-управляющую систему закрытого сегмента 20 и, пройдя

через изделие ТЛФ ШАС 24, с дальнейшим предоставлением телефонной закрытой услуги связи должностным лицам на МФАТ 21 или через изделие ТЛГ ШАС 14, документируется на устройстве документации УДМ-421 15. В ПОРЗИ 4 аналогично происходит обмен закрытой информацией при использовании слухового телеграфного аппарата ШАС 27. В АИУП 3 располагаются МФАТ 44 на которых производится коммутация, формирование открытых трактов связи в КАКС. В ПОРЗИ 4 располагаются МФАТ 21 на которых производится коммутация, формирование закрытых трактов связи в КАКС.

ФОРМИРОВАНИЕ РАДИОСЕТИ

Формирование радиосети осуществляется следующим образом: дежурный по связи на МФАТ 21, 44 включает радиосредства и контролирует формирование и функционирование радиосети. МФАТ 21, 44 формирует тракты предоставления услуг связи должностным лицам посредством Ethernet соединения радиосредств с коммутатором. По завершении процесса настройки и коммутации трактов на

МФАТ 21, 44 выводится световая индикация, сообщающая о формиро-

вании радиосети и возможности начать работу.

Закрытый сегмент информационно-управляющей системы 20 может получать информацию от открытого сегмента информационно-управляющей системы 45 комплекса связи через систему однонаправленной передачи данных 47, что исключает негативное воздействие на эту сеть, в том числе гарантирует отсутствие утечек закрытой информации в открытый сегмент.

Взаимодействие между многофункциональными абонентскими терминалами организовано по модели клиент-серверной архитектуры. На многофункциональном абонентском терминале открытого сегмента 44 формируется открытая часть тракта радиосвязи. После подготовки открытой части радиотракта терминал открытого сегмента 44 через коммутатор Ethernet 43 и систему однонаправленной передачи данных 47 передает параметры открытой части тракта радиосвязи на многофункциональный абонентский терминал закрытого сегмента 21 для формирования закрытой части радиотракта. Одновременно при формировании открытой части радиотракта многофункциональный абонентский терминал открытого сегмента 44 передает пакеты команд, со-

державшие информацию о параметрах настройки радиотракта, в информационно-управляющую систему открытого сегмента 45, где происходит настройка, коммутация и контроль радиотракта.

Многофункциональный абонентский терминал закрытого сегмента 21 продолжает формирование тракта в закрытом сегменте с учетом информации, полученной от многофункционального абонентского терминала открытого сегмента 44.

Одновременно при формировании закрытой части радиотракта многофункциональный абонентский терминал закрытого сегмента 21 передает пакеты команд, содержащие информацию о параметрах настройки радиотракта, в информационно-управляющую систему закрытого сегмента 20.

Для передачи информации с надводного корабля задействуется передающий тракт, состоящий из блоков адаптеров телефонной сети 8, блоков расширения 7, распределительных блоков 6 и непосредственно самих РПДУ Р-646 13, в которых генерируется радиосигнал для передачи его в эфир с помощью антенн 10, 17, где радиосигнал преобразуется в электромагнитную волну. Коммутация осу-

ществляется в АФП 1 при использовании коммутатора антенн КПА 4×4 12 либо ШСУ 11.

Формирование тракта радиосвязи завершено.

Практическая интеграция предоставления услуг реализована в многофункциональных абонентских терминалах, которые позволили объединить в одном устройстве полный набор услуг связи (рис. 2), как традиционных – АТС, ГГС, трансляцию, телеграфию, телефонию, передачу данных, видео-конференц-связь (в настоящее время реализованы с использованием отдельных комплектов аппаратуры), так и современных – обмен электронной корреспонденцией, видеотелефонией, голосовую почту, видеонаблюдение, выбор абонентов с помощью справочника, контроль присутствия.

Достижимым техническим результатом при использовании многофункциональных абонентских терминалов является расширение технических возможностей корабельного комплекса связи в части увеличения количества услуг, унификации и уменьшения количества абонентского оборудования. Эффект заключается в существенном расширении функциональных возможностей за счет приема-передачи раз-

нотипной электронной информации повышении оперативности передачи телефонных сообщений за счет бесперебойной подачи питающих напряжений на блоки, а также в замене устаревшего парка аппаратуры, что позволит уменьшить общую массу и объем оборудования и снизить энергопотребление.

Таким образом, при реализации предложенного технического решения комплекс позволяет интегрировать в единый корабельный узел связи средства по информационным цепям, цепям управления, коммутации и электропитания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Катанович А. А. и др. Интегрированный комплекс связи надводного корабля. Патент РФ № 2548023 от 04.10.2025 г.
2. Катанович А. А. и др. Корабельный автоматизированный комплекс связи. Патент РФ № 117052 от 10.06.2012 г.
3. Кашин А. Л. и др. Корабельный комплекс связи. Патент РФ № 2562256 от 10.09.2016 г.
4. Катанович А. А. и др. Корабельный автоматизированный комплекс связи. Патент РФ № 2819000 от 08.05.2024 г.
5. Катанович А. А. и др. Корабельный автоматизированный комплекс связи. Заявка на изобретение № 2025105431 от 07.03.2025 г. ■

1 августа 2025 г. исполнилось 50 лет научной и научно-педагогической деятельности Андрею Андреевичу Катановичу – главному научному сотруднику НИИ ОСИС ВМФ ВУНЦ ВМФ «ВМА им. Н. Г. Кузнецова».

Родился он 20 апреля 1941 г. в г. Орша Витебской обл. В 1959 г. окончил 561-ю мореходную школу специалистов рядового плавсостава и служил рулевым сигнальщиком на судах вспомогательного ВМФ. В 1964 г. окончил военное училище связи и был призван на службу в части связи и специальной разведки Балтийского флота. Военную академию связи окончил в 1975 г., и с этого времени по настоящий день работает в НИИ связи ВМФ (НИИ ОСИС ВМФ), где прошел путь от младшего научного сотрудника до начальника отдела. Сегодня капитана 1 ранга в отставке А. А. Катановича знают как специалиста в области многоканальных телекоммуникационных систем и корабельных автоматизированных комплексов связи с применением оптоэлектроники и ВОЛС.

На счету доктора технических наук, профессора, Почетного профессора ВУНЦ ВМФ «ВМА им. Н. Г. Кузнецова», академика Международной академии авторов научных открытий и изобретений, Российской академии естественных наук, Международной академии

50 ЛЕТ НАУЧНОЙ И НАУЧНО-ПЕДАГОГИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ А. А. КАТАНОВИЧА



связи А. А. Катановича – разработка системы автоматизации управления и связи ВМФ как основного элемента единого интеллектуально-информационного процесса управления силами флота

А. А. Катанович решил проблему функционирования системы связи с подводной лодкой в условиях чрезвычайных ситуаций.

Применение метода увеличения дальности высокоскоростных открытых оптических линий связи с ПЛ, предложенного им, позволило в два раза расширить диапазон связи с ПЛ.

Он – автор более 1000 научных публикаций, в том числе 28 монографий.

За многолетнюю и плодотворную изобретательскую и научную деятельность награжден орденом «За службу Родине в ВС СССР» 3-й степени, медалями Морского собрания Санкт-Петербурга, адмирала П. С. Нахимова, М. В. Ломоносова, ВОИР, «300 лет Российскому флоту», почетным знаком Роспатента «Во благо России», а также 20 медалями МО РФ, медалью «За заслуги в изобретательстве». Как лучший изобретатель России в 2014 г. награжден золотой медалью Всемирной организации интеллектуальной собственности WIPO.

В настоящее время главный научный сотрудник НИИ ОСИС ВМФ ВУНЦ ВМФ «ВМА» А. А. Катанович продолжает исследовательскую и преподавательскую работу. ■

Технологии, в том числе в приборостроении, постоянно совершенствуются, и вопрос о необходимости модернизации устаревших приборов становится особенно актуальным. В данной статье речь пойдет о переосмыслении концепции создания табло коллективного пользования для отображения навигационных параметров и параметров движения на ходовом мостике, необходимых судоводителю при управлении судном, с акцентом на обновление конструкции, электронной начинки и программного обеспечения.

Табло коллективного пользования в базовом исполнении обеспечивает прием информации по интерфейсу RS-422 в формате IEC 61162 по двум резервированным линиям связи о текущих значениях навигационных параметров судна и параметрах движения (рис. 1). Значения выводятся на шесть связанных между собой семисегментных индикаторов, размещенных в одном общем защитном кожухе, регулировка яркости которых осуществляется дистанционно по командам, которые передаются от внешнего управляющего прибора по интерфейсу типа RS-422. Набор выводимых параметров достаточно ограничен – крен, дифферент, курс, скорость, глубина под килем, время.

В ходе анализа источников информации были выявлены технические и технологические решения, представляющие интерес для интеграции заложенных в них идей в разработку отдельных элементов табло коллективного пользования. Проведенный анализ источников информации не выявил прототипов устройств, в полной мере содержащих все элементы разрабатываемого устройства. В этой связи проведенный анализ подтверждает необходимость разработки нового устройства с новыми качествами. На стадии разработки РКД выполнены поиск,

РАЗРАБОТКА ТАБЛО КОЛЛЕКТИВНОГО ПОЛЬЗОВАНИЯ ДЛЯ КОМПЛЕКТАЦИИ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ИНТЕГРИРОВАННЫХ МОСТИКОВЫХ СИСТЕМ

В. С. Фантиков, канд. техн. наук,
начальник инженерно-технического центра № 2,
М. А. Савенок, начальник конструкторского отдела,
А. А. Кондидатов, вед. конструктор,
АО «МНС»,
контакт. тел. (812) 320 3840

анализ и выбор технических решений построения новой модификации табло коллективного пользования, а также выявлены окончательные технические решения, дающие полное представление о конструкции, с целью дальнейшего использования этих технических решений при разработке РКД.

Разработка нового табло начинается с анализа существующей конструкции. Исходя из опыта эксплуатации, была проведена оценка режимов использования, а также обозначены современные требования к обеспечению судоводителя полным комплексом необходимой информации.

Ключевыми недостатками базового табло коллективного пользования оказались:

- недостаточное количество выводимых значений;
- недостаточная информативность выводимых значений;
- отсутствие возможности настройки внешнего вида и перечня отображаемых значений;
- устаревшая и трудоемкая технология производства корпуса;

– устаревший дизайн.

На этапе технического проектирования были сформированы требования к новой модификации табло, в том числе к внешнему виду, функциям и составу, включающему:

- устройство вычисления, управления и отображения;
- комплект индикаторных устройств с сенсорным экраном;
- систему электропитания;
- устройство арбитража;
- программное обеспечение;
- корпус;
- виброплатформу.

По результатам разработки РКД нового табло были применены следующие технические решения:

- устройство вычисления, управления и отображения построено на современных микроконтроллерах и функционирует на операционной системе российского производства «Astra Linux». Замена устаревших микросхем на новые высокопроизводительные решения не только увеличила скорость обработки данных, но и способствовала



Рис. 1. Табло коллективного пользования в базовом исполнении



Рис. 2. Табло коллективного пользования в новом исполнении

повышению функциональных качеств нового изделия, его гибкости и надежности;

- комплект индикаторных устройств представляет собой две ЖК-панели с сенсорным экраном с диагональю 28 дюймов. Использование современных ЖК-панелей позволило значительно повысить считываемость выводимой информации. ЖК-панели с разрешением Full HD (1920×1080 пикселей) обеспечивают широкие углы обзора, точную цветопередачу в сочетании с высокой яркостью;
- система электропитания обеспечивает преобразования входного постоянного напряжения 27 В (по основному и резервному фидеру) во внутреннее постоянное напряжение 12 В. Основным принципом системы является сохранение работы табло в случае отсутствия напряжения питания по одному из фидеров.
- устройство арбитража обеспечивает непрерывный контроль состояния основного и резервного информационного канала для автоматического переключения приема информации в случае неисправности или отсутствия информации по одному из каналов;
- программное обеспечение также претерпело значительные изменения, поскольку с обновленной аппаратной частью было важно адаптировать и его. Важным элементом улучшения программного обеспечения табло стали интуитивно понятный интерфейс, возможность сенсорного управления отображением и изменения цветового оформления, обновление гра-

фического интерфейса, возможность гибкой настройки внешнего вида и перечня отображаемых значений. Важной особенностью нового программного обеспечения стала возможность удаленного конфигурирования перечня отображаемых параметров, цветового оформления и размеров надписей;

- корпус табло был значительно переработан, в качестве материала корпуса был выбран алюминиевый сплав АМгЗМ. Данный материал прост в обработке и обладает отличной стойкостью к коррозии, что позволяет использовать табло в самых тяжелых условиях. Переработав конструкцию корпуса табло, удалось уменьшить количество сварных соединений, что в свою очередь помогло избежать проблем, связанных со сваркой, таких как деформация материала, создание лишних точек напряжения материала. Новая конструкция прибора способствовала сокращению времени и прилагаемых усилий, затрачиваемых на производство прибора, что повысило технологичность корпуса в целом. Новая конструкция табло позволяет выполнять настройку угла расположения прибора относительно оператора, в результате разработчики добились тонкой, с шагом 10°, и простой настройки угла наклона экрана табло, что улучшило эргономические показатели и сделало удобным использование;
- виброплатформа обеспечила табло повышенную устойчивость к механическим внешним воздействующим факторам.

Опытный образец табло (рис. 2) прошел различные виды испытаний, такие как проверка степени защиты IP, воздействие повышенной и пониженной температуры, повышенной влажности, синусоидальных вибраций в заданном диапазоне частот и др. Испытания проводились с целью оценки возможностей, проверки и подтверждения технических и эксплуатационных характеристик опытного образца и удовлетворения требований технического задания в условиях, максимально приближенных к реальной эксплуатации. По результатам испытаний было внесено изменение в конструкторскую документацию перед запуском в серийное производство.

Разработка нового табло коллективного пользования на базе старого затронула как конструкцию, так и аппаратные и программные компоненты. В табло коллективного пользования в новом исполнении список выводимых параметров значительно расширен, теперь оно может обеспечивать вывод более 25 различных параметров в различных комбинациях, в том числе: дату; судовое время; широту и долготу; курс и путевой угол; скорость хода относительную и абсолютную; крен; дифферент; глубину под килем; скорость и направление ветра; температуру наружного воздуха и атмосферное давление и т. д.

После начала серийного выпуска табло коллективного пользования нового исполнения им будут комплектоваться современные пульта управления судном и интегрированные мостиковые системы для обеспечения представления комплексной информации судоводителю. ■

Компания «Ситроникс КТ» специализируется на разработке комплексных бортовых систем для морского и речного транспорта, таких как автономная навигационная система, интегрированная навигационная система, комплексная система управления техническими средствами, авторулевой, система координированного управления, система управления гребными электродвигателями и др. [1, 2]. На нижнем уровне автоматизации перечисленных систем [3] одним из критически важных элементов является датчик углового перемещения, который позволяет измерять угловое положение пера руля, винторулевой колонки или другого исполнительного механизма. Данные, получаемые с датчика, используются как для контроля состояния судового оборудования, так и для реализации алгоритмов автоматического управления.

До 2022 г. отечественный рынок судовой автоматики находился в значительной зависимости от импортных решений, представленных такими зарубежными производителями, как Deif, Jastram и др. В связи с изменившейся внешнеэкономической ситуацией возникла острая необходимость обеспечения технологической независимости за счет импортозамещения критических компонентов. В рамках этой задачи компания «Ситроникс КТ» инициировала проект по разработке собственного датчика углового перемещения, соответствующего требованиям эксплуатации на судах внутреннего и смешанного плавания.

В настоящей статье представлен опыт, накопленный специалистами компании при проектировании, отработке и сертификации датчика углового перемещения. Описаны основные технические решения, обосновывающие выбор принципа действия устройства, а также рассмотрены ключевые аспекты его сертификационных испытаний.

ДАТЧИК УГЛОВОГО ПЕРЕМЕЩЕНИЯ

Датчики угловых перемещений находят широкое применение при контроле и управлении положением исполнительных механизмов. В судовых технических системах наиболее распространены угловые датчики следующих типов, классифицируемые по принципу действия:

1) потенциометрические датчики – имеют простую конструкции и низкую стоимость, однако характеризуются относительно невысокой точностью измерений (погрешность составляет от 1° до $2,5^\circ$);

2) оптические энкодеры – отличаются высокой точностью (до $\pm 0,001^\circ$), однако обладают повышенной чувствительностью к механическим воздействиям, включая вибрации, а также имеют высокую стоимость;

3) резольверы (resolvers) – обладают высокой надежностью и устойчивостью к внешним воздействиям, однако требуют применения специализированных преобразователей сигналов типа $\sin/\cos$ и имеют высокую стоимость.

4) магнитные датчики на основе эффекта Холла – обеспечивают достаточную для многих задач точность измерения (до $\pm 0,1^\circ$), сочетают в себе надежность бесконтактного метода измерения с относительно простой схемой обработки сигнала, что позволяет реализовать экономичное и надежное решение. К недостаткам следует отнести чувствительность к влиянию внешних магнитных полей.

Анализ датчиков указанных типов показывает, что для измерения угла положения с точностью не ниже $\pm 0,5^\circ$ наиболее оптимальным вариантом является использование магнитных датчиков. Основным недостаток данных датчиков – влияние внешних магнитных полей – может быть минимизирован за счет рационального выбора параметров магнитного элемента и конструкции корпуса устройства. На рис. 1 представлен датчик угловых перемещений, разработанный компанией «Ситроникс КТ». Для демонстрации технического решения, позволяющего обеспечить устойчивость к внешнему магнитному воздействию при сохранении высоких эксплуатационных характеристик, на рис. 2 представлено продольное сечение датчика.

В корпусе датчика 5 установлена втулка 4, изготовленная из самосмазывающегося полимерного материала, обеспечивающего низкий коэффициент трения и высокую износостойкость. С внешней нижней части втулки размещена плата управления 7, оснащенная чувствительным элементом, работающим на основе эффекта Холла.

ОТ ПРОТОТИПА К СЕРТИФИКАТУ: РАЗРАБОТКА ДАТЧИКА УГЛОВОГО ПЕРЕМЕЩЕНИЯ

А. С. Скрытка, руководитель направления а-Навигация,

А. С. Корнев, нач. отдела систем автоматического управления движением,

В. С. Соловей, вед. инженер а-Навигация,

АО «Ситроникс КТ»,

С. П. Хабаров, канд. техн. наук, доцент кафедры информационных систем и технологий, СПбГЛТУ им. С. М. Кирова,

контакт. тел. +7 (921) 383 1499, +7 (911) 200 3627,

valerii.solovei@sitroniks-kt.ru, serg.habarov@mail.ru



Рис. 1. Внешний вид датчика угловых перемещений компании «Ситроникс КТ»

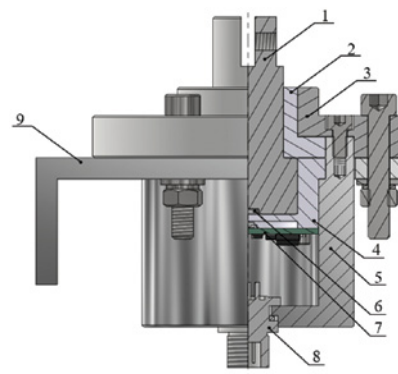


Рис. 2. Продольное сечение датчика угловых перемещений

1 – вал, 2 – втулка, 3 – крышка датчика, 4 – втулка; 5 – корпус датчика, 6 – магнит, 7 – плата управления, 8 – разъем, 9 – кронштейн для крепления датчика

Во внутреннюю часть втулки установлен вал 1, в нижней части которого закреплен магнит 6, расположенный соосно относительно чувствительного элемента. Такое конструктивное исполнение обеспечивает компенсацию влияния внешних магнитных полей за счет минимизации паразитных магнитных потоков и точной ориентации рабочего поля.

Верхняя часть вала зафиксирована крышкой 3, в которой также установлена втулка 2, изготовленная из аналогичного полимерного материала. Вместе втулки 2 и 4 образуют самосмазывающийся подшипник скольже-

ния, рассчитанный на весь срок службы устройства без необходимости технического обслуживания.

Плата управления преобразует данные о текущем угловом положении вала в унифицированный аналоговый сигнал 4–20 мА или формирует цифровой выходной сигнал в соответствии с протоколом NMEA, сообщением RSA, передаваемым через интерфейс RS-422/485. Программное обеспечение прибора позволяет осуществлять настройку параметров датчика, включая выбор необходимых диапазонов измерений. Предусмотрена возможность удаленной настройки и калибровки датчика с помощью сервисных команд по интерфейсу RS-422/485.

Конструкция датчика обеспечивает степень защиты IP44 при использовании стандартного электрического разъема, а при использовании герметичного кабельного вывода с кабелем фиксированной длины – до IP67, что позволяет эксплуатировать устройство в условиях повышенной влажности и запыленности.

АППАРАТНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СТЕНДА ДЛЯ ДАТЧИКА УГЛОВЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ

Подтверждение заявленных точностных характеристик являлось ключевым этапом при разработке и сертификации датчика угловых перемещений, поскольку одним из основных технических требований было обеспечение погрешности измерения угла не ниже $\pm 0,5^\circ$. Основная метрологическая задача заключалась в разработке методики и испытательного стенда [4], способного обеспечить прецизионное воспроизведение заданного углового положения вала с одновременной его высокоточной регистрацией эталонным средством измерений – прецизионным угломером. В качестве средства измерения использовался угломер с нониусом 4УМ, обеспечивающий точность измерения ± 10 угл. минут.

Особую сложность представляло проектирование кинематической цепи передачи угла поворота между валом испытуемого датчика и измерительным органом эталонного угломера. Необходимо было минимизировать дополнительные погрешности, вносимые этой цепью: люфты, упругие деформации конструктивных элементов, мертвый ход и другие факторы, которые могли бы затруднить или сделать невозможной верификацию датчика с заданной точностью.

Анализ существующих решений показал их ограниченную применимость для данной задачи. Использование промышленных калибровочных стендов оказалось экономически нецелесообразным, а традиционные конструкции, такие как шарнирные параллелограммы (подверженные прогибам) или зубчатые передачи (имеющие неустраняемый мертвый ход), не обеспечивали необходимой точности. Теоретически оптимальной являлась схема коаксиальной установки вала датчика и движка эталонного угломера на общую ось, исключая промежуточные звенья. Однако конструктивные особенности применяемого эталонного средства измерений сделали реализацию такой схемы невозможной.

В связи с этим была разработана оригинальная кинематическая схема соединения. На вал испытуемого датчика устанавливалась специально спроектированная компенсирующая муфта, к которой жестко крепился передаточный стержень. На противоположном конце стержня размещалась переходная часть, обеспечивающая соединение с измерительным органом эталонного угломера. Корпус датчика фиксировался на жестком основании испытательного стенда, а корпус эталонного угломера крепился строго соосно над ним.

Такая конструкция позволила передавать угловое перемещение с минимальными искажениями. Соосное крепление корпусов обоих устройств исключило их относительное смещение и связанные с ним систематические погрешности. Применение компенсирующей муфты в сочетании с жестким стержнем обеспечило близкое к единице передаточное отношение, сведя к пренебрежимо малому уровню влияние люфтов, упругих деформаций и мертвого хода, характерных для альтернативных схем. Также были минимизированы паразитные нагрузки на вал датчика и измерительного прибора. На рис. 3 представлена схема соединения угломера с датчиком угловых перемещений, реализующая описанную конструкцию. Конструктивные элементы испытательного стенда, включая крепежные узлы, на рисунке не показаны, поскольку их визуализация затрудняет анализ кинематической связи между датчиком и угломером.

Экспериментальные исследования подтвердили работоспособность и эф-



Рис. 3. Внешний вид датчика с установленным угломером

фективность реализованной кинематической схемы. Показания испытуемого датчика и эталонного угломера демонстрировали высокую степень соответствия, укладывающуюся в $\pm 0,2^\circ$ по всему диапазону измерений. Полученные результаты стали основанием для успешного подтверждения заявленных точностных характеристик датчика в рамках сертификационных испытаний.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Датчик угловых перемещений, разработанный компанией «Ситроникс КТ», прошел весь цикл сертификационных испытаний и получил сертификат типового одобрения РМРС.

Датчик угловых перемещений обеспечивает:

- измерение угловое перемещение в диапазоне $(-180,0; 180,0]^\circ$ градусов с точностью $\pm 0,2$;
- выдачу данных об угловом перемещении в аналоговом (4–20 мА) или цифровом виде (RSA, RS-422/485);
- задание измеряемого углового сектора с последующей калибровкой датчика;
- дистанционное управление настройками и калибровкой датчика с помощью сервисных команд по интерфейсу RS-422/485.

ЛИТЕРАТУРА

1. <https://sitronics-kt.ru/shipboard.html>. Дата обращения 03.07.2025 г.
2. Шпекторов А. Г., Корнев А. С. Авто рулевой «Румб»//Морской вестник. – 2022. – № 1 (81). – С. 95–96.
3. Корнев А. С., Скрыпка А. С., Хабаров С. П. Автономное судовождение на действующих судах//Морской вестник. – 2022. – № 1 (81). – С. 92–95.
4. Корнев А. С., Скрыпка А. С., Хабаров С. П. Универсальный испытательный стенд для бортовых систем//Морской вестник. – 2022. – № 3 (83). – С. 83–85. ■

В современных условиях значительного расширения спектра задач, решаемых средствами автономных необитаемых подводных аппаратов (АНПА), особую значимость приобретает потребность в современных средствах навигации и системах беспроводной подводной связи. Текущий уровень разработки АНПА уже сейчас позволяет решать задачи в части исследования, мониторинга и охраны заданного морского района как в одиночном, так и в групповом их применении. Особенно актуальными данные проблемы становятся при проведении подводных работ в стесненных условиях (внутри затонувших объектов, вблизи подводных объектов) и в условиях ледовой обстановки, когда большая продолжительность миссии АНПА приводит к критическому накоплению ошибки позиционирования.

Общей тенденцией применения группировок АНПА является увеличение их численности с одновременным снижением габаритов отдельных АНПА. Данное обстоятельство серьезно ужесточает требования к обеспечению точности гидроакустических систем позиционирования и повышению их энергоэффективности [1, 2].

Данная статья является заглавной из серии подготавливаемых публикаций, посвященных разработке гидроакустического комплекса для проведения подводных работ силами группировки АНПА и корабля-носителя. В составе гидроакустического комплекса реализованы система высокоскоростной подводной связи, представленная вариантом корабельного высокопроизводительного исполнения и, размещаемым на АНПА, вариантом гидроакустического модема с низким энергопотреблением [3, 4], и гидроакустическая система позиционирования. Подобный гидроакустический комплекс позволяет проводить подводные работы скрытно и с высокой эффективностью энергопотребления задействованных АНПА. Энергоэффективность и скрытность обеспечивается за счет исключения необходимости для АНПА подъема на поверхность с целью уточнения своего местоположения, обмена данными и корректировки своей миссии.

В качестве перспективного рассматривается применение подобного гидроакустического комплекса для обеспечения подводных работ в радиусе 5–10 км зоны от корабля-носителя в зависимости от складывающихся гидрологических условий.

В настоящее время опытный образец комплекта аппаратуры модема высокоскоростной гидроакустической связи [3, 4] успешно прошел натурные

ГИДРОАКУСТИЧЕСКАЯ УЛЬТРАКОРОТКОБАЗИСНАЯ СИСТЕМА ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ АВТОНОМНЫХ НЕОБИТАЕМЫХ ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ ЧАСТЬ 1

А.В. Драников, науч. руководитель по направлению,
С.Г. Козьмин, вед. науч. сотрудник,
А.В. Исаев, канд. техн. наук, доцент, инженер 1-й категории,
НПЦ «Гидросвязь» ФГУП «ВНИИА им. Н.Л. Духова»,
контакт. тел. (499) 978 7803

испытания и был представлен в составе объединенной выставочной экспозиции госкорпорации «Росатом» на Международном военно-техническом форуме «Армия–2024».

Анализ исследований, посвященных проблемам проведения подводных работ, показывает, что судовые средства навигации и управления целесообразно объединить в рамках единого комплекса оборудования, которое обеспечивало бы на борту судна-носителя оперативную информацию о ходе выполнения миссии ведомых им АНПА в виде траектории движения, данных о высоте, глубине, скорости, курсе АНПА [5, 6]. Для решения навигационной задачи позиционирования в гидроакустических системах с ультракороткой базой применяются расчетные алгоритмы определения дальности, азимута и угла подводного объекта с использованием дальномерных и угломерных данных, получаемых с многоэлементных гидроакустических антенн [5, 7, 8]. При этом точность определения местоположения обнаруживаемого подводного объекта, во многом, будет определяться числом используемых элементов антенны. В свою очередь увеличение объема обрабатываемых данных значительно увеличивает потребность в вычислительной мощности и, как следствие, повышает нагрузку на систему энергообеспечения. Применяемые в ультракороткобазисных гидроакустических системах позиционирования (УКБ ГАСП) многоэлементные приемные антенны имеют габариты, сопоставимые с длиной волны навигационного сигнала, и дополнительно оснащаются датчиками угловой ориентации (курс, крен, дифферент). При этом навигационные параметры получаются в результате совместной обработки всей совокупности данных.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ УКБ ГАСП

Основным недостатком и в то же время отличительным достоинством

УКБ ГАСП является применение малогабаритных многоэлементных антенн, обработка большого объема навигационных данных которых требует больших вычислительных мощностей, что в свою очередь увеличивают габариты и энергопотребление аппаратуры подобных систем.

Для первых разработок УКБ ГАСП была характерна высокая погрешность угловых измерений, составляющая в среднем единицы градусов. Поэтому основные усилия ведущих фирм в этой области были направлены на оптимизацию конструкции применяемых антенн, а также разработку методов и алгоритмов обработки навигационных данных, снижающих требования к вычислительным мощностям аппаратуры [6, 7]. Успехи, достигнутые в этом направлении за последние десять лет, позволили существенно повысить точность УКБ ГАСП, снизив погрешность позиционирования с $1-2^\circ$ до $0,1-0,3^\circ$.

На начальном этапе разработки авторами с целью снижения объема обрабатываемых данных были проанализированы возможности круговых антенн с разреженным размещением приемных элементов. В антеннах подобного типа элементы (преобразователи) равномерно разнесены по окружности, что позволяет формировать направленный луч гидроакустического сигнала, а также определять направления прихода навигационного гидроакустического сигнала.

Конфигурация круговой разреженной антенны – число и расположение (интервалы) антенных элементов зависит от используемого частотного диапазона навигационного сигнала. Так, однозначность фазовых изменений будет обеспечена в случае расположения соседних элементов антенны на расстояниях, не превышающих половины длины волны навигационного сигнала. В случаях отклонения от этих условий для устранения возможной фазовой неоднозначности был предложен метод поэтапного выполнения процедуры пе-

ленирования. На первом этапе – грубого пеленгования – определяется угловой сектор, в котором расположен объект навигации. Антенна при этом используется как амплитудный пеленгатор, точность которого определяется шириной ее характеристики направленности (ХН). На втором этапе – точного пеленгования – параметры навигации определяются решением уравнения пеленга, начальным приближением для которого является значение угла компенсации, полученное в ходе выполнения первого этапа.

При расчете пеленга используется вся информация, принятая в каждом канале системы: амплитуда, фаза, дисперсия шума. В итоге пеленг определяется в результате усреднения пеленгов, рассчитанных для каждой комбинации пар элементов антенны с числовыми весами, которые содержат как геометрическую составляющую, учитывающую ориентацию приемной пары относительно искомого пеленга, так и энергетическую составляющую, пропорциональную отношению сигнал/шум по энергии в соответствующих каналах приемника.

Предложенный подход с использованием многоэлементных антенн для фазового пеленгования и статистической обработки всего объема принимаемой информации дает основание рассчитывать на потенциальную точность угловых измерений, составляющую десятки доли градуса. Эта оценка согласуется с последними достижениями ведущих зарубежных специализированных фирм Kongsberg Simrad, Nautronix, ORE, LinkQuest, IXSEA-OCEANO [3], которыми разработана и используется аппаратура с точностью угловых измерений $0,1^\circ$. При дальности действия 10 км эта аппаратура обеспечивает точность позиционирования 15–20 м и сравнима с точностью длиннобазисных гидроакустических навигационных систем.

ЗАДАЧИ ПРИ РАЗРАБОТКЕ УКБ СИСТЕМЫ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ

Точность УКБ ГАСП определяется в основном характеристиками приемной антенны. Антенна выполняет предварительную пространственную обработку навигационного сигнала, связывая распределение навигационного сигнала на апертуре с угловым положением источника. Конфигурация расположения элементов антенны определяет погрешность вычисления пеленга объекта навигации при последующей обработке многоканальной информации. Конфигурация элементов выбирается таким образом, чтобы обеспечить однозначное и точное пеленгование объекта при до-

стигнутом уровне точности измерения фазы в отдельном канале.

Кроме погрешностей, вносимых конфигурацией элементов гидроакустической антенны и разброса параметров приемных элементов, на точность УКБ ГАСП оказывает влияние ряд факторов, которые трудно учесть в рамках расчетных моделей. К подобным факторам следует отнести следующие:

- искажение геометрии фронта падающей на гидроакустическую антенну акустической волны, а также возможные флуктуации фазы на апертуре антенны, обусловленные случайным рассеянием фронта в неоднородной среде;
- искажение принимаемой акустической волны геометрии, размерами и акустическим импедансом приемных элементов антенны;
- погрешности, формирующиеся на этапе приведения относительных угловых значений определенного пеленга к истинным значениям – угла относительно плоскости горизонта и пеленга относительно севера. Данные погрешности возникают из-за разброса параметров датчиков угловой ориентации антенны (курс, крен, дифферент).

При разработке УКБ ГАСП влияние обозначенных эмпирических погрешностей учитываются градуировкой антенны и разработкой табулированных систематических погрешностей.

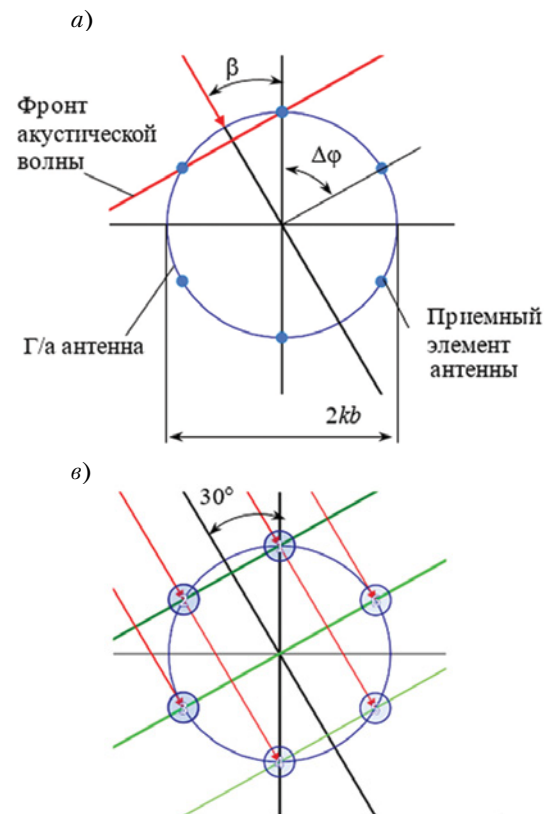


Рис. 1. УКБ ГАСП с круговой базой: а – расчетная схема фазовых смещений; б – пеленг источника при $\beta = 10^\circ$; в – пеленг источника при $\beta = 30^\circ$; г – пеленг источника при $\beta = 50^\circ$

СПОСОБ И ОЦЕНКА ПОГРЕШНОСТИ ПЕЛЕНГОВАНИЯ ОБЪЕКТА НАВИГАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КРУГОВЫХ ДИСКРЕТНЫХ АНТЕНН

Потенциальная точность пеленгаторов, составленных из двух-трех ортогональных пар с размером измерительной базы, равным половине длины волны, оказывается довольно низкой. Поэтому в своей разработке авторами сделан акцент на многоэлементные антенны. Конфигурация антенн выбирается из условия однозначного пеленгования. Для работы в секторе углов $0 - 360^\circ$ такой антенной является антенна с размещением приемных элементов на круговой базе [3, 5, 7].

Оценка потенциальных возможностей УКБ ГАСП была выполнена для M -элементной круговой разреженной антенны. Приемные элементы антенны ориентированы в одной плоскости и равномерно распределены по окружности с шагом $\Delta\varphi = 2\pi / (M - 1)$.

В приведенном расчете пеленг на источник пусть будет задан углом β , тогда угловое распределение фазы акустического сигнала на гидрофонах базы, измеренной относительно фазы первого гидрофона, будет описывается выражением

$$\begin{aligned} \Theta_n &= k_1 b \cdot [\cos\beta - \cos(\varphi_n + \beta)] = \\ &= 2 \cdot k_1 b \cdot \sin\frac{\varphi_n}{2} \cdot \sin\left(\frac{\varphi_n}{2} + \beta\right), \end{aligned} \quad (1)$$

Максимальный размер базы – 3λ задан одинаковым для всех антенн

Вид антенны	Число ложных пеленгов	Число каналов обработки	Оценка погрешности, град.
Двухэлементный приемник	5	2	0,48
Четыре элемента на круговой базе	4	4	0,48
Четыре элемента на круговой базе и пятый элемент в центре	2	5	0,43
Шесть элементов на круговой базе	2	6	0,40
Восемь элементов на круговой базе	2	8	0,34

где k_1 – проекция на плоскость пеленгатора волнового числа, b – радиус базы, $n = 1, 2, 3, \dots, M$ – дискретные элементы антенны.

Для грубого определения пеленга достаточно измерить максимальное и минимальное значения фазы:

$$\begin{aligned} \varphi = \pi - \beta, \quad \Theta_n = \Theta_{\max} = 2 \cdot k_1 b \cdot \cos^2 \frac{\beta}{2}; \\ \varphi = -\beta, \quad \Theta_n = \Theta_{\min} = -2 \cdot k_1 b \cdot \sin^2 \frac{\beta}{2}; \quad (2) \\ \cos \beta = \frac{\Theta_{\max} + \Theta_{\min}}{\Theta_{\max} - \Theta_{\min}}. \end{aligned}$$

На рис. 1, а приведена расчетная схема УКБ ГАСП с круговой базой. Направления распространения акустического фронта на рис. 1, а – 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 142, 143, 144, 145, 146, 147, 148, 149, 150, 151, 152, 153, 154, 155, 156, 157, 158, 159, 160, 161, 162, 163, 164, 165, 166, 167, 168, 169, 170, 171, 172, 173, 174, 175, 176, 177, 178, 179, 180, 181, 182, 183, 184, 185, 186, 187, 188, 189, 190, 191, 192, 193, 194, 195, 196, 197, 198, 199, 200, 201, 202, 203, 204, 205, 206, 207, 208, 209, 210, 211, 212, 213, 214, 215, 216, 217, 218, 219, 220, 221, 222, 223, 224, 225, 226, 227, 228, 229, 230, 231, 232, 233, 234, 235, 236, 237, 238, 239, 240, 241, 242, 243, 244, 245, 246, 247, 248, 249, 250, 251, 252, 253, 254, 255, 256, 257, 258, 259, 260, 261, 262, 263, 264, 265, 266, 267, 268, 269, 270, 271, 272, 273, 274, 275, 276, 277, 278, 279, 280, 281, 282, 283, 284, 285, 286, 287, 288, 289, 290, 291, 292, 293, 294, 295, 296, 297, 298, 299, 300, 301, 302, 303, 304, 305, 306, 307, 308, 309, 310, 311, 312, 313, 314, 315, 316, 317, 318, 319, 320, 321, 322, 323, 324, 325, 326, 327, 328, 329, 330, 331, 332, 333, 334, 335, 336, 337, 338, 339, 340, 341, 342, 343, 344, 345, 346, 347, 348, 349, 350, 351, 352, 353, 354, 355, 356, 357, 358, 359, 360, 361, 362, 363, 364, 365, 366, 367, 368, 369, 370, 371, 372, 373, 374, 375, 376, 377, 378, 379, 380, 381, 382, 383, 384, 385, 386, 387, 388, 389, 390, 391, 392, 393, 394, 395, 396, 397, 398, 399, 400, 401, 402, 403, 404, 405, 406, 407, 408, 409, 410, 411, 412, 413, 414, 415, 416, 417, 418, 419, 420, 421, 422, 423, 424, 425, 426, 427, 428, 429, 430, 431, 432, 433, 434, 435, 436, 437, 438, 439, 440, 441, 442, 443, 444, 445, 446, 447, 448, 449, 450, 451, 452, 453, 454, 455, 456, 457, 458, 459, 460, 461, 462, 463, 464, 465, 466, 467, 468, 469, 470, 471, 472, 473, 474, 475, 476, 477, 478, 479, 480, 481, 482, 483, 484, 485, 486, 487, 488, 489, 490, 491, 492, 493, 494, 495, 496, 497, 498, 499, 500, 501, 502, 503, 504, 505, 506, 507, 508, 509, 510, 511, 512, 513, 514, 515, 516, 517, 518, 519, 520, 521, 522, 523, 524, 525, 526, 527, 528, 529, 530, 531, 532, 533, 534, 535, 536, 537, 538, 539, 540, 541, 542, 543, 544, 545, 546, 547, 548, 549, 550, 551, 552, 553, 554, 555, 556, 557, 558, 559, 560, 561, 562, 563, 564, 565, 566, 567, 568, 569, 570, 571, 572, 573, 574, 575, 576, 577, 578, 579, 580, 581, 582, 583, 584, 585, 586, 587, 588, 589, 590, 591, 592, 593, 594, 595, 596, 597, 598, 599, 600, 601, 602, 603, 604, 605, 606, 607, 608, 609, 610, 611, 612, 613, 614, 615, 616, 617, 618, 619, 620, 621, 622, 623, 624, 625, 626, 627, 628, 629, 630, 631, 632, 633, 634, 635, 636, 637, 638, 639, 640, 641, 642, 643, 644, 645, 646, 647, 648, 649, 650, 651, 652, 653, 654, 655, 656, 657, 658, 659, 660, 661, 662, 663, 664, 665, 666, 667, 668, 669, 670, 671, 672, 673, 674, 675, 676, 677, 678, 679, 680, 681, 682, 683, 684, 685, 686, 687, 688, 689, 690, 691, 692, 693, 694, 695, 696, 697, 698, 699, 700, 701, 702, 703, 704, 705, 706, 707, 708, 709, 710, 711, 712, 713, 714, 715, 716, 717, 718, 719, 720, 721, 722, 723, 724, 725, 726, 727, 728, 729, 730, 731, 732, 733, 734, 735, 736, 737, 738, 739, 740, 741, 742, 743, 744, 745, 746, 747, 748, 749, 750, 751, 752, 753, 754, 755, 756, 757, 758, 759, 760, 761, 762, 763, 764, 765, 766, 767, 768, 769, 770, 771, 772, 773, 774, 775, 776, 777, 778, 779, 780, 781, 782, 783, 784, 785, 786, 787, 788, 789, 790, 791, 792, 793, 794, 795, 796, 797, 798, 799, 800, 801, 802, 803, 804, 805, 806, 807, 808, 809, 810, 811, 812, 813, 814, 815, 816, 817, 818, 819, 820, 821, 822, 823, 824, 825, 826, 827, 828, 829, 830, 831, 832, 833, 834, 835, 836, 837, 838, 839, 840, 841, 842, 843, 844, 845, 846, 847, 848, 849, 850, 851, 852, 853, 854, 855, 856, 857, 858, 859, 860, 861, 862, 863, 864, 865, 866, 867, 868, 869, 870, 871, 872, 873, 874, 875, 876, 877, 878, 879, 880, 881, 882, 883, 884, 885, 886, 887, 888, 889, 890, 891, 892, 893, 894, 895, 896, 897, 898, 899, 900, 901, 902, 903, 904, 905, 906, 907, 908, 909, 910, 911, 912, 913, 914, 915, 916, 917, 918, 919, 920, 921, 922, 923, 924, 925, 926, 927, 928, 929, 930, 931, 932, 933, 934, 935, 936, 937, 938, 939, 940, 941, 942, 943, 944, 945, 946, 947, 948, 949, 950, 951, 952, 953, 954, 955, 956, 957, 958, 959, 960, 961, 962, 963, 964, 965, 966, 967, 968, 969, 970, 971, 972, 973, 974, 975, 976, 977, 978, 979, 980, 981, 982, 983, 984, 985, 986, 987, 988, 989, 990, 991, 992, 993, 994, 995, 996, 997, 998, 999, 1000.

Для точного определения пеленга используется весь массив M -экспериментально измеренных значений Ψ_n фазы на приемниках антенны ($\Psi_1 = 0$), для которого описание (1) является аппроксимирующей кривой с двумя неизвестными параметрами $B = 2 \cdot k_1 b$, β . Параметр B имеет смысл волнового размера базы, который искажен дифракцией, а потому подлежит определению в предположении, что он не имеет угловой зависимости от угла пеленга β в силу угловой симметрии круговой базы антенны. Параметр β является искомым пеленгом.

Оценка точности определения искомых параметров B , β выполняется путем минимизации погрешности аппроксимации с учетом условий

$$\sum (\Theta_n - \Psi_n)^2 = \min; \quad \frac{d \sum}{dB} = 0; \quad \frac{d \sum}{d\beta} = 0. \quad (3)$$

В результате математических преобразований и допущении $\beta \ll 1$, которое правомерно в случае совмещения оси отсчета углов Ψ_n с направлениями пеленгования, определенными грубо формулой (2), получаем выражение для оценки погрешности измерения пеленга σ_β (в приближении $\beta \ll 1$):

$$\sigma_\beta = \frac{2 \cdot \sqrt{2} \cdot \sigma_w}{B_0 \cdot \sqrt{M}}, \quad (4)$$

где σ_w – среднеквадратическая погрешность измерения фазы (инструментальная погрешность), M – введенный параметр избыточности, B_0 – величина волнового размера базы.

Формула (4) выражает конечный результат анализа, в соответствии с которым погрешность измерения пеленга с помощью круговой базы убывает обратно пропорционально величине волнового размера базы B_0 и параметру избыточности $\sqrt{M}$.

При выборе волнового размера базы нужно учесть, что однозначность фазовых измерений будет обеспечена, если расстояние d между соседними гидрофонами базы не превышает длину волны λ . С учетом этого можно записать при предельном случае $d = \lambda$

$$B_0 = 2 \cdot kb \leq \frac{2}{\lambda} \cdot (M-1) \cdot \lambda = 2 \cdot (M-1). \quad (5)$$

Возможности значительного снижения погрешности пеленгования с увеличением числа элементов базы антенны (при постоянстве расстояния между ее элементами) позволяет реализовать точность УКБ ГАСП вполне соизмеримую с точностью длиннобазисных систем.

ПРИМЕНЕНИЕ КРУГОВЫХ РАЗРЕЖЕННЫХ АНТЕНН

Перспективным представляется использование в УКБ-системах разреженных антенн с небольшим количеством элементов, но размещенных на базе большого волнового размера. Причем размер базы выбирается из условий обеспечения необходимой точности, а число элементов – из условия оптимального использования вычислительных ресурсов используемых аппаратных средств. С инженерной точки зрения наиболее приемлемым является 4–8 каналов обработки.

Однако если расстояние между элементами превышает $\lambda/2$, то в таких системах возникают проблемы неоднозначного определения фазы и, соответственно, пеленга. Действительно, если для двухэлементного приемника измерительная база велика, например $kb = 3\lambda$, то $\varphi = kb \cdot \sin \beta = 6\pi \cdot \sin \beta$. Тогда при изменении пеленга в диапазоне $\beta = 0..360^\circ$ диапазон изменения полной

фазы составит $\varphi = [-6\pi, 6\pi]$, в то время как измерения фазы обеспечиваются только в диапазоне $\varphi = [-\pi, \pi]$. Это приведет к шести равнозначным оценкам пеленга.

В таблице приведены оценки потенциальной точности для ряда разреженных антенн при соотношении сигнал/шум в каждом канале $q = 10d \cdot B$.

Особенностью круговых разреженных антенн является формирование условий, при которых выявляются нескольких равновероятных пеленгов (ложные пеленги). Такие условия возникают при наличии фазовой неоднозначности. Основным подходом для исключения подобных ситуаций является увеличение числа приемных элементов антенны. Однако при этом значительно возрастает объем обрабатываемых данных, что требует увеличения вычислительной мощности аппаратуры и большего расхода энергоресурсов.

Анализируя приведенные в таблице данные, можно сделать вывод, что оптимальным является конструкция гидроакустической антенны с 6–8 приемными элементами. В этом случае конструктивно возможным становится дооснащение антенны пеленгатора передающим элементом, расположенным в центре конструкции (рис. 2).

Для разреженных антенн, согласно приведенным в таблице данным, удовлетворительная точность может быть достигнута при небольшом количестве каналов, если иметь механизм устранения неоднозначности определения пеленга. Как отмечалось, каждая конфигурация при заданной погрешности измерения фазы в приемном канале однозначно определяет величину случайной составляющей погрешности оценки пеленга. Очевидно, что только антенны с круговой симметрией перспективны при работе по всему горизонту в секторе углов $0 - 360^\circ$. Такой пеленгатор позволяет получить решение навигационной задачи при обработке одного принятого навигационного импульса.

В целях устранения ложных пеленгов предложен двухэтапный метод обработки данных в системе с разреженной антенной определение пеленга. На пер-

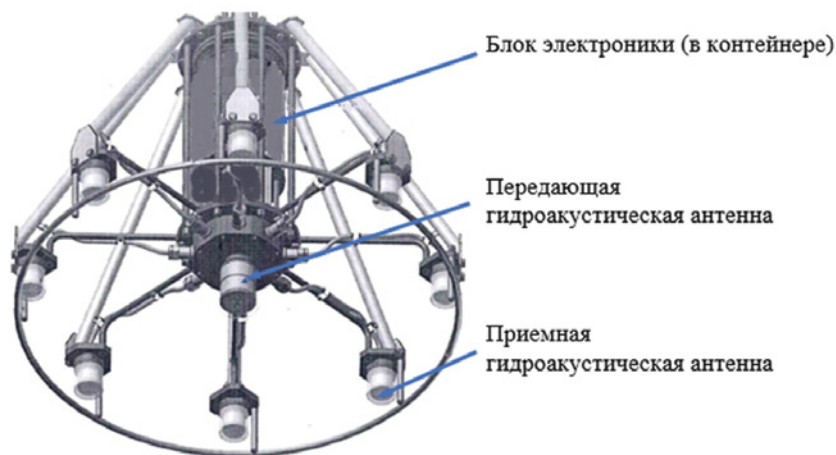


Рис. 2. Опускная прямо-передающая гидроакустическая антенна корабельной части УКБ ГАСП

вом этапе, используя антенну как амплитудный пеленгатор, компенсированный в направлении источника сигналов, устанавливается сектор прихода навигационного сигнала.

На втором этапе решается точное уравнение пеленга, начальным приближением которого является значение угла компенсации при амплитудном пеленговании (осевого угла выбранного сектора наблюдения).

На рис. 2 приведена конструкция используемой в исследованиях авторов круговой разреженной антенны. Приемные элементы антенны расположены на круговой базе. В центре конструкции антенны установлен передающий элемент. Таким образом, данная конструкция позволяет совмещать в себе функции пеленга и функции приемопередающей антенны.

системы с ультракороткой базой (когда максимальная временная задержка сигнала соизмерима с периодом средней частоты многочастотного сигнала) требует значительного увеличения частоты дискретизации входного сигнала и объема непрерывно обрабатываемых данных, что увеличивает нагрузку на вычислительные возможности и требует повышенного энергопотребления.

В большинстве УКБ ГАСП объект навигации обычно излучает навигационный импульсный сигнал заданной частоты и длительности, а для определения пеленга необходимо получить амплитудно-фазовое распределение сигнала на апертуре приемной антенны и решить соответствующее уравнение пеленга.

На рис. 3 представлена структура навигационного сигнала, реализованная в предлагаемой УКБ ГАСП.

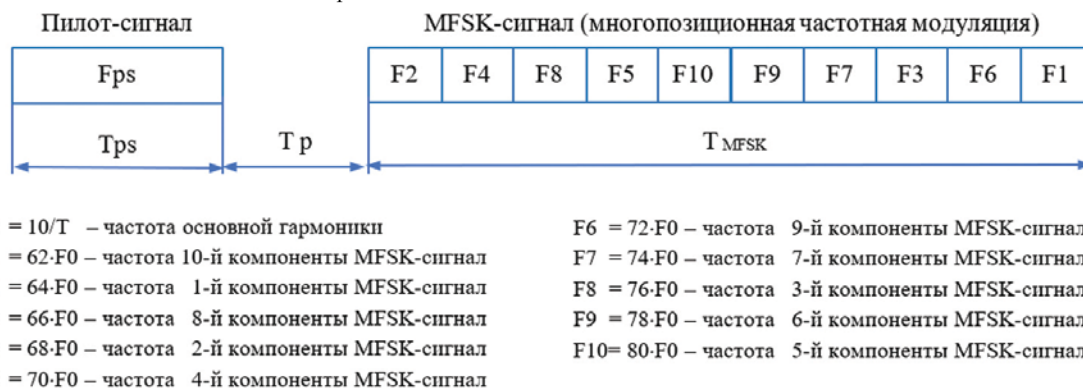


Рис. 3. Структура навигационного сигнала УКБ ГАСП

ПРИМЕНЕНИЕ ДИСКРЕТНОГО МНОГООЧАСТОТНОГО НАВИГАЦИОННОГО СИГНАЛА

Для реализации в УКБ ГАСП был предложен многочастотный навигационный сигнал, для которого, в отличие от широкополосного сигнала, вычисление фазовых задержек ведется на отдельных частотах (компонентах многочастотного навигационного сигнала). Применение широкополосного (многочастотного) навигационного сигнала для

ВЫВОДЫ

1. Представлены результаты авторских исследований конструкции гидроакустической приемной антенны, полученные при разработке УКБ ГАСП.

2. Показано, что для обеспечения удовлетворительной точности (менее $0,5^\circ$) определения пеленга оптимальная конструкция приемной антенны может включать в себя не более восьми приемных элементов.

3. Представлена основа двухэтапного метода определения пеленга, позволяющего исключить определение ложных пеленгов в условиях фазовой неоднозначности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Агеев М. Д. и др. Автономные подводные роботы: системы и технологии / М. Д. Агеев, Л. В. Киселев, Ю. В. Матвиенко и др.; под общ. ред. акад. М. Д. Агеева. – М: Наука, 2005. – 398 с.
2. Боженов Ю. А. Использование автономных необитаемых подводных аппаратов для исследования Арктики и Антарктики // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. – 2011. – Т. 4. – № 1. – С. 4–68.
3. Дранников А. В., Козьмин С. Г., Исаев А. В. Модем высокоскоростной гидроакустической связи // Технологии электромагнитной совместимости. – 2025. – 1(92). – С. 14–33.
4. Дранников А. В., Козьмин С. Г., Исаев А. В. Техническая реализация модема высокоскоростной гидроакустической связи // Морской вестник. – 2025. – № 2(94). – С. 81–85.
5. Дубровин Ф. С., Щербатюк А. Ф. Исследование некоторых алгоритмов односторонней мобильной навигации АНПА: результаты моделирования и морских испытаний // Гироскопия и навигация. – 2016. – № 2. – С. 189–197.
6. Кебал К. Г., Кебал-Акбари В. К., Машошин А. И. Результаты экспериментальной проверки возможности позиционирования глубоко погруженного подводного аппарата с использованием гидроакустической связи // Гироскопия и навигация. – 2024. – 32(2). – С. 123–132.
7. Машошин А. И., Пашкевич И. В. Алгоритмы позиционирования автономного необитаемого подводного аппарата в процессе приведения и причаливания к подводному причальному устройству // Гироскопия и навигация. – 2023. – Т. 31. – № 1 (120). – С. 103–119.

8. Патент RU 2790529 (Российская Федерация), МПК G01S 3/80 (2006.01). Способ гидроакустического позиционирования автономного необитаемого подводного аппарата / Арсентьев В. Г., Криволапов Г. И.; № 2022109998. Заявл. 12.04.2022; опубл. 22.02.2023. Заявитель Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики. // Бюлл. № 6. – 19 с. ■

Продолжение следует

Современные морские системы связи и мониторинга требуют применения эффективных и надежных решений, обеспечивающих передачу данных на различные расстояния. В данной статье проводится анализ модулей беспроводной связи NRF24L01 и LoRa E32-433T30D с усилителем и внешней антенной, внешний вид которых приведен на рис. 1, а и б. Эти модули широко применяются в проектах интернета вещей (IoT), умных устройств и автоматизации, но также могут быть использованы для организации связи между буями-ретрансляторами, кораблями и береговыми станциями.

Цель исследования – сравнительное изучение характеристик модулей, их возможностей подключения и передачи данных. Для тестирования и демонстрации практического применения используется микроконтроллер Arduino UNO.

МОДУЛЬ NRF24L01

Данный модуль беспроводной связи работает в диапазоне 2,4 ГГц. Он отличается низким энергопотреблением и компактными размерами, что делает его популярным в проектах умного дома и IoT. На рис. 2 показан внешний вид радиомодуля NRF24L01 с распиновкой выводов. Как видно из рисунка, комплектация платы является базовой и содержит сам чип, штыревую колодку и антенну в виде извилистой дорожки. Такой набор обеспечивает дальность связи до 100 м при прямой видимости или до 30 м в помещении [1]. Если дополнить модуль дополнительным усилителем и внешней антенной, то дальность связи можно увеличить до 1000 м.

Основные характеристики модуля

Напряжение питания, В ... 1,9–3,6
Потребляемый ток ... 12 мА (TX), 13 мА (RX)
Интерфейс обмена данными ... SPI
Частотный диапазон, МГц ... 2400–2525
Количество каналов ... 128 с шагом 1 МГц
Тип модуляции ... GFSK
Скорость передачи данных ... 250kbps, 1Mbps и 2Mbps
Чувствительность приёмника, дБм ... –82
Расстояние приема передачи данных, м ...
100 при прямой видимости,
30 в помещении
Коэффициент усиления антенны, дБм ... 2
Диапазон рабочей температуры, °С ... –40...+85
Размеры, мм ... 15×29
Организация сети
на одном канале, кол-во модулей ... 7
(1 приёмник и 6 передатчиков)

МОДУЛЬ LORA E32-433T30D

Этот мощный радиомодуль на базе технологии LoRa предназначен для

АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК И ПРИМЕНИМОСТИ МОДУЛЕЙ NRF24L01 И LORA E32-433T30D С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ARDUINO UNO

Л. А. Демченко, студент,
А. С. Сергеев, преподаватель,
СПбГМТУ,
liladem2484@gmail.com, sergeev@smtu.ru

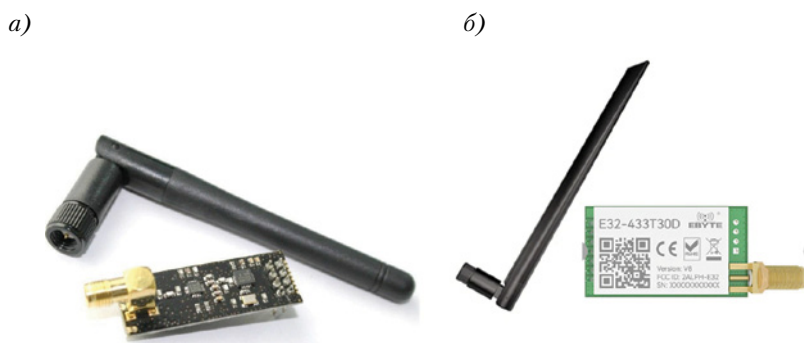


Рис. 1. Внешний вид модуля с усилителем и антенной: а – NRF24L01; б – LoRa E32-433T30D

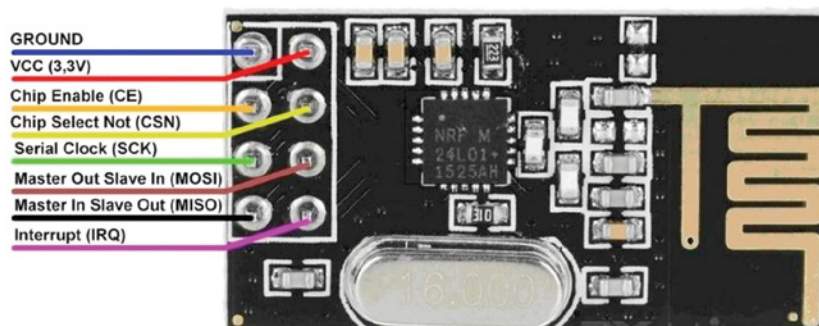


Рис. 2. Внешний вид модуля NRF24L01

передачи данных на большие расстояния. Он работает в диапазоне 433 МГц и обеспечивает передачу с низким энергопотреблением, что делает его отличным выбором для действующих беспроводных приложений, передает данные на расстояние до 8 км. Модуль поддерживает как режим точка-точка, так и сеть с множеством устройств, что расширяет возможности его применения в различных областях [2].

Модуль LoRa E32-433T30D поддерживает рабочую частоту 433 МГц, что соответствует лицензионно-свободному диапазону ISM (Industrial, Scientific and Medical). Это делает возможным его использование в разных странах без необходимости получения лицензии, доступным и удобным в развертывании [3]. Он является идеальным решением для систем с малым энергопотреблением, таких как системы мониторинга, телеметрии, автоматизации

Основные характеристики модуля

Частотный диапазон, МГц ... 410–441
(поддерживает ISM-диапазон)
Питание, В ... 3,3–5
Потребляемый ток, мА:
– при передаче ... 610
– при приеме ... 20
Максимальная мощность передачи, Вт ...
1 при чувствительности 30 дБм
Чувствительность, дБм ... –139
Дальность связи, км ... До 10
(в зависимости от условий)
Антенный разъем ... SMA
Скорость передачи данных, б/с ... От 300 до 5000
Режимы работы ... точечный (Point-to-Point), многоточечный (Multipoint);
Интерфейс связи ... UART (TTL 3.3 В), SPI
Размеры, мм ... 24×44
Температурный диапазон, °С ... От –40 до +85°

и пр. Позволяет создать устойчивую беспроводную сеть с высокой чувствительностью и дальностью, благодаря чему его широко используют для реализации проектов на больших расстояниях. Оборудован встроенным разъемом SMA, поэтому к нему легко подключать внешние антенны для дополнительного усиления сигнала. На рис. 3 показан внешний вид модуля беспроводной связи E32-433T30D, а в табл. 1 приведена распиновка его выводов с указанием их функций.

Таблица 1

Распиновка выводов E32-433T30D

Название	Направление	Функция
M0	Вход	Определяет в сочетании с M1 4 рабочих режима
M1	Вход	Определяет в сочетании с M0 4 рабочих режима
RXD	Вход	Вход для TTL UART, подключается к внешнему выходу TXD
TXD	Выход	Выход для TTL UART, подключается к внешнему выходу RXD
AUX	Выход	Используется для индикации рабочего состояния модуля
VCC	Вход	Питание
GND	Вход	Земля

ОБЗОР БИБЛИОТЕК И ПРОТОКОЛОВ

Для NRF24L01 используется библиотека RF24, поддерживающая настройку каналов, адресов и управление пакетами данных [4].

В качестве примера приведен код базовой настройки NRF24L01:

```
#include <SPI.h>
#include <nRF24L01.h>
#include <RF24.h>
RF24 radio (9, 10); // CE – 9, CSN – 10

const byte address [6] = «00001»;
void setup () {
  radio.begin ();
  radio.openWritingPipe (address);
  radio.setPALevel (RF24_PA_LOW);
  radio.setChannel (108); // 2.508
}
```

Подключение радиомодуля NRF24L01 к Arduino осуществляется по SPI-интерфейсу, что предполагает использование пяти проводов, не считая выводов питания. Для разных линеек Arduino номера выводов, на которые завязан аппаратный SPI-интерфейс, могут отличаться. На рис. 4 показана карта подключения NRF24L01 к различным сериям Arduino. Выводы CE и CSN могут быть соединены с любыми цифровыми пинами Arduino [1].



Рис. 3. Внешний вид модуля E32-433T30D

следующее:								
NRF24L01	GND	VCC	CE *	CSN *	SCK	MOSI	MISO	IRQ
Arduino UNO	GND	3,3V	любой	любой	13	11	12	*
Arduino Nano	GND	3,3V	любой	любой	13	11	12	*
Arduino Pro Mini	GND	внешний ИП	любой	любой	13	11	12	*
Arduino Mega	GND	3,3V	любой	любой	52	51	50	*
Arduino Leonardo	GND	3,3V	любой	любой	ICSP-SCK	ICSP-MOSI	ICSP-MISO	*

Рис. 4. Карта подключения модуля NRF24L01 к различным сериям Arduino

Для того чтобы протестировать базовую настройку модуля NRF24L01 с использованием Arduino, необходимо правильно подключить его к плате (рис. 4). Ниже приведены указаны пины, через которые модуль должен быть подключен к Arduino:

Подключение к Arduino

Пин модуля NRF24L01	Подключение к Arduino
VCC	3.3V
GND	GND
CE	D9
CSN	D10
SCK	D13
MOSI	D11
MISO	D12

Пример кода для инициализации и передачи данных:

```
#include <SPI.h>
#include <nRF24L01.h>
#include <RF24.h>
RF24 radio (9, 10); // CE – 9, CSN – 10

const byte address [6] = «00001»;
void setup () {
  Serial.begin (9600);
  radio.begin ();
  radio.openWritingPipe (address);
  radio.setPALevel (RF24_PA_LOW);
  radio.setChannel (108); // 2.508
}
void loop () {
  const char text [] = «Hello, NRF24L01!»;
  radio.write (&text, sizeof (text));
  Serial.println («Message sent»);
  delay (1000); // 1
}
```

После подключения NRF24L01 и загрузки кода в Arduino будет отображаться

1. Инициализация модуля: в интерфейсе Arduino будет выведено сообщение «Message sent», что указывает на успешную передачу данных.

2. Передача данных: модуль NRF24L01 будет периодически отправлять строку «Hello, NRF24L01!» через радиоканал с установленной частотой и мощностью.

3. Сигнализация: в зависимости от того, настроен ли приемник (например, другой Arduino с NRF24L01), данные должны быть получены этим устройством.

В случае, если настроен приемник, он должен принять сообщение и, например, вывести его через серию на другом Arduino.

Для связи с LoRa E32-433T30D будет использоваться библиотека SoftwareSerial [5].

Arduino Uno и аналогичные платы имеют только один аппаратный UART (пины 0 и 1), который используется для связи с компьютером. Чтобы одновременно работать с модулем LoRa и выводить данные в Serial Monitor, была использована библиотека SoftwareSerial. Эта библиотека позволяет создать дополнительный программный UART, назначив любые цифровые пины для передачи (TX) и приёма (RX) данных.

Для связи с модулем LoRa E32-433T30D были выбраны следующие пины:

- RX (приём LoRa) → D2
- TX (передача LoRa) → D3

Пример кода, демонстрирующий настройку программного UART и проверку передачи данных:

```
#include <SoftwareSerial.h>
// LoRa
SoftwareSerial LoRa (2, 3); // RX D2, TX D3
```

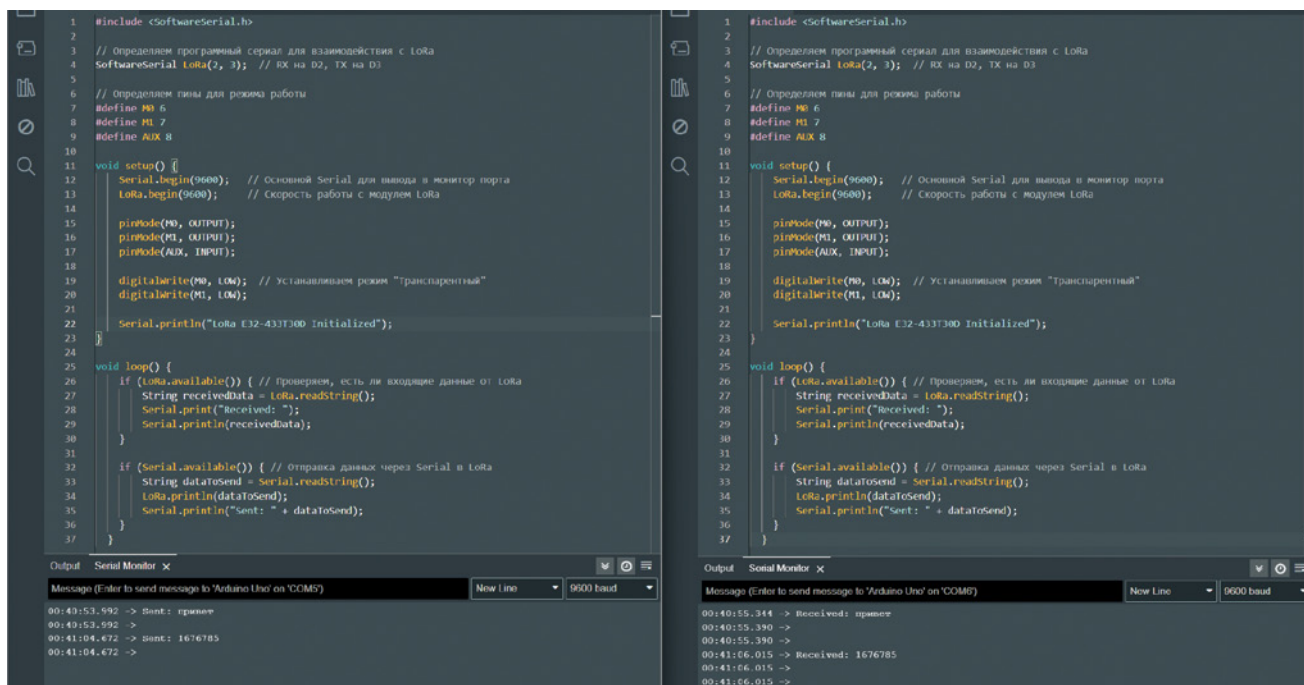


Рис. 5. Проверка кода

```
//
#define M0 6
#define M1 7
#define AUX 8
void setup () {
  Serial.begin (9600); // Serial
  LoRa.begin (9600); // LoRa
  pinMode (M0, OUTPUT);
  pinMode (M1, OUTPUT);
  pinMode (AUX, INPUT);
  digitalWrite (M0, LOW); // «
  digitalWrite (M1, LOW);
  Serial.println ( « L o R a
E32-433T30D Initialized»);
}
void loop () {
  if (LoRa.available ()) { //, LoRa
    String receivedData = LoRa.readString();
    Serial.print ( «Received: «);
    Serial.println (receivedData);
  }
  if (Serial.available ()) { // Serial LoRa
    String dataToSend = Serial.readString();
    LoRa.println (dataToSend);
    Serial.println ( «Sent: « + dataToSend);
  }
}
```

Для проверки работы модулей LoRa использовалась схема с двумя Arduino и двумя LoRa E32-433T30D. Одна из них работает в режиме передатчика, а вторая – приёмника. В табл. 2 указаны пины, через которые модуль должен быть подключен к Arduino.

ОЖИДАЕМОЕ ПОВЕДЕНИЕ КОДА

1. Инициализация модуля: в Serial Monitor (монитор последовательного порта) появится сообщение LoRa

Таблица 2
Подключение пинов модуля LoRa E32-433T30D к Arduino

Пин LoRa	Пин Arduino	Описание
M0	6	Определяет режим работы (с M1)
M1	7	Определяет режим работы (с M0)
RXD	TX (D3)	Передача данных на модуль
TXD	RX (D2)	Прием данных от модуля
AUX	8	Индикация состояния
VCC	3.3V	Питание модуля
GND	GND	Земля

E32-433T30D Initialized. Это означает, что Arduino настроил LoRa-модуль и готов к работе.

2. Прием данных: если другой LoRa-модуль (вторая Arduino) отправит сообщение, то в Serial Monitor первого модуля появится: Received: Пример сообщения. Это подтверждает, что данные были успешно переданы по радиоканалу.

3. Отправка данных: если в Serial Monitor ввести текст и нажать Enter, он отправится через LoRa-модуль. В Serial Monitor появится: Sent: Привет, мир!

На втором Arduino (если он подключен) этот же текст появится как принятые данные.

4. Индикация состояния модуля: пин AUX (подключен к D8) можно использовать для проверки, занят ли модуль. Если модуль передает данные, пин AUX будет LOW. Когда передача завершена, AUX станет HIGH.

На рис. 5 приведены результаты проверки передачи данных с помощью двух Arduino и LoRa E32-433T30D в интегрированной среде разработки (Arduino IDE), где слева модуль LoRa

выступает в роли передатчика, а справа второй модуль LoRa выступает в роли приемника.

ОРГАНИЗАЦИЯ СЕТЕЙ ДЛЯ NRF24L01 И LORA E32-433T30D

Организация сетей для беспроводных модулей NRF24L01 и LoRa E32-433T30D имеет принципиальные различия, обусловленные особенностями их технологией.

Особенности сети NRF24L01:

- поддерживает работу в сети типа «один к одному» (point-to-point) и «один ко многим» (point-to-multipoint), а также работа может быть организована в виде сети типа «многие ко многим» (mesh-сеть) при использовании сторонних библиотек, таких как RF24Network [6];
- использует 2.4 ГГц, что обеспечивает высокую скорость передачи данных (до 2 Мбит/с), но ограниченный радиус действия;
- поддерживает до шести одновременных соединений с разными устройствами в режиме многоточечного соединения (Multiceiver).;
- передача данных осуществляется в адресуемых пакетах (каждое устройство имеет уникальный адрес);
- возможна организация сети с топологией «звезда», где один модуль управляет несколькими узлами;
- при использовании библиотеки RF24Mesh возможно создание многоуровневой сети, где пакеты могут передаваться через промежуточные узлы [6].

Пример топологии «один ко многим» для NRF24L01: один передатчик отправ-

ляет данные нескольким приемникам, адресуя их конкретному узлу. *Пример топологии Mesh*: устройства могут передавать пакеты через других участников сети, формируя иерархическую структуру.

LoRa-модуль E32–433T30D поддерживает различные способы организации сетей, что позволяет гибко настраивать его для работы в различных сценариях.

СЕТЕВЫЕ ТОПОЛОГИИ LORA E32–433T30D

1. Point-to-Point (P2P, «один к одному»):

- передача данных осуществляется напрямую между двумя устройствами;
- оба модуля настроены на одинаковую частоту и используют фиксированные адреса;
- используется в простых системах, где связь устанавливается между двумя узлами без ретрансляции [7].

2. Point-to-Multipoint («один ко многим»):

- один передатчик может отправлять данные сразу нескольким приемникам;
- приемники могут фильтровать сообщения по адресации или работать в режиме мониторинга, принимая все сообщения на заданном канале;
- полезно для распределенных систем сбора данных, например, для датчиков [7].

3. Broadcast (широковещательная передача):

- данные отправляются на специальный адрес (0xFFFF), и их могут получить все устройства на одном канале;
- не требуется настройка адреса получателя;
- применяется для оповещений или общих команд.

4. Mesh-сеть (иерархическая сеть с ретрансляцией):

- организуется с использованием промежуточных узлов, передающих пакеты дальше.
- требуется дополнительное программное обеспечение для маршрутизации данных.

– позволяет создавать сложные сети с увеличенным радиусом покрытия [7].
Особенности сетей LoRa E32–433T30D:

- режимы адресации: каждый модуль может работать в фиксированном адресном режиме или в широковещательном режиме;
- различные режимы работы: прозрачная передача данных, пробуждение

приемников перед передачей, энергосбережение;

- большая дальность связи: до **10 км** в условиях прямой видимости;
- низкое энергопотребление, особенно в спящем режиме;
- фильтрация данных по адресам: пакеты могут приниматься только устройствами с соответствующим адресом или всеми устройствами (режим мониторинга);
- настраиваемые параметры связи, такие как мощность передачи, скорость передачи данных и частотный канал.

Пример работы сети «один ко многим»: один передатчик LoRa E32–433T30D отправляет данные на несколько приемников, которые принимают сообщения, если их адрес совпадает с адресом отправителя или если они настроены на приём широко-вещательных сообщений. *Пример работы сети мониторинга водной среды:* устройство с адресом 0xFFFF может использоваться как центральный узел для сбора данных со всех датчиков в пределах радиуса действия, независимо от их местоположения. Это особенно полезно для систем экологического мониторинга акваторий.

По итогам сравнительного анализа модулей беспроводной связи NRF24L01 и LoRa E32–433T30D можно сделать следующие выводы:

Модуль LoRa E32–433T30D значительно превосходит NRF24L01 по дальности передачи, позволяет передавать данные на расстояние до 10 км, что критически важно для связи между буями и береговыми станциями. Благодаря технологии спектрального расширения более устойчив к помехам и способен передавать данные на большие расстояния даже в сложных морских условиях. Осуществляет связь между буями-ретрансляторами, прибрежными системами наблюдения. LoRa E32–433T30D до 5000 бит/с достаточен для передачи телеметрических данных, поддерживает протяженные сети между буями, кораблями и береговыми станциями; требует до 610 мА в режиме передачи, поэтому нуждается в более мощных источниках питания.

Модуль NRF24L01 без усилителя обеспечивает связь на расстояние 100 м, а с усилителем – около 1 км, что подходит для локальных судовых систем. NRF24L01 2,4 ГГц более подвержен помехам от различных морских радиоприборов; более энергоэффективен (12–13 мА), что делает его пригодным для автономных бортовых устройств. NRF24L01 до 2 Мбит/с лучше подходит

для быстрой передачи данных на корабле или между судами на малом расстоянии; позволяет создавать локальные сети на судне (до семи устройств), может применяться в судовых системах контроля, локальных сетях на кораблях, в системах безопасности

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование показало, что выбор между модулями NRF24L01 и LoRa E32–433T30D для морских применений зависит от специфики задачи. Первый подходит для приложений с низким энергопотреблением, таких как системы навигации и бортовые датчики, второй предпочтителен для систем мониторинга на больших расстояниях, между буями и береговыми станциями.

Особую важность приобретает устойчивость к помехам в морских условиях, где LoRa демонстрирует преимущество благодаря технологии спектрального расширения. Дальность связи модулей позволяет эффективно использовать их как для прибрежных систем, так и для морских коммуникаций.

Результаты данного исследования будут использованы в дальнейшем при изучении возможностей организации беспроводных сетей в морских условиях.

ЛИТЕРАТУРА

- 3 D - D I Y: Радиомодуль NRF24L01. – URL: <https://3d-diy.ru/blog/radio-modul-nrf24l01/?srsltid=AfmBOoo4EdgJ1TF2HlwDZeIRjT2HDuixn6VarHmi32tSwQOO15bAjfzG> (дата обращения: 25.01.2025).
- Ebyte: Модуль E32–433T30D. – URL: <https://www.ru-ebyte.com/products/E32-433T30D/1#Parameters> (дата обращения: 25.01.2025).
- Voltiq: Модуль беспроводной связи SX1278 E32–433T30D. URL: <https://voltiq.ru/shop/sx1278-e32-433t30d-wireless-long-range-module/> (дата обращения: 25.01.2025).
- GitHub: nRF24/RF24. – URL: <https://github.com/nRF24/RF24> (дата обращения: 25.01.2025).
- GitHub: junhuanchen /Esp32-SoftwareSerial. – URL: <https://github.com/junhuanchen/Esp32-SoftwareSerial> (дата обращения: 25.01.2025).
- iArduino: Модуль беспроводной связи NRF24L01: интернет-магазин. – URL: <https://iarduino.ru/shop/Expansion-payments/nrf24l01-wireless-module-2-4g.html> (дата обращения: 11.02.2025).
- Voltiq: Руководство пользователя E32–433T30D: PDF-документ. – URL: <https://voltiq.ru/datasheets/ebyte/E32-433T30D-user-manual.pdf> (дата обращения: 11.02.2025)■

Одной из основных тактико-технических характеристик корабельной системы освещения надводной обстановки (ОНО) является точность измерения координат обнаруженных целей, определяющая размеры областей их возможного положения. Измерение координат надводных целей возможно как активными, так и пассивными корабельными средствами локации.

Пассивные средства являются одним из главных источников информации о дальней надводной обстановке. Это обусловлено возможностью за счет высокого энергетического потенциала и широкого диапазона частот приемных каналов обнаруживать излучающие цели далеко за пределами радиогоризонта в зоне дифракции и даже в зоне дальнего тропосферного распространения радиоволн. Еще одним достоинством пассивных средств является их скрытность, а недостатком, особенно при использовании пассивных средств одиночного корабля, – большие по сравнению с активными средствами ошибки и время определения координат цели.

Для повышения точности измерения координат целей как пассивные, так и активные средства отдельных кораблей посредством радиоканалов связи объединяются в многопостовые (МП) системы, в которых имеется возможность гибкой целенаправленной деформации зоны действия (возможность создания зоны действия требуемой конфигурации с учетом ожидаемой радиолокационной обстановки).

В однопостовых системах ОНО точность определения положения цели в картинной плоскости (в направлении, ортогональном к линии визирования) по измерениям угловых координат обычно значительно ниже точности измерения дальности, особенно для удаленных целей. В МП системах ОНО появляется возможность определения координат цели путем измерения дальности относительно нескольких разнесенных РЛС, что позволяет повысить точность оценки угловых координат цели по сравнению с однопостовой РЛС.

При ориентировочных расчетах удобно пользоваться приближенным выражением для среднеквадратической ошибки (СКО) определения в дальномерной двухпостовой (ДП) системе ОНО угловой координаты цели (в бистатической плоскости, проходящей через цель и обе РЛС) по измерениям дальности [1]:

$$\sigma_{\gamma_n} \approx \sigma_D \sqrt{2} / (B \sin \gamma_n) \approx \sigma_D \sqrt{2} / B_{\text{эф}}, \quad (1)$$

где σ_D – СКО измерения дальности в каждой РЛС; B – база (расстояние между РЛС); γ_n – угол, определяющий направление на цель; $B_{\text{эф}}$ – эффективная база.

Из (1) следует, что при высокой точности измерения дальности (что достигается при использовании широкополосных сигналов) и достаточно больших базах СКО σ_{γ_n} может быть значительно меньше, чем при обычной однопостовой пеленгации цели.

В угломерных МП системах ОНО пространственный элемент разрешения определяется объемом пересечения диаграмм направленности (ДН) антенн. Два разнесенных приемных поста с эффективной базой $B_{\text{эф}}$ обладают разрешающей способностью по дальности σ_D , которую можно приближенно выразить формулой [1]

$$\sigma_D \approx (D_n^2 / B_{\text{эф}}) \delta \psi_{\text{гл}}, \quad (2)$$

где D_n – дальность цели; $\delta \psi_{\text{гл}}$ – ширина главного лепестка ДН антенн приемных постов.

Из (2) следует, что разрешающая способность по дальности в угломерной ДП системе ОНО низкая.

В настоящей статье предметом рассмотрения являются угломерная и дальномерная ДП системы ОНО, т. е. системы,

ИССЛЕДОВАНИЕ ДВУХПОСТОВЫХ КОРАБЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ОСВЕЩЕНИЯ НАДВОДНОЙ ОБСТАНОВКИ

О.Г. Мальцев, д-р техн. наук, начальник НИЛ,
АО «Концерн «Гранит-Электрон»,
контакт. тел. (812) 271 4585, 271 6774

в которых определение координат цели осуществляется «по минимуму данных» (без учета большего числа результатов измерений, чем это необходимо). Задача решается на флагманском корабле (ФК) при взаимодействии по радиоканалу связи с кораблем группы (КГ). Используется декартова прямоугольная система координат OXY , связанная с центром масс ФК, ось OX проходит через центр масс КГ, а ось OY дополняет систему координат до правой.

ОБЩЕЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ЦЕЛИ В МП СИСТЕМЕ ОНО

В МП системе ОНО по результатам оценок параметров сигнала определяется пространство параметров положения Θ цели, которое затем отображается в пространство ее декартовых координат x_n, y_n , характеризующее вектор состояния

$$\mathbf{z} = [x_n, y_n]^T,$$

где T – знак транспонирования.

При двухэтапной обработке информации сначала измеряются такие параметры, как дальности до цели от отдельных постов или угловые координаты, затем по этой информации, объединенной на уровне единичных замеров, оценивается вектор состояния цели, в частности, ее местоположение.

Точность определения местоположения цели (МПЦ) в МП системе ОНО определяется погрешностями первичных измерений и геометрическим фактором, т. е. расположением цели по отношению к передатчикам или приемникам. Под первичными измерениями понимают, с одной стороны, ошибки первого этапа радиолокационных измерений, с другой – неточности в определении координат постов, их скоростей и, быть может, других параметров, характеризующих их состояние. В корабельных системах ОНО погрешности в определении вектора состояния постов представляют ошибки навигации.

Угломерный метод определения координат излучающей цели основан на измерении пеленгов на цель как минимум в двух точках приема, разнесенных на некоторое известное расстояние, называемое базой. МПЦ на плоскости определяется точкой пересечения двух линий положения (пеленгов).

При дальномерном методе координаты цели определяются по измерениям временных запаздываний сигнала при его распространении от поста до цели и обратно.

Обработка информации в МП системе ОНО при определении МПЦ выполняется методом максимального правдоподобия, и оптимальные оценки декартовых координат цели находят из решения уравнения правдоподобия. В связи с нелинейностью задачи решение уравнения правдоподобия ищется методом последовательных приближений. Принимая во внимание только линейные члены разложения, для случая гауссовой статистики измерений решением уравнения правдоподобия на s -м шаге уточнения является система линейных уравнений [2]:

$$\sum_{q=1}^2 a_{pq}^{[s]} \cdot \Delta \mu_q^{[s]} = b_p^{[s]}, \quad p = 1, 2,$$

где $\Delta u_q^{[s]}$ – q -й компонент разности значения вектора декартовых координат цели на $(s+1)$ -м шаге уточнения и его оценочным значением на предыдущем, s -м шаге.

При обработке информации в угломерной МП системе ОНО выражения для коэффициентов системы линейных уравнений имеют вид

$$a_{11} = \sum_{i=1}^n \frac{(x_{ci} - x_{ki})^2}{(D_{ci}^{(i)})^4}; \quad a_{22} = \sum_{i=1}^n \frac{(y_{ci} - y_{ki})^2}{(D_{ci}^{(i)})^4};$$

$$a_{12} = a_{21} = - \sum_{i=1}^n \frac{(x_{ci} - x_{ki})(y_{ci} - y_{ki})}{(D_{ci}^{(i)})^4};$$

$$b_1 = \sum_{i=1}^n (\hat{\phi}_{ci}^{(i)} - \phi_{ci}^{(i)}) \cdot \frac{x_{ci} - x_{ki}}{(D_{ci}^{(i)})^2}; \quad b_2 = - \sum_{i=1}^n (\hat{\phi}_{ci}^{(i)} - \phi_{ci}^{(i)}) \cdot \frac{y_{ci} - y_{ki}}{(D_{ci}^{(i)})^2},$$

где n – количество кораблей в тактической группе; x_{ci} , y_{ci} и x_{ki} , y_{ki} – соответственно декартовы координаты цели и i -го корабля; $\phi_{ci}^{(i)}$, $D_{ci}^{(i)}$ – соответственно азимут и дальность цели с i -го корабля, вычисленные с использованием оценок искомых координат; $\hat{\phi}_{ci}^{(i)}$ – замер азимута цели с i -го корабля.

Для дальномерной МП системы ОНО коэффициенты системы линейных уравнений выражаются как

$$a_{11} = \sum_{i=1}^n \frac{(y_{ci} - y_{ki})^2}{(D_{ci}^{(i)})^2}; \quad a_{22} = \sum_{i=1}^n \frac{(x_{ci} - x_{ki})^2}{(D_{ci}^{(i)})^2};$$

$$a_{12} = a_{21} = \sum_{i=1}^n \frac{(x_{ci} - x_{ki})(y_{ci} - y_{ki})}{(D_{ci}^{(i)})^2};$$

$$b_1 = \sum_{i=1}^n (\hat{D}_{ci}^{(i)} - D_{ci}^{(i)}) \cdot \frac{y_{ci} - y_{ki}}{D_{ci}^{(i)}}; \quad b_2 = \sum_{i=1}^n (\hat{D}_{ci}^{(i)} - D_{ci}^{(i)}) \cdot \frac{x_{ci} - x_{ki}}{D_{ci}^{(i)}},$$

где $\hat{D}_{ci}^{(i)}$ – замер дальности цели с i -го корабля.

Результаты расчетов показывают, что ошибки измерения координат постов существенно влияют на точность определения МПЦ. Далее рассматриваются ДП системы ОНО, в которых имеется возможность уточнения местоположения постов по сигналам спутниковой навигационной системы, вследствие чего ошибка измерения координат постов допустимо будет пренебречь.

Как известно, для оценки точности определения МПЦ вводится эллипс рассеяния (ЭР), характеризующий область возможного положения цели, и ошибку определения МПЦ удобно оценивать через главные полуоси этого эллипса или его площадь.

РАСЧЕТ ОБЛАСТИ ВОЗМОЖНОГО ПОЛОЖЕНИЯ ЦЕЛИ

Рассмотрим вектор измерений $\mathbf{z} = [x, y]^T$, который имеет характеризующие точность определения МПЦ среднее значение ошибки, равное нулю, и ковариационную матрицу ошибок (КМО):

$$\mathbf{K} = \begin{bmatrix} \sigma_x^2 & k_{xy} \\ k_{xy} & \sigma_y^2 \end{bmatrix},$$

где k_{xy} – корреляционный момент, равный $k_{xy} = r_{xy} \sigma_x \sigma_y$; σ_x^2 , σ_y^2 и r_{xy} – соответственно дисперсии и коэффициент корреляции ошибок определения координат МПЦ. Соотношение

$$\mathbf{z}^T \mathbf{K}^{-1} \mathbf{z} = l^2 \quad (3)$$

при распределении ошибок по нормальному закону представляет собой уравнение алгебраической кривой второго порядка, контуры которой имеют равные значения плотности вероятности МПЦ.

Известно, что в общем случае, когда случайные величины (ошибки) X и Y коррелированы, существует система координат $O\xi\eta$, которая получается поворотом системы OXY на угол ε , в которой корреляция случайных величин отсутствует.

После преобразования уравнение (3) можно переписать в стандартной (канонической) форме в виде

$$\frac{\xi^2}{a^2} + \frac{\eta^2}{b^2} = 1,$$

где величины a и b – это полуоси кривой, которая при $a \neq b$ является эллипсом. Изменение ε на угол, кратный $\pi/2$, соответствует некоторой перестановке переменных ξ , η , $-\xi$ и $-\eta$.

Каноническое уравнение соответствует такому выбору ε , при котором фокусы эллипса лежат на оси $O\xi$.

Плотность вероятности МПЦ в главных осях $O\xi$, $O\eta$ ЭР имеет вид

$$w(\xi, \eta) = \frac{1}{2\pi\sigma_\xi\sigma_\eta} \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left(\frac{\xi^2}{\sigma_\xi^2} + \frac{\eta^2}{\sigma_\eta^2} \right) \right\}.$$

Вероятность того, что двумерный вектор измерений координат МПЦ попадает внутрь ЭР $\frac{\xi^2}{\sigma_\xi^2} + \frac{\eta^2}{\sigma_\eta^2} = l^2$, размеры которого определяются константой l , равна $P(l) = 1 - \exp(-l^2/2)$. Здесь σ_ξ , σ_η – главные полуоси единичного, т. е. при $l=1$, ЭР. Задав вероятность $P(l)$, можно вычислить $l = \sqrt{-2 \ln[1 - P(l)]}$ и, следовательно, определить размеры ЭР. Например, для $P(l) = 0,994$ значение $l = 3,2$.

Между дисперсиями σ_x^2 , σ_y^2 , с одной стороны, и дисперсиями σ_ξ^2 , σ_η^2 , с другой, существует следующая связь: $\sigma_\xi^2 + \sigma_\eta^2 = \sigma_x^2 + \sigma_y^2$. Если $r_{xy} = 0$, то оси симметрии ЭР параллельны координатным осям OX и OY ; составляющие векторной ошибки не связаны (не коррелированы) и независимы; $\varepsilon = 0$ и $\sigma_\xi^2 = \sigma_x^2$, $\sigma_\eta^2 = \sigma_y^2$. В случае полной корреляции для обоих измерений ($r_{xy} = 1$) ЭР вырождается в прямую и $\sigma_\xi^2 = \sigma_x^2 + \sigma_y^2$.

Единичный ЭР с центром $\mathbf{m}$ и размерами, определяемыми симметричной положительно определенной матрицей $\mathbf{K}$ (размерности 2×2), представляет собой замкнутое выпуклое множество векторов $\mathbf{z} = [x, y]^T$, а именно:

$$\Omega_z(\mathbf{m}, \mathbf{K}) = \{ \mathbf{z} : (\mathbf{z} - \mathbf{m})^T \mathbf{K}^{-1} (\mathbf{z} - \mathbf{m}) \leq 1 \} \quad (l=1, a=\sigma_\xi, b=\sigma_\eta),$$

$$\text{у которого } \mathbf{m} = [m_1, m_2]^T; \quad \mathbf{K} = \begin{bmatrix} \sigma_x^2 & k_{xy} \\ k_{xy} & \sigma_y^2 \end{bmatrix}.$$

Центр ЭР $\mathbf{m}$ можно рассматривать как гарантированные оценки параметров, а матрицу $\mathbf{K}$, задающую размер ЭР, использовать для оценки точности определения МПЦ.

Найдем длины полуосей ЭР и угол наклона большого полуэллипса ЭР к координатной оси OX . Координаты центра ЭР задаются нулевым вектором $\mathbf{m} = [0; 0]^T$, т. е. центр ЭР совпадает с началом системы координат OXY . Собственные числа матрицы $\mathbf{K}$ равны квадратам длин полуосей ЭР. Для определения собственных чисел матрицы $\mathbf{K}$ составим характеристическое уравнение

$$\begin{vmatrix} \sigma_x^2 - \lambda & k_{xy} \\ k_{xy} & \sigma_y^2 - \lambda \end{vmatrix} = 0. \quad \text{или } \lambda^2 - J \cdot \lambda + D = 0,$$

$$\text{где } J = \sigma_x^2 + \sigma_y^2, \quad D = \begin{vmatrix} \sigma_x^2 & k_{xy} \\ k_{xy} & \sigma_y^2 \end{vmatrix}.$$

Величины J и D являются инвариантами относительно переноса и поворота осей. Эти инварианты определяют свойства ЭР, не зависящие от его положения на плоскости. Инварианты J и D следующим образом выражаются через корни характеристического уравнения:

$$J = \lambda_1 + \lambda_2; \quad D = \lambda_1 \lambda_2.$$

Если λ_1 и λ_2 – решения характеристического уравнения, то большой полуэллипс ЭР $a = \sigma_\xi = \sqrt{\lambda_1}$, а малый полуэллипс $b = \sigma_\eta = \sqrt{\lambda_2}$, причем $\lambda_1 > \lambda_2$.

Ориентация осей ЭР определяется собственными векторами матрицы $\mathbf{K}$. Для определения собственных векторов рассмотрим систему координат $O\xi\eta$, оси которой совпадают с осями ЭР. Система координат $O\xi\eta$ повернута относительно OXY на неизвестный угол ε . Нетрудно заметить, что ортого-

нальная матрица перехода от системы координат $O\xi\eta$ к системе координат OXY имеет вид

$$\mathbf{W} = \begin{bmatrix} \cos \varepsilon & -\sin \varepsilon \\ \sin \varepsilon & \cos \varepsilon \end{bmatrix}.$$

Матрица $\mathbf{W}$ является матрицей собственных векторов матрицы $\mathbf{K}$.

Требуется найти такой угол ε , чтобы матрица, подобная матрице $\mathbf{K}$, была диагональной, т. е.

$$\mathbf{W}^{-1}\mathbf{K}\mathbf{W} = \begin{bmatrix} \lambda_1 & 0 \\ 0 & \lambda_2 \end{bmatrix}. \quad (4)$$

Равенство (4) умножим на матрицу $\mathbf{W}$, в результате получим систему линейных однородных уравнений

$$\begin{cases} (\sigma_x^2 - \lambda_k)w_{1k} + k_{xy}w_{2k} = 0; \\ k_{xy}w_{1k} + (\sigma_y^2 - \lambda_k)w_{2k} = 0, \quad k = 1, 2, \end{cases} \quad (5)$$

где w_{1k}, w_{2k} – элементы матрицы $\mathbf{W}$.

Чтобы система (5) имела решение, отличное от нуля, необходимо, чтобы определитель этой системы был равен нулю, т. е.

$$\begin{vmatrix} \sigma_x^2 - \lambda & k_{xy} \\ k_{xy} & \sigma_y^2 - \lambda \end{vmatrix} = 0.$$

Это есть уравнение для собственных чисел $\lambda_k, k = 1, 2$ матрицы $\mathbf{K}$. Учитывая, что $w_{11} = \cos \varepsilon, w_{21} = \sin \varepsilon$, находим, например, из первого уравнения системы (5) при $k = 1$, что

$$\varepsilon = \arctg \frac{\sigma_x^2 - \lambda_1}{-k_{xy}}.$$

Остальные три уравнения системы (5) дают тождественный результат вычисления значения угла ε .

Вероятность попадания случайной точки, декартовы координаты которой распределены по нормальному закону, при совпадении центра распределения с центром единичного ($l = 1$) ЭР, внутри этого эллипса равна 0,393. Чтобы эта вероятность была близка к 1 (равна, например, 0,994), размеры ЭР должны быть $a = 3,2\sigma_\xi, b = 3,2\sigma_\eta$.

УГЛОМЕРНАЯ ДВУХПОСТОВАЯ СИСТЕМА ОНО

В угломерной ДП системе ОНО в каждый момент времени по плоскости независимо определяются азимуты цели, т. е. вектор наблюдений имеет вид $\Theta = [\beta_1, \beta_2]^T$. Азимуты β_1, β_2 отсчитываются от нормали к базе приема. С учетом геометрии угломерной ДП системы ОНО дальность цели относительно ФК можно определить следующим образом [3]:

$$D_1 = B \cos \beta_2 / \sin(\beta_1 - \beta_2),$$

где B – расстояние между ФК и КГ (база приема); β_1 и β_2 – азимуты цели с ФК и КГ соответственно.

Матрица точности имеет вид [3]

$$\mathbf{c} = \begin{bmatrix} (D \cos \beta_1)^2 / (D_1 F \sigma_{\beta_2}^2)^2 & GD \cos \beta_1 / (D_1 F^2 \sigma_{\beta_2}^2) \\ GD \cos \beta_1 / (D_1 F^2 \sigma_{\beta_2}^2) & (G / F \sigma_{\beta_2})^2 + 1 / \sigma_{\beta_1}^2 \end{bmatrix},$$

где использованы следующие обозначения:

$$D = B / D_1; \quad G = 1 - D \sin \beta_1; \quad F = 1 + D^2 - 2D \sin \beta_1.$$

Обращение этой матрицы дает КМО $\mathbf{c}^{-1}$ с элементами

$$c_{11}^{-1} = D_1^2 (G^2 \sigma_{\beta_1}^2 + F^2 \sigma_{\beta_2}^2) / (D \cos \beta_1)^2; \quad c_{22}^{-1} = \sigma_{\beta_1}^2;$$

$$c_{12}^{-1} = c_{21}^{-1} = -GD_1 \sigma_{\beta_1}^2 / (D \cos \beta_1).$$

Диагональные элементы c_{11}^{-1} и c_{22}^{-1} характеризуют соответственно дисперсии ошибок измерения дальности D_1 и азимута β_1 в угломерной ДП системе ОНО.

Из анализа структуры c_{11}^{-1} следует, что по мере приближения цели к линии базы или удаления от нее дисперсия измерения дальности стремится к бесконечности. Дисперсия ошибки

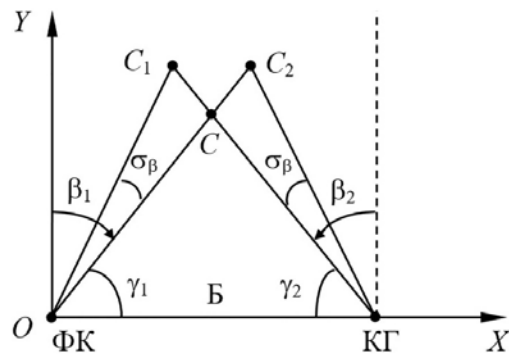


Рис. 1. Геометрия задачи расчета параметров единичного ЭР в угломерной двухпостовой системе ОНО

измерения дальности зависит от углового положения цели, от комбинации используемых параметров (метода измерения) и ошибок их измерений. Уменьшение $D = B / D_1$ вследствие уменьшения базы приема или увеличения дальности цели сопровождается ростом ошибок измерения дальности.

Для геометрии угломерной ДП системы ОНО, представленной на рис. 1, найдем закон распределения координат цели (точки C), определенных путем ее визирования с двух постов (ФК и КГ), если заданы база B , углы γ_1 и γ_2 , а также СКО визирования с обоих постов $\sigma_{\beta_1} = \sigma_{\beta_2} = \sigma_\beta$. Местоположения ФК и КГ известны без ошибок.

Главные направления (ξ, η) закона распределения координат цели и соответствующие им дисперсии ($\sigma_\xi^2, \sigma_\eta^2$) определяются формулами

$$\sigma_\xi^2 = k_{11} \cos^2 \varepsilon + k_{12} \sin 2\varepsilon + k_{22} \sin^2 \varepsilon;$$

$$\sigma_\eta^2 = k_{11} \sin^2 \varepsilon - k_{12} \sin 2\varepsilon + k_{22} \cos^2 \varepsilon,$$

где ε – угол, составленный осью O с осью OX .

Главные полуоси единичного ЭР равны $a = \sigma_\xi, b = \sigma_\eta$.

Закон распределения координат цели определяется двумя векториальными ошибками [4]:

$$a_1 = CC_1 = \frac{BE_\beta \sin \gamma_2}{\sin^2(\gamma_1 + \gamma_2)}; \quad a_2 = CC_2 = \frac{BE_\beta \sin \gamma_1}{\sin^2(\gamma_1 + \gamma_2)},$$

вследствие чего элементы ковариационной матрицы $\|k_{ij}\|$ закона распределения

$$k_{11} = \sigma_x^2 = \frac{B^2 E_\beta^2}{2\rho^2 \sin^4(\gamma_1 + \gamma_2)} (\sin^2 \gamma_1 \cos^2 \gamma_1 + \sin^2 \gamma_2 \cos^2 \gamma_2);$$

$$k_{22} = \sigma_y^2 = \frac{B^2 E_\beta^2}{2\rho^2 \sin^4(\gamma_1 + \gamma_2)} (\sin^4 \gamma_1 + \sin^4 \gamma_2);$$

$$k_{12} = k_{21} = \frac{B^2 E_\beta^2}{2\rho^2 \sin^4(\gamma_1 + \gamma_2)} (\sin^3 \gamma_1 \cos \gamma_1 - \sin^3 \gamma_2 \cos \gamma_2) \quad \text{и}$$

$$\varepsilon = \frac{1}{2} \arctg \frac{\sin^2 \gamma_1 \sin 2\gamma_1 - \sin^2 \gamma_2 \sin 2\gamma_2}{\sin^2 \gamma_1 \cos 2\gamma_1 + \sin^2 \gamma_2 \cos 2\gamma_2},$$

где $E_\beta = \rho \sqrt{2} \sigma_\beta$ – срединная угловая ошибка визирования цели; $\rho = 0,476936...$

ДАЛЬНОМЕРНАЯ ДВУХПОСТОВАЯ СИСТЕМА ОНО

В общем случае задача определения МПЦ методом двух дальностей решается в произвольной системе прямоугольных координат OXY с центром в опорной точке с координатами $(0, 0)$ (основной приемный пост), не совпадающей с местоположением ни ФК, ни КГ. Оси OX, OY лежат в плоскости горизонта. МПЦ определяется как точка пересечения двух окружностей с центрами $O_k (x_k, y_k)$, совмещенными с пос-

тами ДП системы ОНО, и радиусами D_k ($k=1,2$), равными измеренным дальностям до цели. Система уравнений

$$\begin{cases} (x-x_1)^2 + (y-y_1)^2 = D_1^2; \\ (x-x_2)^2 + (y-y_2)^2 = D_2^2 \end{cases} \quad (6)$$

сводится к линейной и имеет решение относительно опорной точки [5]:

$$\begin{cases} x_{\text{ц}} = B_1 + B_2(D_1^2 - D_2^2) \pm B_3 \sqrt{B_7 D_1^2 - 0,25[1 + B_7(D_1^2 - D_2^2)]^2}; \\ y_{\text{ц}} = B_4 + B_5(D_1^2 - D_2^2) \pm B_6 \sqrt{B_7 D_1^2 - 0,25[1 + B_7(D_1^2 - D_2^2)]^2}, \end{cases} \quad (7)$$

где $B_1, \dots, B_7$ – коэффициенты, зависящие от размещения постов ДП системы ОНО:

$$B_1 = (x_1 + x_2)/2; B_2 = (x_2 - x_1)/2B^2; B_3 = y_2 - y_1;$$

$B_4 = (y_1 + y_2)/2; B_5 = (y_2 - y_1)/2B^2; B_6 = x_2 - x_1; B_7 = 1/B^2$, где B – базовое расстояние между постами ДП системы ОНО.

Если в качестве опорной точки выбрано местоположение ФК (первого поста), то система уравнений (6) приобретает вид

$$\begin{cases} x^2 + y^2 = D_1^2; \\ (x-B)^2 + y^2 = D_2^2, \end{cases}$$

а выражения для коэффициентов решения (7) преобразуются к виду $B_1 = B/2; B_2 = 1/2B; B_3 = B_4 = B_5 = 0; B_6 = B; B_7 = 1/B^2$. В итоге получаем

$$x_{\text{ц}} = \frac{B^2 + D_1^2 - D_2^2}{2B}; y_{\text{ц}} = \sqrt{D_1^2 - x_{\text{ц}}^2}.$$

Приведем основные соотношения для расчета параметров (a, b, ε) единичного ЭР при определении МПЦ в дальномерной ДП системе ОНО. Геометрия задачи представлена на рис. 2, на котором точками A, B, C обозначены местоположения соответственно ФК, КГ и цели.

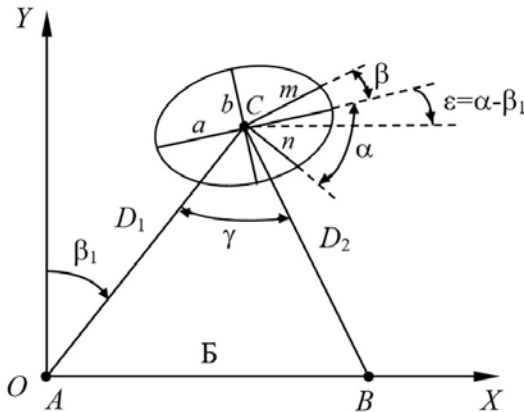


Рис. 2. Геометрия задачи расчета параметров единичного ЭР в дальномерной двухпостовой системе ОНО

Если a и b – главные полу диаметры единичного ЭР, m и n – сопряженные полу диаметры того же ЭР, α и β – углы, образуемые полу диаметрами n и m с полу диаметром a , $\alpha + \beta$ – угол между сопряженными полу диаметрами, то согласно теореме Аполлония [4],

$$m^2 + n^2 = a^2 + b^2; m \cdot n \cdot \sin(\alpha + \beta) = ab,$$

где $\operatorname{tg} \alpha \cdot \operatorname{tg} \beta = b^2 / a^2$; $n^2 = \frac{a^2 b^2}{b^2 + (a^2 - b^2) \sin^2 \alpha}$.

Векторные ошибки определения координат цели возникают вследствие ошибок измерения дальностей D_1 и D_2 . Эти ошибки являются сопряженными полу диаметрами n и m единичного ЭР, направленными по нормальным к AC и BC соответственно.

Исходными данными для расчета параметров (a, b, ε) единичного ЭР являются: D_1 – дальность цели от ФК; β_1 – азимут цели с ФК, отсчитываемый от нормали к базе; база B – расстояние между ФК и КГ; n и m – сопряженные полу диаметры

единичного ЭР, равные СКО σ_D измерения дальности цели на ФК и КГ.

Примем СКО σ_D одинаковыми ($m = n$) и равными t (равноточные РЛС в составе дальномерной ДП системы ОНО).

Конфигурация ДП системы ОНО задана значениями величин D_1, β_1 и B . Предположим, что угол α найден. Тогда угол $\varepsilon = \alpha - \beta_1$. Поскольку $\alpha + \beta = \gamma$, то угол $\beta = \gamma - \alpha$. Угол γ определяется из решения треугольника ABC на основании теорем синусов и косинусов как

$$\gamma = \arcsin \frac{B \cos \beta_1}{\sqrt{B^2 + D_1^2 - 2BD_1 \sin \beta_1}}.$$

Из соотношения $\operatorname{tg} \alpha \cdot \operatorname{tg} \beta = b^2 / a^2$ находим большой полу диаметр ЭР

$$a = \sqrt[4]{\frac{(ab)^2}{\operatorname{tg} \alpha \cdot \operatorname{tg} \beta}},$$

где произведение (ab) определено из соотношения $m \cdot n \cdot \sin(\alpha + \beta) = ab$, т. е. $ab = t^2 \cdot \sin \gamma$.

И, наконец, из соотношения $m^2 + n^2 = a^2 + b^2$ находим малый полу диаметр ЭР

$$b = \sqrt{2t^2 - a^2}.$$

Можно показать, что угол α , знание которого необходимо для расчета параметров (a, b, ε) единичного ЭР, является решением нелинейного уравнения

$$\alpha = \arcsin \sqrt{\frac{1}{2} \left[\frac{1 + \operatorname{tg} \alpha \cdot \operatorname{tg}(\gamma - \alpha)}{1 - \operatorname{tg} \alpha \cdot \operatorname{tg}(\gamma - \alpha)} (\sin^2 \gamma - 1) + 1 \right]},$$

отыскиваемым методом простой итерации при начальном приближении $\alpha^{[0]} = 0$.

Итерационный процесс заканчивается (заданная точность $\zeta > 0$ считается достигнутой), когда два последовательных приближения $\alpha^{[s+1]}$ и $\alpha^{[s]}$ будут удовлетворять условию $|\alpha^{[s+1]} - \alpha^{[s]}| < \zeta$.

ОДНОПОСТОВАЯ СИСТЕМА ОНО

При обнаружении цели однопостовая система ОНО (РЛС) определяет дальность цели $D_{\text{ц}}$ и угол визирования цели $\beta_{\text{ц}}$.

Разрешающая способность РЛС по дальности δD значительно выше разрешающей способности в картинной плоскости и определяется шириной спектра Δf_c зондирующего сигнала: $\delta D \approx c / 2\Delta f_c$, где c – скорость света. Разрешающая способность в картинной плоскости (элемент разрешения РЛС по углу) определяется шириной главного лепестка ДН антенны.

Точность измерения координат цели (дальности $D_{\text{ц}}$ и азимута $\beta_{\text{ц}}$) в режиме обзора при некогерентной обработке пачки импульсов определяется СКО σ_D, σ_{β} , которые выражаются в виде [6]

$$\sigma_D = K_1 \tau_n / (\rho_{\text{сш}} \sqrt{n_n}); \quad \sigma_{\beta} = K_2 \Delta \psi_{0,5} / (\rho_{\text{сш}} \sqrt{n_n});$$

где K_1, K_2 – постоянные порядка 1, зависящие от формы импульса (соответственно – от формы ДН) и алгоритма обработки; τ_n – длительность импульса после сжатия фазоманипулированного сигнала, т. е. ширина главного пика функции неопределенности по оси задержек; $\Delta \psi_{0,5}$ – ширина ДН по уровню «–3 дБ»; $\rho_{\text{сш}}$ – отношение сигнал/шум; n_n – число импульсов в пачке.

Величины σ_D, σ_{β} при известных $\tau_n, \Delta \psi_{0,5}$ полностью определяются оценкой величины $\rho_{\text{сш}}$.

Одной из основных задач, решаемых в РЛС, является экстраполяция координат обнаруженных целей в фильтрах сопровождения. Фильтр сопровождения удобнее строить, используя декартовы, а не полярные (радиолокационные) координаты целей. Поэтому вектор полярных координат пересчитывается в вектор декартовых координат, который

после экстраполяции в фильтрах сопровождения на заданный момент времени снова пересчитывается в вектор полярных координат для определения пространственного положения цели.

Оценки декартовых координат цели $x_{ц}$, $y_{ц}$ в момент ее обнаружения:

$$x_{ц} = D_{ц} \sin \beta_{ц}; \quad y_{ц} = D_{ц} \cos \beta_{ц}.$$

Можно показать, что связанные с РЛС ошибки определения величин $x_{ц}$, $y_{ц}$ при малых ошибках измерения РЛС полярных координат цели $D_{ц}$, $\beta_{ц}$ являются центрированными и имеют ковариационную матрицу $\|k_{ij}\|$ со следующими элементами:

$$\begin{aligned} k_{11} &= \sigma_x^2 = \sigma_D^2 \sin^2 \beta_{ц} + D_{ц}^2 \sigma_{\beta}^2 \cos^2 \beta_{ц}; \\ k_{22} &= \sigma_y^2 = \sigma_D^2 \cos^2 \beta_{ц} + D_{ц}^2 \sigma_{\beta}^2 \sin^2 \beta_{ц}; \\ k_{12} &= k_{21} = k_{xy} = k_{yx} = (\sigma_D^2 - D_{ц}^2 \sigma_{\beta}^2) \sin \beta_{ц} \cos \beta_{ц}, \end{aligned}$$

где σ_D^2 , σ_{β}^2 – дисперсии измерения соответственно величин $D_{ц}$ и $\beta_{ц}$, являющиеся характеристиками РЛС.

Найденная матрица $\|k_{ij}\|$ по определенным выше правилам может быть использована для оценки области возможного положения цели в однопостовой системе ОНО.

ОБОСНОВАНИЕ ТОЧНОСТЕЙ ПЕРВИЧНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ В РЛС

В предыдущих разделах выявлена зависимость точности рассматриваемых систем ОНО от ошибок первичных измерений, т. е. получены результаты, относящиеся к задачам, которые в теории исследования операций [7] известны как «прямые» задачи (задачи анализа).

Определим требования к точностям измерения РЛС дальности и углового положения цели, обеспечивающим заданные требования к точностным характеристикам декартовых координат цели [8]. В теории исследования операций [7] такие задачи принято называть «обратными» (задачами синтеза).

Координаты цели $\mathbf{z} = [z_1, z_2]^T$, $z_1 \equiv x_{ц}$, $z_2 \equiv y_{ц}$ в двумерном евклидовом пространстве E_2 определяются по измерениям векторной величины $\mathbf{L} = [l_1, l_2]^T$, $l_1 \equiv D_{ц}$, $l_2 \equiv \beta_{ц}$, компоненты которой связаны с координатами z_j , $j=1,2$ зависимостью $l_j = f_j(z_1, z_2)$, $j=1,2$, в которой функции $f_j(\mathbf{z})^T$ обладают требуемыми аналитическими свойствами.

Будем полагать, что для РЛС заданы требования к точности определения координат $\mathbf{z}$ и необходимо определить точность измерения векторной величины $\mathbf{L}$ такую, при которой заданные требования к $\mathbf{z}$ будут выполняться.

Зададим требования к точности определения координат $\mathbf{z}$ областью $\varepsilon_z \subset E_2$, в которой с определенной вероятностью P_0 должна находиться погрешность $\Delta_z = \mathbf{z}^* - \mathbf{z}$, и считать, что эти требования выполняются при выполнении условия

$$P\{\Delta_z \in \varepsilon_z\} = P_0, \quad (8)$$

где $P\{\omega\}$ – вероятность появления случайного события ω ; $\mathbf{z}^*$ – оценка вектора $\mathbf{z}$, определяемая по результатам измерений $\tilde{\mathbf{L}}$ величины $\mathbf{L}$.

Будем полагать, что величины $\tilde{\mathbf{L}}$ и $\mathbf{L}$ связаны соотношением

$$\tilde{\mathbf{L}} = \mathbf{L} + \Delta_L,$$

где Δ_L – вектор погрешностей измерений.

Будем считать также, что Δ_z и Δ_L являются случайными нормальными векторами, математические ожидания компонентов которых равны нулю, а корреляционные матрицы $\mathbf{B}_{\Delta_z}$ и $\mathbf{B}_{\Delta_L}$ являются симметричными неособенными матрицами с вещественными элементами $b_{\Delta_{z,ij}}$ и $b_{\Delta_{L,ij}}$, $i, j=1,2$ соответственно.

Связь между матрицами $\mathbf{B}_{\Delta_z}$ и $\mathbf{B}_{\Delta_L}$ устанавливается матричным уравнением

$$\mathbf{B}_{\Delta_z} = (\mathbf{A}^T \mathbf{B}_{\Delta_L}^{-1} \mathbf{A})^{-1}, \quad (9)$$

где $\mathbf{A} = \frac{\partial \mathbf{L}}{\partial \mathbf{z}}$ – известная матрица частных производных с элементами $a_{ij} = \frac{\partial f_i(z_1, z_2)}{\partial z_j}$, $i, j=1,2$.

Поскольку при фиксированных значениях a_{ij} и z_j , $i, j=1,2$ значения погрешности Δ_z будут зависеть от матрицы $\mathbf{B}_{\Delta_L}$, то условие (8) можно записать в виде

$$P\{\Delta_z \in \varepsilon_z; b_{\Delta_{L,ij}}, i, j=1,2\} = P_0.$$

Искомая матрица $\mathbf{B}_{\Delta_L}$ является решением матричного уравнения (9):

$$\mathbf{B}_{\Delta_L} = \mathbf{A} \mathbf{B}_{\Delta_z} \mathbf{A}^T. \quad (10)$$

Поставленная задача решается в терминах задачи обоснования требуемой точности измерений РЛС, в которой декартовы координаты $x_{ц}$, $y_{ц}$ цели определяются по измерениям ее полярных координат $D_{ц}$, $\beta_{ц}$, которые связаны с координатами $x_{ц}$, $y_{ц}$ зависимостями

$$D_{ц} = \sqrt{x_{ц}^2 + y_{ц}^2}; \quad \beta_{ц} = \arctg \left(\frac{x_{ц}}{y_{ц}} \right).$$

Пусть область ε_z описывается уравнением эллипса с известными значениями полуосей a и b . Вероятность P_0 попадания погрешностей определения координат $x_{ц}$, $y_{ц}$ в заданную область ε_z считаем известной.

Полагаем, что корреляционная матрица $\mathbf{B}_{\Delta_z}$ случайного нормального вектора $\mathbf{z}$ является диагональной матрицей с элементами

$$b_{\Delta_{z,11}} = \frac{a^2}{q_0^2}; \quad b_{\Delta_{z,22}} = \frac{b^2}{q_0^2},$$

где $q_0 = \sqrt{-2 \ln(1 - P_0)}$.

В частности, при $P_0 = 0,994$ величина $q_0 = 3,2$ и $a = 3,2 \sigma_{x_{ц}}$, $b = 3,2 \sigma_{y_{ц}}$, где $\sigma_{x_{ц}}$, $\sigma_{y_{ц}}$ – СКО определения декартовых координат цели.

Решение задачи определяется выражением (10), в котором матрица $\mathbf{A}$ будет иметь вид

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} \frac{x_{ц}}{D_{ц}} & \frac{y_{ц}}{D_{ц}} \\ \frac{y_{ц}}{D_{ц}^2} & -\frac{x_{ц}}{D_{ц}^2} \end{bmatrix}.$$

Раскрывая выражение (10), получаем искомые значения элементов матрицы $\mathbf{B}_{\Delta_L}$:

$$\begin{aligned} b_{\Delta_{L,11}} &= \frac{x_{ц}^2 \sigma_{x_{ц}}^2 + y_{ц}^2 \sigma_{y_{ц}}^2}{D_{ц}^2}; \quad b_{\Delta_{L,22}} = \frac{x_{ц}^2 \sigma_{x_{ц}}^2 + y_{ц}^2 \sigma_{y_{ц}}^2}{D_{ц}^4}; \\ b_{\Delta_{L,12}} &= b_{\Delta_{L,21}} = -\frac{x_{ц} y_{ц} (\sigma_{x_{ц}}^2 - \sigma_{y_{ц}}^2)}{D_{ц}^3}. \end{aligned}$$

Диагональные элементы матрицы $\mathbf{B}_{\Delta_L}$ характеризуют соответственно дисперсии ошибок измерения дальности $D_{ц}$ и пеленга $\beta_{ц}$ цели.

В частном случае при $\sigma_{x_{ц}}^2 = \sigma_{y_{ц}}^2 = \sigma_{ц}^2$ получим

$$b_{\Delta_{L,11}} = \sigma_{ц}^2; \quad b_{\Delta_{L,22}} = \frac{\sigma_{ц}^2}{D_{ц}^2}; \quad b_{\Delta_{L,12}} = b_{\Delta_{L,21}} = 0,$$

и СКО измерения полярных координат цели равны

$$\sigma_{D_{ц}} = \sqrt{b_{\Delta_{L,11}}}; \quad \sigma_{\beta_{ц}} = \sqrt{b_{\Delta_{L,22}}}.$$

Таким образом, по заданным значениям a и b , характеризующим заданную область ε_z , описываемую уравнением эллипса, и вероятности P_0 получены искомые значения элементов матрицы $\mathbf{B}_{\Delta_L}$, которая характеризует требования к точности измерений РЛС полярных координат $D_{ц}$ и $\beta_{ц}$ цели для определения ее декартовых координат $x_{ц}$ и $y_{ц}$ с требуемой точностью.

В заключение приведем и обсудим результаты проведенных исследований.

Точностные характеристики двухпостовых и однопостовой (РЛС) систем ОНО

Параметр единичного ЭР	Тип системы ОНО							
	Угломерная двухпостовая		Дальномерная двухпостовая		Однопостовая (РЛС)			
	$\sigma_\beta = 1^\circ$	$\sigma_\beta = 2^\circ$	σ_D		$\sigma_D = 0,1$ км		$\sigma_D = 0,2$ км	
			0,1 км	0,2 км	$\sigma_\beta = 0,5^\circ$	$\sigma_\beta = 1^\circ$	$\sigma_\beta = 0,5^\circ$	$\sigma_\beta = 1^\circ$
a , км	7,90	15,80	0,14	0,28	0,87	1,74	0,87	1,74
b , км	1,17	2,34	0,02	0,04	0,10	0,10	0,20	0,20
ε , °	69,52	69,52	-21,50	-21,50	-30	-30	-30	-30

РАСЧЕТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Расчеты параметров единичного ЭР выполнены для конфигурации ДП системы ОНО и МПЦ в соответствии с рис. 2: база ДП системы ОНО B , км 30; дальность цели от ФК D_1 , км 10; угловое положение цели относительно ФК β_1 , 30° . Точностные характеристики корабельных средств локации выбраны следующие:

$\sigma_\beta = 1^\circ$ и 2° – СКО пеленгации излучающей цели пассивными средствами локации угломерной ДП системы ОНО; $\sigma_D = 0,1$ и $0,2$ км – СКО измерения дальности цели активными средствами локации дальномерной ДП системы ОНО; $\sigma_D = 0,1$ и $0,2$ км и $\sigma_\beta = 0,5^\circ$ и 1° – СКО измерения соответственно дальности и азимута цели однопостовой системой ОНО (РЛС).

Результаты расчетов представлены в таблице.

На основе анализа полученных результатов для рассмотренных условий можно заключить следующее:

- наибольшая точность определения МПЦ обеспечивается в дальномерной системе, а наименьшая – в угломерной системе. Для дальномерной системы и однопостовой системы (РЛС) соотношение размеров больших полудиаметров ЭР составляет $\sim 1:6$, а малых полудиаметров ЭР – $1:5$;
- размеры полудиаметров ЭР в двухпостовых системах прямо пропорциональны СКО измерения соответствующего параметра (азимута – в угломерной и дальности – в дальномерной системах). В угломерной системе большой полудиаметр ЭР составляет с линией визирования цели угол $9,52^\circ$, а в дальномерной системе – с направлением, перпендикулярным линии визирования цели, угол $8,5^\circ$;
- размер большого полудиаметра ЭР в однопостовой системе (РЛС) прямо пропорционален СКО измерения азимута цели σ_β и не зависит от СКО измерения дальности цели σ_D , а размер малого полудиаметра ЭР равен σ_D (не зависит от СКО σ_β). При $\sigma_D < \sigma_\beta D_1$ (где D_1 – дальность

цели) большой полудиаметр ЭР ориентирован перпендикулярно линии визирования цели, а при $\sigma_D \geq \sigma_\beta D_1$ – вдоль этой линии.

Большую точность определения МПЦ обеспечивает объединение активных или пассивных средств локации в МП системы ОНО нескольких (более двух) кораблей и использование для обработки информации статистических методов. Эффективность таких систем, в том числе и при учете ошибок измерения собственных координат постов, может быть оценена методом компьютерного моделирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Черняк В.С. Многопозиционная радиолокация. – М.: Радио и связь, 1993. – 416 с.
2. Подоплёкин Ю.Ф., Мальцев О.Г. Определение координат корабельных источников радионизлучения многопозиционной системой пеленгаторов, установленных на летательных аппаратах // Изв. РАРАН. – 2005. – Вып. 4 (45). – С. 103–108.
3. Багдасарян С.Т., Хачатуров В.Р. Оптимизация оценивания координат объекта многопозиционной радиолокационной системой при избыточности информации // Радиотехника и электроника. – 1992. – Т. 37. – № 10. – С. 1839–1846.
4. Володин Б.Г., Ганин М.П., Динер И.Я., Комаров Л.Б., Свешников А.А., Старобин К.Б. Сборник задач по теории вероятностей, математической статистике и теории случайных функций / Под общей ред. д.т.н. проф. А.А. Свешникова. – М.: Наука, 1965. – 632 с.
5. Минимизация ошибок местоопределения ЛА дальномерной системой внешних траекторных измерений методом наименьших квадратов / Цыбаев Б.Г. [и др.] // Вопросы радиоэлектроники. – Сер.: Общие вопросы радиоэлектроники. – 1984. – Вып. 12. – С. 32–40.
6. Справочник по радиолокации / Под ред. М. Скольника. – Т. 1. – М.: Сов. радио, 1976. – 476 с.
7. Вентцель Е.С. Исследование операций: Сер. «Математика, кибернетика». – М.: Знание, 1976. – №1. – 64 с.
8. Пиццык В.В. Об уравнении связи в задаче обоснования точности измерений при определении координат. – В кн.: Корреляционно-экстремальные системы и их проектирование. – Томск: Изд-во Томского ун-та. – 1988. – Вып. 10. – С. 126–131. ■

2 июля 2025 г. на 86-м году жизни скончался доктор технических наук, профессор, академик РАН, заслуженный деятель науки РФ Ю. Ф. Подоплёкин.

Он окончил Ленинградский институт авиационного приборостроения по специальности радиотехнические устройства (1962). Защитил кандидатскую (1975), затем докторскую диссертации (1995) по специальности радиолокационные системы. Впоследствии ему было присуждено звание профессора по этой специальности.

Более 63 лет своей деятельности Юрий Фёдорович посвятил работе в АО «Концерн «Гранит-Электрон». Его всегда отличали высокий профессионализм, постоянное стремление к повышению знаний, ответственность за порученное дело, которые в сочетании с активной жизненной позицией позволили ему пройти большой научный и производственный путь от инженера до начальника научно-исследовательской лаборатории, затем отдела и отделения по разработке бортовых систем управления противокорабельных крылатых ракет (ПКР). В качестве ответственного исполнителя и заместителя главного конструктора он принял участие в создании системы управления первой отечественной ПКР с подводным стартом (1962–1969). В 2021–2024 гг. руководил научным отделением РАН «Система вооружения и для решения задач борьбы на океанских и морских ТВД».

Юрий Фёдорович лично участвовал в создании систем управления трех поколений ПКР: головки самонаведения (ГСН) ракетного комплекса «Аметист»; был главным конструктором ГСН РК «Гранит», научным руководителем комплекса систем управления РК «Оникс». Под его руководством было проведено большое количество научно-исследовательских работ по развитию структуры бортовой аппаратуры систем управле-

ПАМЯТИ Ю. Ф. ПОДОПЛЁКИНА

*С. Н. Шаров, д-р техн. наук, проф., член-корр. РАН, гл. научный сотрудник,
С. Г. Чечурин, помощник ген. директора,
АО «Концерн «Гранит-Электрон»,
контакт. тел. (812) 271 4585*



ния (БАСУ) и ее составных элементов. По результатам этой деятельности опубликовано более 300 научных трудов, в числе которых практически половина – это свидетельства изобретения, внедренные в ПКР всех трех поколений.

При активном и непосредственном участии Юрия Фёдоровича на базе ГСН ПКР «Оникс» была разработана ГСН для ПКР совместной российско-индийской ракеты «БраМос», которая успешно применяется в ВМС и сухопутных войсках Индии.

Им решены проблемы повышения помехозащищенности и точности наведения ПКР на основе моноимпульсной ГСН с двухконтурной системой углового сопровождения. В качестве научного руководителя и главного конструктора руководил коллективом разработчиков многоканальных радиотехнических систем управления ПКР.

Под руководством Ю. Ф. Подоплёкина созданы уникальные динамические стенды апробации аппаратуры в полунатурных условиях. Разработанная при его личном участии аппаратура используется в современных комплексах ПКР, находящихся на вооружении и являющихся основным ударным оружием тяжелых атомных ракетных крейсеров и подводных лодок ВМФ России.

В 1998–2007 гг. он – директор по науке – заместитель генерального директора ФГУП «ЦНИИ «Гранит». С 2007 по 2020 г. – первый заместитель генерального директора, с 2020 г. – главный специалист по НИОКР АО «Концерн «Гранит-Электрон».

Еще в 2019 г. концерн выполнил НИР «Нейросеть» совместно с Санкт-Петербургским научным центром РАН, показавшую возможность ис-

пользования обучающей нейронной сети для эффективного решения задач селекции и классификации КЧФМ эхо-сигналов. Опыт, накопленный АО «Концерн «Гранит-Электрон», 5-м научным отделением РАН и БГТУ «ВОЕНМЕХ» Ю. Ф. Подоплёкин совместно с соавторами обобщили в книге «Интеллектуальные информационные управляющие системы со сложными локационными сигналами для беспилотных летательных аппаратов». В ней показан рост требований к автономным информационным системам управления беспилотных летательных аппаратов в части качества распознавания наблюдаемых объектов, увеличения объема и разнообразия априорной и текущей информации, оперативного принятия решений, использования наилучших алгоритмов управления летательным аппаратом для достижения заданной цели.

В последнее время научная и практическая работа Ю. Ф. Подоплёкина была направлена на дальнейшее повышение эффективности боевого применения ПКР; разработке бортовых локационных систем со сложными сигналами, внедрению подшумовой локации; совершенствованию информационного обеспечения и группового использования ПКР в современных условиях радиоэлектронного противодействия и радиоэлектронной борьбы на океанских и морских ТВД. Ю. Ф. Подоплёкин осуществлял научное руководство интегрированием информационных систем целеуказания, бортовых и корабельных управляющих систем с внедрением методов искусственного интеллекта.

За свои заслуги он был награжден орденом «Знак Почета» (1984), медалями «За заслуги в создании вооружения и военной техники» (1989, 1994), «Ветеран труда РФ» (1999), имени выдающегося оружейника В. П. Грязева (2025), «300 лет флоту», «300 лет Санкт-Петербургу» и другими. Ему было присуждено звание «Почётный судостроитель». Профессиональные успехи были также отмечены премиями Правительства РФ (2000), «Золотая идея» (2007), Имени академика В. Н. Челомея (1985, 1992).

Имя Юрия Фёдоровича Подоплёкина навсегда вписано в историю АО «Концерн «Гранит-Электрон». Светлую память о нем сохраняют все те, кто был связан с ним по совместной работе. ■



Анализируемые варианты решений всегда имеют достоинства и недостатки, при этом оператору (или лицу, принимающему решение) требуется из всей совокупности полученной информации выбрать один, наиболее подходящий и отвечающий текущей и прогнозируемой обстановке вариант с минимальными рисками и максимальными возможностями.

В этом случае исследование объекта как самостоятельной единицы без учета взаимодействия его компонентов является чуть ли не определяющей ошибкой неверного программно-целевого планирования, особенно в процессах развития военно-морского флота. Строительство кораблей, оснащение их вооружением, военной и специальной техникой должно проводиться не только с учетом задач отдельной тактической единицы, но и тактической, оперативно-тактической группы, элементом которой является данный новый носитель.

Корабль как тактическую единицу необходимо оценивать с позиции боевых возможностей различных вариантов его вооружения и, следовательно, новых возможностей, которые приобретает флот, в состав которого планируется поступление кораблей с выбранным составом вооружения.

Такая постановка задачи в последнее время становится проблемной вследствие ее трудоемкости и длительности сроков. С одной стороны, необходимо рассмотреть риски от реализации мнений узконаправленных специалистов при выборе состава вооружения корабля и количества носителей на каждый год, с другой – оценить боевые возможности, боевую устойчивость формируемого соединения (объединения) флота и его новые возможности.

В первом случае *при выборе состава вооружения* полагается целесообразным адаптировать под задачу математический аппарат хорошо зарекомендовавших себя методов экспертных оценок, например, анализа иерархий, аналитических сетей [5–7], в исключительных случаях – прямого сопоставления свойств.

Во втором случае для *оценки боевых возможностей и боевой устойчивости* сил докторм военных наук, профессором В.И. Полениным предложены модели и методические основы прогноза при выполнении огневых задач в морском бою [2, 3]. И на основе уже полученных сведений об объекте исследования как элемента сложной системы *оценить риски* одним или несколькими из возможных методов, например, аддитивным или мультипликативным [6].

На рис. 1 схематично показан один из подходов к комплексной оценке боевых свойств кораблей.

ОДИН ИЗ ПОДХОДОВ К КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКЕ КОРАБЛЕЙ

О.В. Третьяков, докт. техн. наук, доцент,

М.В. Шебуляев, канд. техн. наук,

П.И. Щукин, канд. техн. наук, доцент,

В.А. Фокин, адъюнкт,

НИИ (кораблестроения и вооружения) ВУНЦ ВМФ «ВМА им. Н.Г. Кузнецова»,
контакт. тел. (812) 232 7946

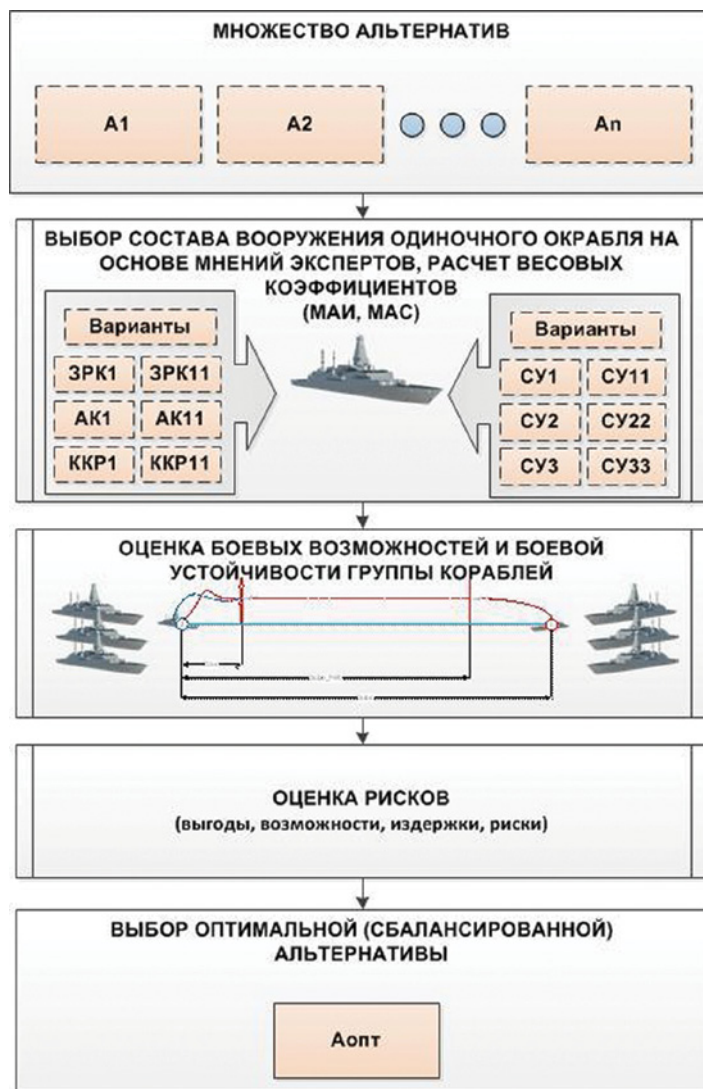


Рис. 1. Один из вариантов комплексной оценки боевых свойств кораблей

Рассмотрим особенности каждого этапа оценки.

1. Выбор состава вооружения одиночного корабля на основе мнений экспертов, расчет весовых коэффициентов.

Одно из первых упоминаний о научном подходе к решению задачи по комплексной оценке боевых свойств кораблей встречается в документе 1914 г. [1]. Предлагаемый автором вариант оценки получил название «метода боевого коэффициента» или «прямого сопоставления свойств». Его идея заключается в том, что сила какого-либо эталонного корабля принимается равной единице. Сила всякого другого корабля может быть учтена тем или иным способом по

сравнению с принятым за норму, боевым коэффициент которого принят за единицу [1]. Здесь под *боевым коэффициентом* понимается «цифра», выражающая силу оцениваемого корабля.

Это позволяет каждый корабль обозначить некоторым показателем, который рассчитывается как сумма боевых коэффициентов находящихся на нем средств поражения [1]:

$$K_i = k_1 + k_2 + \dots + k_n = \sum_{i=1}^n k_i, \quad (1)$$

где k_i – боевые коэффициенты каждого отдельного средства поражения.

Анализ показал, что до настоящего времени главный принцип вычисления подобных весовых коэффициентов не

Таблица 1

Количество систем управления и боекомплектов зенитных ракет на кораблях

Носитель	Количество	
	систем управления	зенитных ракет
Корабль №1	1	1,0·N
Корабль №2	2	0,7·N
Корабль №3	4	2,0·N
Максимальное значение	4	2,0·N

Таблица 2

Расчет поправочных коэффициентов

Носитель	Поправочные коэффициенты	
	систем управления	зенитных ракет
НК1	(1/4)=0,250	(1,0·N)/(2,0·N)=0,500
НК2	(2/4)=0,500	(0,7·N)/(2,0·N)=0,350
НК3	(4/4)=1,000	(2,0·N)/(2,0·N)=1,000
Максимальное значение	4,000	2,000·N

Таблица 3

Учет количества систем управления и боекомплектов на носителях

Носитель	Поправочные коэффициенты		Промежуточные вычисления	Поправочный коэффициент
	систем управления	зенитных ракет		
НК1	0,250	0,500	$k_{зрк} \cdot 0,250 \cdot 0,500$	$0,125 \cdot k_{зрк}$
НК2	0,500	0,350	$k_{зрк} \cdot 0,500 \cdot 0,350$	$0,175 \cdot k_{зрк}$
НК3	1,000	1,000	$k_{зрк} \cdot 1,000 \cdot 1,000$	$1,000 \cdot k_{зрк}$

претерпел существенных изменений, за тем исключением, что сейчас учитывается гораздо большее количество критериев, применяются специализированное программное обеспечение и различный математический аппарат, разработанный, как правило, специалистами предприятий промышленности.

Под *весовым коэффициентом вооружения* будем понимать обобщенную числовую величину, полученную как результат оценки *однотипных* образцов вооружения и военной техники. Следуя традиции, и для упрощения вычислений примем, что сумма весовых коэффициентов однотипных образцов вооружения (ВВСТ), входящих в состав носителя, должна быть неотрицательной, нормированной к единице величиной:

$$\sum_{i=1}^n k_i^{CP} = 1; \\ k_i^{CP} \leq 1; \\ k_i^{CP} \neq \text{Const}, \quad (2)$$

где k_i^{CP} – весовые коэффициенты однотипных образцов ВВСТ.

По аналогии с методом боевого коэффициента можно определить и *весовой коэффициент корабля*, под которым примем величину, полученную как сумму весовых коэффициентов всех образцов его вооружения.

Из определения и принятых свойств весовых коэффициентов ВВСТ следует, что максимальное значение весового коэффициента корабля будет ограничено только количеством размещенных на нем технических средств:

$$K_{\Sigma} = k_1 + k_2 + \dots + k_n = \sum_{i=1}^n k_i \quad (3) \\ K_{\Sigma} \in [0, \infty).$$

В этом виде весовой коэффициент корабля характеризует его исключительно как общая величина и может использоваться только для обобщенных (формализованных) расчетов, он не обладает наглядностью и не представляет ценности для проведения анализа. Поэтому данные весовые коэффициенты правильнее отображать в виде вектора:

$$K_{НК}^{PAB} = (k_{KP} \ k_{ЗРК} \ k_{AK} \ \dots \ k_n). \quad (4)$$

Элементами вектора (4) являются весовые коэффициенты отдельных ВВСТ (например, комплексов крылатых ракет, зенитных ракетных комплексов, артиллерийских комплексов, зенитных артиллерийских комплексов и так далее), рассчитанные по формуле

$$\begin{cases} k_{KP} = k_{KP1} + k_{KP2} + \dots + k_{KPN_{KP}}; \\ k_{ЗРК} = k_{ЗРК1} + k_{ЗРК2} + \dots + k_{ЗРК_{N_{ЗРК}}}; \\ k_{AK} = k_{AK1} + k_{AK2} + \dots + k_{AK_{N_{AK}}}; \\ k_{ЗАК} = k_{ЗАК1} + k_{ЗАК2} + \dots + k_{ЗАК_{N_{ЗАК}}}. \end{cases} \quad (5)$$

Математический аппарат получения коэффициентов реализован с помощью

методов анализа иерархий и достаточно подробно описан в первоисточниках [5–7]. Кроме того, коэффициенты приобретают важное свойство зависимости от задачи, которую должен решить (или выполнить) исследуемый объект (т. е. от главной цели исследования).

Метод основан на декомпозиции задачи и представлении ее в виде иерархической структуры, что позволяет включить в иерархию все имеющиеся знания о решаемой проблеме и последующей обработке суждений оператором. В результате выявляется относительная степень взаимодействия элементов в иерархии, которые затем выражаются численно. Метод анализа иерархий включает процедуры синтеза множественных суждений, выработки приоритетности критериев и нахождения альтернативных решений.

Весь процесс решения подвергается проверке и переосмыслению на каждом этапе, что позволяет выполнять оценку качества решения, что требует от оператора объективности и проверки расчетов на наличие возможных противоречий и правильно расставленных приоритетов в самом начале задачи. Тем не менее такой подход, без учета поправок на боекомплекты, а также количество систем управления, требует взвешивания рассчитанных исходных значений соответствующими поправками.

Предположим, что для комплекса зенитных ракет был рассчитан весовой коэффициент $k_{зрк}$. Этот комплекс установлен на кораблях в следующей комплектации:

- корабль №1: одна система управления с боекомплектом N зенитных ракет;
- корабль №2: две системы управления с боекомплектом 0,7·N зенитных ракет;
- корабль №3: четыре системы управления с боекомплектом 2,0·N зенитных ракет.

Для наглядности, представим данную информацию в виде табл. 1.

С учетом количества систем управления на выбранных носителях и боекомплектов весовые коэффициенты для данных комплексов примут значения, как показано в табл. 2.

Взвешивая исходные коэффициенты зенитного ракетного комплекса поправочными коэффициентами, получаем весовые коэффициенты этих зенитных ракетных комплексов для каждого из трех носителей, как показано в табл. 3.

На этом этапе оператор может сформировать оптимальный (сбалансированный) состав основных комплексов вооружения проектируемого корабля с учетом мнений (выводов, расчетов) узконаправленных специалистов.

2. Оценка боевых возможностей и боевой устойчивости группы кораблей.

Современная традиция исследования операций состоит в измерении риска с помощью вероятностных показателей эффективности, в использовании критериального правила, основанного на достижении целевыми показателями заданного порогового значения. Выбор наряда сил, способа действий, соответс-

твующих уровню вероятности успешного выполнения задачи не ниже некоторого уровня (например, 0,8 или 0,9), является противоречивым выражением цели применения вероятностных методов в исследовании операций [4].

Вместе с тем в оперативно-тактических моделях неопределенности статистической закономерности стохастизмом не обладают, а «знание» законов и параметров вероятностных распределений факторов является, скорее, декларативным, чем объективным основанием. По этой причине вероятностные показатели эффективности могут использоваться только для упорядочения альтернатив действий, альтернатив поведения по степени риска, но не могут служить для его абсолютного измерения [3].

Отчетливо наблюдается тенденция использования показателей эффективности вероятностной природы в форме абсолютных значений, которая приобрела общеметодологический характер. Налицо разрыв реальных рисков с их индексными оценками при моделировании. Уже сейчас можно обозначить две группы недостатков традиционных методов:

- *неразделенность методик*, направленных, с одной стороны, на обеспечение оценки обстановки и выводов из нее, с другой – на обоснование решения главной задачи;
- *отсутствие методик, обеспечивающих оценку* возможности выполнения силами поставленных задач на заданных уровнях боевых возможностей и боевой устойчивости своих сил.

В настоящее время опубликована только одна работа (в трех редакциях), которая позволяет максимально устранить данные недостатки [2, 3]. Автором метода является доктор военных наук, профессор В.И. Поленин. Применительно к этапу оценки обстановки в монографиях предложены две модульные методики оценки боевых возможностей и боевой устойчивости сил при огневом поражении противника в морском бою:

- Чейза–Осипова–Ланчестера – на истощение;
- Фиске–Хьюза – с упреждающим или ответным ударами.

Целевым назначением методик является этап *оценки обстановки*.

Обе методики достаточно объективно отвечают на вопрос о том, способна ли тактическая единица (группа, группировка) выполнить поставленную огневую задачу и, если способна, то какой ценой.

Обе методики используют единый подход к оценке боевого потенциала и вероятности поражения цели. Под *вероятностью поражения* и *боевым потенциалом* здесь понимаются квалимет-

рические величины, характеризующие потенциальную способность средства поражения нанести ущерб противнику. В монографии [2, 3] уточняется взаимосвязь боевого потенциала u_n с вероятностью поражения w_n :

$$u_n = -\ln(1 - w_n) = -n \ln\left(1 - \frac{p}{\omega}\right) \approx \frac{n \cdot p}{\omega}, \quad (6)$$

$$w_n = 1 - (1 - w_1)^n = 1 - \left(1 - \frac{p}{\omega}\right)^n,$$

где ω – среднее необходимое число попаданий, n – число выстрелов, p – вероятность попадания в цель при одном выстреле, w_1 – вероятность поражающего попадания при одном выстреле.

Приближенное значение боевого потенциала (6) получено с использованием формулы (7) для натурального логарифма:

$$\ln x = (x-1) - \frac{1}{2}(x-1)^2 + \frac{1}{3}(x-1)^3 - \dots = \sum_{k=1}^{\infty} (-1)^{k+1} \frac{(x-1)^k}{k}, \text{ при } x \in [0; 2]. \quad (7)$$

Несложно заметить, что оба показателя зависят от среднего необходимого числа попаданий. Проведя простейшие преобразования, через боевой потенциал всегда можно получить значение вероятности поражения цели одним снарядом (ракетой):

$$w_1 = 1 - e^{-\frac{u}{n}}, \quad (8)$$

где n – количество выпущенных по цели средств поражения.

Отсюда следует свойство аддитивности боевых потенциалов по *однотипным* средствам поражения (или *средам*):

$$w_n = 1 - e^{-u_\Sigma},$$

$$u_\Sigma = \frac{u_\Sigma}{n_i} + \frac{u_\Sigma}{n_i} + \dots + \frac{u_\Sigma}{n_i} = \sum_{i=1}^m \frac{u_\Sigma}{n_i}, \quad (9)$$

где u_Σ – суммарный боевой потенциал i -го средства поражения в количестве n единиц.

Основные уравнения для прогнозной оценки боевых возможностей и боевой устойчивости сил при выполнении огневых задач в морском бою приведены в формулах (10) – (12).

Уравнения Фиске–Хьюза:

$$\begin{cases} n_2 = N_{2,0} - \left(n_{\text{ПКР}_1} \cdot N_{1,0} - \frac{\mu_{\text{ЗУР}_2} \cdot N_{2,0}}{\omega_{\text{ПКР}_1}} \right) \cdot \frac{1}{\omega_{\text{ТЕ}_2}}; \\ n_1 = N_{1,0} - \left(n_{\text{ПКР}_2} \cdot n_2 - \frac{\mu_{\text{ЗУР}_1} \cdot N_{1,0}}{\omega_{\text{ПКР}_2}} \right) \cdot \frac{1}{\omega_{\text{ТЕ}_1}}, \end{cases} \quad (10)$$

где $N_{1,0}$, $N_{2,0}$ – исходные численности сторон; n_1 , n_2 – численность сил сторон, сохраняющих боеспособность после обмена ударами, итоговые (финальные) численности сил сторон; $n_{\text{ПКР}_1}$, $n_{\text{ПКР}_2}$ – количества ПКР, применяемых каждой тактическими единицами каждой из сторон; $\mu_{\text{ЗУР}_1}$, $\mu_{\text{ЗУР}_2}$ – количество ЗУР, вы-

пускаемых каждой тактической единицей сторон 1 и 2, соответственно; $\omega_{\text{ПКР}_1}$, $\omega_{\text{ПКР}_2}$ – среднее необходимое число пусков зенитных ракет для поражения ПКР сторон 1 и 2, соответственно; $\omega_{\text{ТЕ}_1}$, $\omega_{\text{ТЕ}_2}$ – стойкость тактических единиц (кораблей) сторон к поражающему воздействию ПКР противника; иначе – среднее необходимое число попаданий ПКР в корабли для их поражения.

Уравнения Чейза–Осипова–Ланчестера (*квадратичный закон*):

$$\begin{cases} n_{2,0} = \sqrt{N_{2,0}^2 - \frac{u_1}{u_2} (N_{1,0}^2 - n_1^2)}; \\ n_1 = \sqrt{N_{1,0}^2 - \frac{u_2}{u_1} (n_{2,0}^2 - n_2^2)}, \end{cases} \quad (11)$$

уравнения Чейза–Осипова–Ланчестера (*линейный закон*):

$$\begin{cases} n_{2,0} = N_{2,0} - \frac{u_1}{u_2} \cdot (N_{1,0} - n_1); \\ n_1 = N_{1,0} - \frac{u_2}{u_1} \cdot (n_{2,0} - n_2), \end{cases} \quad (12)$$

где $N_{1,0}$, n_1 – начальное и итоговое число кораблей на первой стороне; $N_{2,0}$, $n_{2,0}$, n_2 – начальное и итоговое число кораблей на второй стороне и остаток боеспособных сил второй стороны после обмена ударами; u_1 , u_2 – боевые потенциалы сторон.

Примечательно, что формулы (10), (11) и (12) позволяют реализовать как нелинейный, уточненный подход (через натуральный логарифм, с использованием компьютера), так и экспресс-оценку с использованием приближенной формулы для натурального логарифма и примитивных средств вычисления, а задача оценки боевых возможностей и боевой устойчивости приобретает следующие отличительные особенности [2, 3]:

- уравнения содержат только факторы и параметры, имеющие объективную основу;
- на этапе оценки обстановки, получаемые при решении уравнений результаты, более чем достаточны для уверенного перехода к формированию замысла и принятию решения;
- можно видеть единство методологии в моделях и уравнениях Чейза–Осипова–Ланчестера и Фиске–Хьюза, состоящее в возможности полного исключения из исходных данных параметров и факторов субъективной природы, проявление и значения которых определяются будущими условиями боевого столкновения, неопределенными поведением и действиями противника.

3. Использование весовых коэффициентов кораблей и результатов прогнозной оценки боевых возможностей и боевой устойчивости сил позволяет оценить риски принимаемого решения.

В фундаментальном труде [6] впервые была введена аббревиатура BOCR,

которая раскрывается, как Benefits (Выгоды), Opportunities (Возможности), Costs (Издержки) и Risks (Риски). В нашем случае построение отдельных иерархических или сетевых структур на первом этапе по каждой категории BOCR позволит получить соответствующие стохастические векторы.

Приоритеты по данным категориям объединяются в соотношении (13), традиционно применяемом в экономике при анализе «выгоды–издержки»:

$$BOCR = \frac{\text{Выгоды} \times \text{Возможности}}{\text{Издержки} \times \text{Риски}}. \quad (13)$$

В [6] справедливо утверждается, что для объединения выгод, возможностей, издержек и рисков в методе аналитических сетей и его частном случае – методе анализа иерархий, целесообразно рассчитать приоритеты категорий и использовать их в качестве весовых коэффициентов для вычисления обобщенных приоритетов альтернатив, не забывая об инверсии значений приоритетов по издержкам и рискам.

Рассмотрим два основных способа оценки рисков: мультипликативный и аддитивный, а также исправим замеченные ошибки в первоисточнике [6].

Следуя логике Томаса Л. Саати, для Выгод B , Возможностей O , Издержек C и рисков R примем веса p_i ($i = 1, 2, 3, 4$), в сумме дающие единицу. Разложим показательную функцию в ряд и используем свойство логарифма, для значений переменной на интервале $(0, 2]$ [6, с. 183]:

$$\exp\left(\ln \frac{B^{p_1} \cdot O^{p_2}}{C^{p_3} \cdot R^{p_4}}\right) \approx 1 + \ln \frac{B^{p_1} \cdot O^{p_2}}{C^{p_3} \cdot R^{p_4}};$$

$$\ln X \approx X - 1;$$

$$\sum_{i=1}^4 p_i = 1. \quad (14)$$

Далее перепишем соотношение (14):

$$\exp\left(\ln \frac{B^{p_1} \cdot O^{p_2}}{C^{p_3} \cdot R^{p_4}}\right) \approx 1 + p_1 \cdot \ln(B) + p_2 \cdot \ln(O) - p_3 \cdot \ln(C) - p_4 \cdot \ln(R) \approx$$

$$\approx 1 + p_1 \cdot (B-1) + p_2 \cdot (O-1) - p_3 \cdot (C-1) - p_4 \cdot (R-1) =$$

$$= p_1 \cdot B + p_2 \cdot O - p_3 \cdot C - p_4 \cdot R + 1 - p_1 - p_2 + p_3 + p_4. \quad (15)$$

Следовательно, для аддитивного способа оценки рисков будем иметь

$$F_A^{Add2} = p_1 \cdot B + p_2 \cdot O - p_3 \cdot C - p_4 \cdot R + 1 - p_1 - p_2 + p_3 + p_4. \quad (16)$$

Формула (16) отличается от аналогичной в [6, с. 183] тем, что в (16) появляется остаточный член $(1 - p_1 - p_2 + p_3 + p_4)$, ранее автором утерянный.

Не соответствует истине и соотношение (17) первоисточника, так как тождество для обратных значений издержек и рисков также не выполняется. Это легко проверить, подставив вместо переменных реальные значения аргументов:

$$\frac{B^{p_1} \cdot O^{p_2}}{C^{p_3} \cdot R^{p_4}} \neq p_1 \cdot B + p_2 \cdot O + \frac{p_3}{C} + \frac{p_4}{R}. \quad (17)$$

Для обобщения приоритетов альтернатив при оценке рисков вместо предложенных четырех вариантов [6, с. 195] более корректно использовать формулу для принципа «справедливого компромисса» между достоинствами и недостатками решения:

$$F_A^{Mult} = \frac{B^{p_1} \cdot O^{p_2}}{C^{p_3} \cdot R^{p_4}} \quad (18)$$

в совокупности с формулой (16) для оценки разности достоинств и недостатков.

Полученные результаты подвергаются сомнению и критику Т. Саати мультипликативного взвешивания оценки рисков в [6, с. 185] как способа, приводящего к некорректным результатам. Об утверждении обратного свидетельствует метод вывода по формуле (15), где возведение экспоненты в степень натурального логарифма соотношения (18) по своей сути является этим же самым соотношением. Разницу (хоть и небольшую) аддитивного и мультипликативного способов можно объяснить приближенными формулами для получения соотношения (16), справедливого на интервале $(0, 2]$.

Подводя итог, можно сделать следующие выводы:

1. Впервые предложен подход, позволяющий выполнить комплексную и научно обоснованную оценку боевых свойств кораблей и состава их вооружения.

2. Данный подход использует только факторы и параметры, имеющие объективную основу, а результаты более чем достаточны для уверенного перехода к формированию замысла и принятию решения.

Налицо единство методологии в методах и уравнениях Чейза–Осипова–

Ланчестера и Фiske–Хьюза, состоящее в возможности полного исключения из исходных данных параметров и факторов субъективной природы, проявление и значения которых определяются будущими условиями боевого столкновения, неопределенными поведением и действиями противника.

3. В ходе исследования уточнена формула для обобщения приоритетов альтернатив аддитивным способом; показано, что формула для использования обратных значений издержек и рисков [6, с. 183] не верна.

Как следствие, критика мультипликативного взвешивания оценки рисков [6, с. 185] как способа, приводящего к некорректным результатам, сомнительна и требует дополнительной проработки.

Для оценки выгод, возможностей, издержек и рисков наиболее правильно использовать совокупность двух методов: мультипликативного и аддитивного, которые имеют очевидную взаимосвязь.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вооруженные силы иностранных государств. – М., 1914. – Вып. 1.
2. Поленин В.И. Модели и методические основы прогнозной оценки боевых возможностей и боевой устойчивости сил при выполнении огневых задач в морском бою. – Боевое управление: этап оценки обстановки: монография. – СПб.: Медианапир, 2023. – 160 с.
3. Поленин В.И. Модели и методические основы прогнозной оценки боевых возможностей и боевой устойчивости сил при выполнении огневых задач в морском бою. – Боевое управление: этап оценки обстановки: монография. – СПб.: Медианапир, 2024. – 196 с.
4. Поленин В.И. Роль и место вероятностных методов и оценок в оперативно-тактических моделях// Системный анализ при создании кораблей, комплексов вооружения и военной техники ВМФ. – СПб.: ВМА, 2005. – Вып. 16. – С. 13 – 33.
5. Саати Т., Кернс К. Аналитическое планирование. Организация систем: учеб. изд. – М.: Радио и связь, 1991. – 224 с.
6. Саати Т. Принятие решений при зависимостях и обратных связях. – М.: Изд. ЛКИ, 2008. – 360 с.
7. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. – М.: Радио и связь, 1993. – 278 с. ■

Движитель и корпус подводного аппарата находятся в сложном гидродинамическом взаимодействии, поэтому при исследовании характеристик излучения звука такими объектами целесообразно рассматривать в целом систему «двигатель–корпус». Компонента внешнего гидроакустического поля, связанная с переизлучением корпусом шума от движителя, в некоторых случаях может превышать уровень шума первичного источника за счет резонансов корпусных конструкций. Как известно, наиболее распространенными типами движителей в настоящее время являются гребные винты. При решении задач, связанных с акустическими характеристиками подводных аппаратов (мониторинг водной среды, поисковые работы, патрулирование и т.д.), существенную роль играют низкочастотные дискретные составляющие шума вращения гребных винтов: «объемная» и «силовая», которые проявляются на частотах, кратных числу оборотов винта и количеству его лопастей. Физическая основа «объемного» шума обусловлена периодическими вытеснениями объемов жидкости в области диска винта вследствие телесности его лопастей (монополюсный источник), «силовая» – воздействием лопасти на среду (дипольный источник) [1, 2]. Несмотря на то, что в шуме винта обычно доминирует уровень «силовой» составляющей, шум вытеснения является одним из важных компонентов акустического излучения системы «двигатель–корпус» и требует отдельного анализа.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Определение гидроакустического поля системы «двигатель–упругий корпус» строгими аналитическими методами представляет значительные математические и вычислительные трудности и возможно лишь в некоторых частных случаях для тел простейших геометрических форм (сфера, сфероид, бесконечный цилиндр) [3–6]. В данной статье для оценки возможности применения численного подхода в первом приближении рассмотрена задача рассеяния звука упругим телом неаналитической формы под действием сосредоточенных источников, имитирующих низкочастотные пульсации, обусловленные «объемной» составляющей шума вращения. Данный подход реализован в рамках численного решения граничного интегрального уравнения относительно перемещений и напряжений в узловых точках криволинейных граничных элементов на фрагментах поверхности модели S (рис. 1):

$$p_s(P) = \frac{1}{4\pi} \int_S \left[p_s(Q) \frac{\partial}{\partial n} (e^{ikr}/r) - \rightarrow \leftarrow - (e^{ikr}/r) \rho_0 \omega^2 (\mathbf{u} \cdot \mathbf{n}) \right] dS + 4\pi p_i(P), \quad (1)$$

ХАРАКТЕРИСТИКИ РАССЕЯНИЯ ДИСКРЕТНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ ШУМА ГРЕБНОГО ВИНТА МОДЕЛЬЮ КОРПУСА ПОДВОДНОГО АППАРАТА

С. Л. Ильменков, д-р техн. наук, проф. СПбГМТУ, контакт. тел. +7 (921) 963 9365, sl_ilmenkov@mail.ru

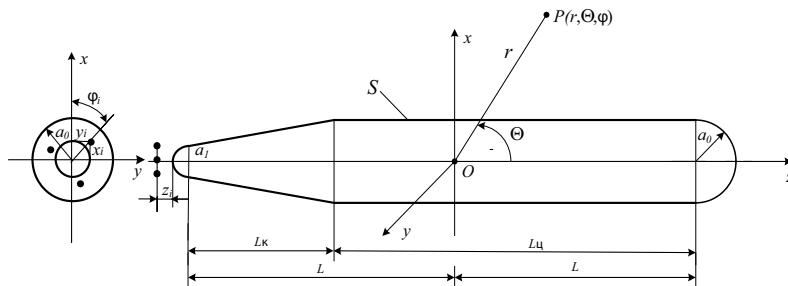


Рис. 1. Расчетная схема для модели корпуса подводного аппарата

где $p_s(P)$ – звуковое давление рассеянной волны в точке наблюдения P дальнего поля модели; r – радиус-вектор точки дальнего поля; S – замкнутая поверхность с непрерывной внешней нормалью $\mathbf{n}$; $p_s(Q)$ – дифрагированное звуковое давление в точке Q поверхности S ; $\mathbf{u}$ – вектор смещения упругой среды; $k = 2\pi f/c$; $\omega = 2\pi f$, f – частота звукового сигнала, Гц; ρ_0 , c – плотность и скорость звука во внешней жидкой среде соответственно; $p_i(P)$ – звуковое давление в падающей волне.

Суммарное звуковое поле в точке наблюдения $p_\Sigma(P)$ будет определяться интерференцией поля излучения точечных источников в жидкую среду $p_i(P)$ и поля рассеяния на упругом теле, возбуждаемом этими источниками $p_s(P)$, т.е. $p_\Sigma(P) = p_i(P) + p_s(P)$. Использование криволинейных граничных элементов обеспечивает более детальную дискретизацию граничной поверхности S и повышает точность результата при сокращении времени вычислений (рис. 2).

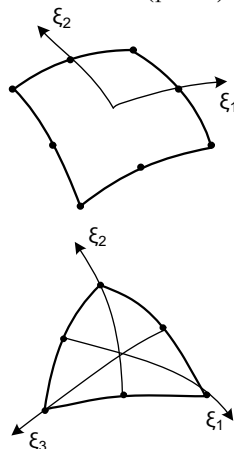


Рис. 2. Криволинейные изопараметрические граничные элементы

Более подробно основные положения рассматриваемого подхода приведены в [7–10] при решении задачи от-

ражения звука от упругой конечной цилиндрической оболочки.

Исследуемая модель, аппроксимирующая корпус подводного аппарата, включает в себя следующие элементы и параметры (см. рис. 1):

1) упругие изотропные оболочки толщиной h , заполненные воздухом и состыкованные между собой в общую поверхность S :

- а) цилиндрическую – длиной L_Σ и радиусом a_0 ;
- б) полусферические с радиусами a_0 и a_1 ;
- в) коническую – длиной L_Σ и радиусами оснований a_0 и a_1 ;
- г) $L = 10 \cdot a_0$; $a_1 = 0,25 \cdot a_0$; $h' = h/a_0$;
- д) $r = 2 \cdot L_\Sigma^2 / \lambda$ (где $L_\Sigma = 2 \cdot L + a_0 + a_1$; $\lambda = \omega/c$ – длина звуковой волны в жидкости).

2) точечные источники гармонического сигнала с координатами: $x_i = a_0 \cdot \cos \varphi_i$; $y_i = a_0 \cdot \sin \varphi_i$; $z_i = a_1$, где $\varphi_i = (2\pi/n) \cdot (i-1)$; $i = 1 \dots n$, расположенные в жидкой среде вблизи оконечности модели; количество источников $n = 5 \dots 10$;

4) материал оболочек (сталь) характеризуется плотностью $\rho = 7800$ кг/м³; модулем упругости $E = 2 \cdot 10^{11}$ Н/м²; коэффициентом Пуассона $\nu = 0,3$; тангенсом угла механических потерь $\text{tg} \delta$, скоростями продольной и поперечной волн, соответственно $c_1 = 5940$ м/с; $c_2 = 3220$ м/с;

5) внешняя среда – вода: $\rho_0 = 1000$ кг/м³; $c = 1500$ м/с.

Для оценки влияния формы оконечности модели на направленность излучения источников были рассмотрены следующие варианты (см. рис. 1):

- 1) $L_\Sigma = L_\Sigma$; 2) $L_\Sigma = 0,3 \cdot L_\Sigma$; 3) $L_\Sigma = 0,1 \cdot L_\Sigma$.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЧИСЛЕННОГО АНАЛИЗА

На первом этапе с целью тестирования алгоритма и расчетной схемы были определены характеристики суммарного звукового поля для группы синфазных

источников при их упорядоченном расположении в плоскости вращения гребного винта (XOY) и отсутствии модели.

Данные характеристики представлены на рис. 3 в виде уровней модулей угловых диаграмм $L_{p_z} = 20 \lg |p(\theta)/p_0|$ дБ в плоскости XOZ ($\varphi = 0$), где $p_0 = e^{ikr}/r$. Количество источников $n = 10$; ka_0 – волновой размер модели (см. рис. 3):

Для сравнения с приведенными результатами были рассчитаны аналогичные характеристики при случайных значениях координат ($0 \dots a_0$) и фаз ($0 \dots 2\pi$) сигналов, излучаемых тем же количеством источников (рис. 4).

Влияние формы оконечности модели и параметров оболочек на направленность звукоизлучения источников позволяют оценить рассчитанные угловые диаграммы рассеяния. Так, на рис. 5–7 представлены угловые распределения L_{p_z} в плоскости XOZ для рассматриваемых вариантов модели при: $h' = 0,001$ (кривая 1), $h' = 0,01$ (кривая 2), $h' = 0,02$ (кривая 3) и $ka_0 = 1,0; 3,0; 6,0$. Количество и координаты источников здесь и далее соответствуют принятым на рис. 4.

Как показывают полученные результаты, при уменьшении относительной длины конической части поверхности модели L_k (переход от варианта 1 к вариантам 2 и 3) и (или) увеличении частоты излучения источников происходит постепенное смещение максимумов рассеяния в направлении траверсных углов $\theta = 90^\circ \pm 30^\circ$. Этот вывод согласуется с результатами строгого решения задачи рассеяния звука упругой сферической оболочкой, возбуждаемой точечным источником на ее поверхности [3–6]. Кроме того, для вариантов 1 и 2 с ростом ka_0 формируются максимумы в направлениях $\theta \approx 150^\circ$ и 210° . Следует отметить также, что для всех вариантов сохраняется значительный уровень рассеяния в теновом направлении $\theta = 0^\circ$, обусловленный влиянием волн, огибающих поверхность модели.

Увеличение толщины оболочек при $ka_0 \approx 1,0 \dots 3,0$ приводит к возрастанию рассеяния в среднем на $\sim 5\text{--}7$ дБ: для варианта 1 – в траверсных направлениях, для вариантов 2 и 3 – главным образом в кормовом секторе углов $\theta = 180^\circ \pm 30^\circ$. С ростом волнового размера модели ($ka_0 \geq 3,0$) увеличивается акустическое сопротивление оболочки, поэтому характер рассеяния звука все более определяется доминирующим уровнем отражения как от абсолютно твердого тела. В этом диапазоне аналогичное изменение толщины оболочки вызывает увеличение траверсного рассеяния в среднем на ~ 3 дБ при соответственном снижении осевого.

Были рассчитаны также частотные зависимости L_{p_z} в плоскости XOZ для различных углов наблюдения. Данные зависимости для $\theta = 90^\circ$, $\theta = 180^\circ$ и

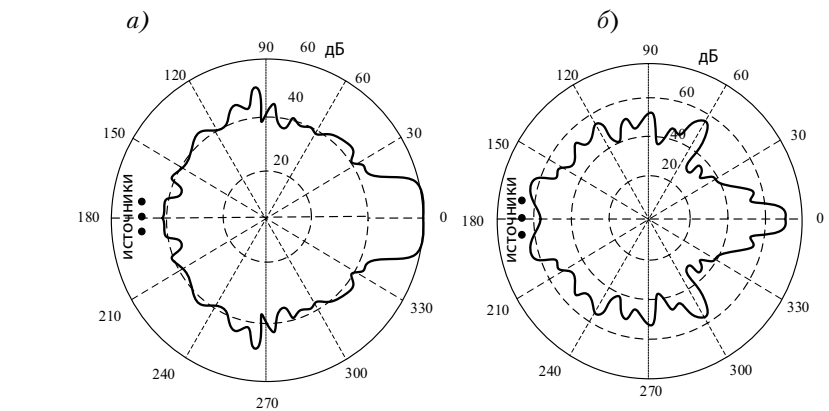


Рис. 3. Уровни модулей угловых диаграмм L_{p_z} синфазных источников при $n = 10$, расположенных в плоскости XOY : а – $ka_0 = 3,0$; б – $ka_0 = 10,0$

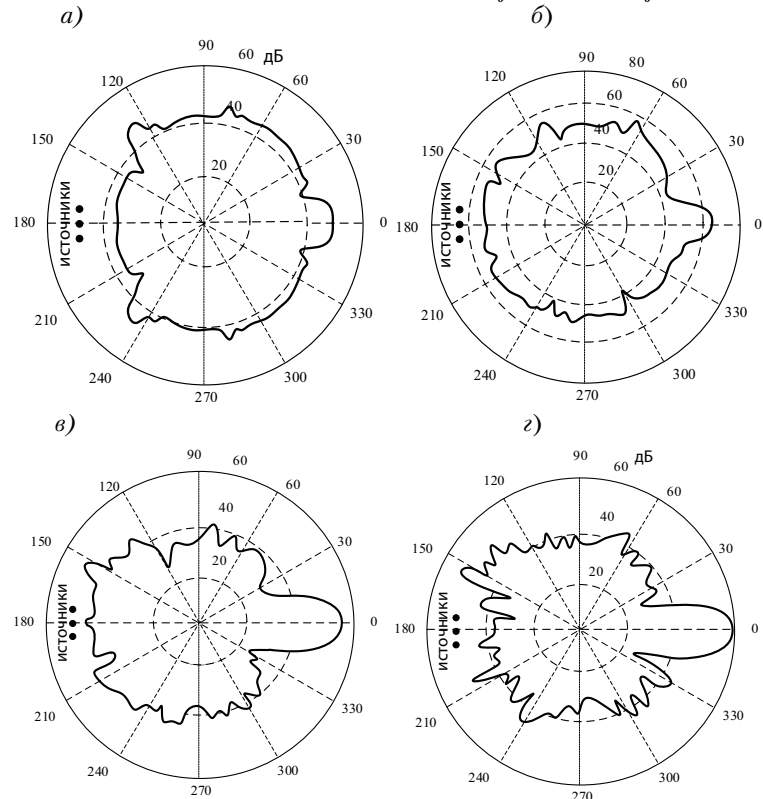


Рис. 4. Уровни модулей угловых диаграмм L_{p_z} источников со случайными значениями координат и фаз при $n = 10$: а – $ka_0 = 3,0$; б – $ka_0 = 10,0$; в – $ka_0 = 20,0$; г – $ka_0 = 30,0$

$h' = 0,01$ представлены на рис. 8. Номера кривых на графиках соответствуют номерам вариантов кормовой оконечности модели – 1, 2, 3.

Как видно из рис. 8, для варианта 1 уровни сигнала, рассеянного корпусом модели в осевом ($\theta = 180^\circ$) и траверсном ($\theta = 90^\circ$) направлениях, в основном близки. Для вариантов 2, 3 значения L_{p_z} в траверсном направлении в среднем на $5\text{--}10$ дБ выше, чем для варианта 1 (см. рис. 8, а). Можно отметить также наличие контурных резонансов на частотах, соответствующих нечетному числу полуволн в жидкости, огибающих корпус модели. Наиболее заметно данные резонансы проявляются в осевом направлении для вариантов 2, 3 (см. рис. 8, б), что приводит к более существенному, чем на рис. 8, а, увеличению L_{p_z} вблизи этих час-

тот по сравнению с вариантом 1. Кроме того, при $ka_0 \leq 1,0$ у вариантов 2, 3 резонансы формируются и при $ka_0 \approx 0,5 \dots 0,6$ (см. рис. 8, б), что может быть связано с увеличением длины цилиндрической части корпуса модели. Для диапазона $ka_0 > 4,0$ наблюдаются устойчивые превышения значений L_{p_z} для варианта 3 по отношению к значениям вариантов 1, 2, при этом последние практически сближаются.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной статье выполнены расчетные оценки характеристик рассеяния звука математической моделью корпуса подводного аппарата, возбуждаемой сосредоточенными источниками, расположенными вблизи ее кормовой оконечности. Источники имитируют низкочастотные пульсации, обусловленные «объемной»

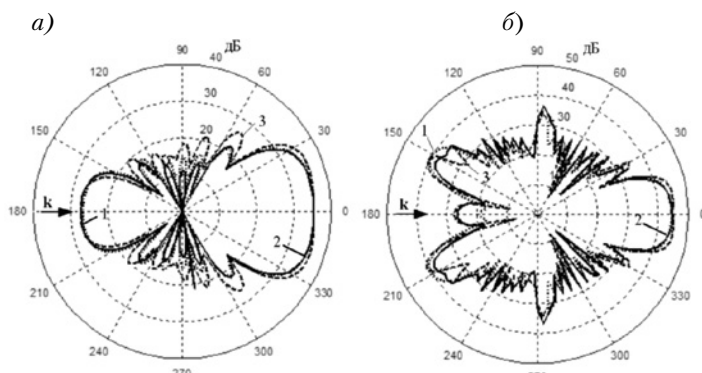


Рис. 5. Уровни модулей угловых характеристик L_{pz} для варианта 1: а – $ka_0 = 1,0$; б – $ka_0 = 3,0$

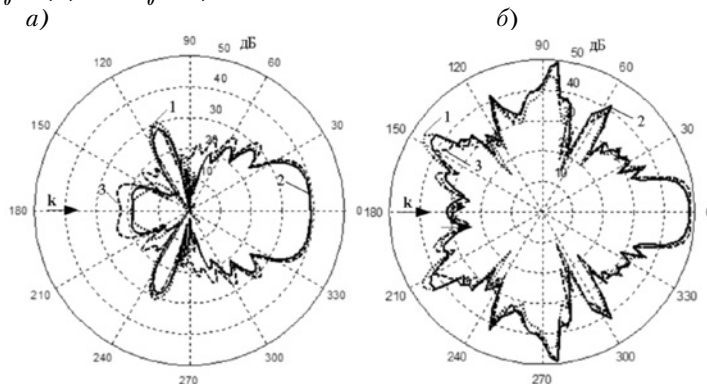


Рис. 6. То же для варианта 2

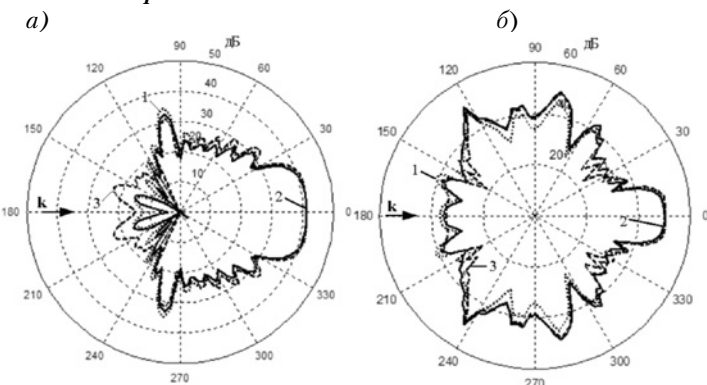


Рис. 7. То же для варианта 3

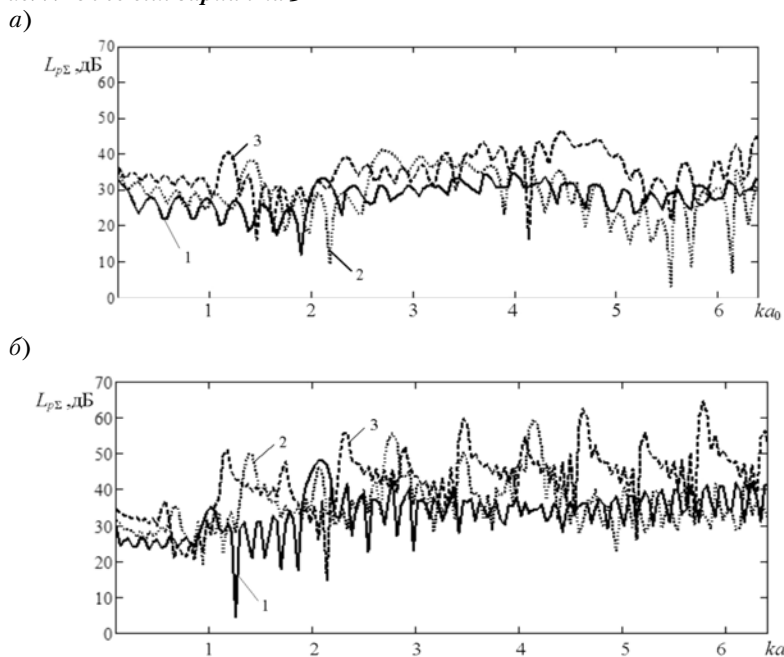


Рис. 8. Уровни модулей частотных зависимостей L_{pz} : а – $\theta = 90^\circ$; б – $\theta = 180^\circ$

составляющей шума вращения гребного винта. Как показали полученные результаты, при уменьшении относительной длины конической оконечности модели и (или) увеличении ее волнового размера значения частотных характеристик рассеяния в целом возрастают, особенно на частотах контурных резонансов. При этом максимумы угловых характеристик с ростом волнового размера смещаются в траверсных направлениях с некоторым возрастанием обратного рассеяния.

В рамках данного подхода возможно моделирование и дипольного характера излучения под действием периодических сил, возникающих вследствие гидродинамической нагрузки на лопасти гребного винта. Для этого необходимо ввести второй источник противоположного знака, расположенный на некотором расстоянии от первого, и вычислить суммарное давление от них в точке наблюдения. Замена газа-заполнителя вакуумом практически не сказывается на результатах расчетов характеристик рассеяния в данном диапазоне частот.

ЛИТЕРАТУРА

1. Клюкин И.И. Борьба с шумом и звуковой вибрацией на судах. – Л. Судостроение, 1971. – 415 с.
2. Справочник по судовой акустике/ Под ред. И.И. Клюкина и И.И. Боголепова – Л.: Судостроение, 1978. – 504 с.
3. Клещев А.А. Дифракция звука от точечного источника на упругой цилиндрической оболочке // Акустический журнал. – 2004. – Т.50. – №4. – С.86–89.
4. Клещев А. А. Гидроакустические рассеиватели. – СПб.: Прима, 2012. – 268 с.
5. Ильменков С.Л., Клещев А.А., Клюкин И.И., Румянцев С.Б.. Излучение упругого сфероида под действием точечного источника. – Тр. Ленинградского кораблестроительного института «Общесудовые системы», – Л.: Изд. ЛКИ, 1989. – С.100–104.
6. Ильменков С.Л., Клещев А.А. Физическая модель излучения звука под действием турбулентных пульсаций). – Сб. тр. науч. конф. «Бубновские чтения». – СПб.: Изд. ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова, 2004. – С. 102 – 103.
7. Ильменков С.Л. Развитие методов решения граничных задач гидроакустики. – СПб.: Изд. СПбГМТУ, 2020. – 190 с.
8. Ильменков С.Л. Решение задачи дифракции звука на упругом теле неаналитической формы с помощью метода граничных элементов // Морские интеллектуальные технологии. – 2015. – №1(27). – Т.1. – С. 30–36.
9. Ильменков С.Л., Переселков С.А., Грачев В.И., Ладыкин Н.В. Отражение звука от упругой конечной цилиндрической оболочки различной относительной длины // РЭНСИТ: Радиоэлектроника. Наносистемы. Информационные технологии. – 2023. – №15(4). – с. 425–432.
10. Ильменков С.Л. О возможностях численного определения характеристик отражения звука объектами конечных размеров // Морской вестник. – 2024. – №1(89). – С. 1–3. ■

Как неоднократно отмечалось [1–3], существенная доля аварийных случаев на судах обусловлена так называемым человеческим фактором, в большинстве случаев непреднамеренными ошибками судового персонала. Основной первопричиной совершения этих ошибок является действие различных факторов и их сочетаний, приводящих к снижению концентрации внимания, степени достоверности принимаемых персоналом решений, быстроты его реакций. Систематика этих факторов подробно изложена ранее [4–5], методы снижения интенсивности их воздействия на судовую персонал, в частности, в работах [6,7]. Очевидно, что полностью исключить их влияние не представляется возможным, в связи с чем проблема оперативного оценивания состояния судового персонала и его готовности к выполнению текущих задач сохраняет свою актуальность.

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ПЕРСОНАЛА. ПРОБЛЕМЫ И РЕШЕНИЯ

Номенклатура используемых методов оценивания и диагностирования состояния персонала включает две основные взаимодополняющие группы: методы, основанные на наблюдении в специально создаваемых условиях и методы, основанные на наблюдении в условиях исполнения персоналом своих должностных обязанностей. Методы первой группы характеризуются значительной глубиной наблюдений, сложностью применяемых технических средств, большим объемом регистрируемых и обрабатываемых данных, участием в обработке этих данных специалистов-психологов и существенно отсроченным по времени моментом получения результатов диагностирования. Такие методы применимы для профессионального тестирования при приеме на работу, плановых обследований персонала (в том числе в условиях стационарных медицинских учреждений) и тому подобных задач диагностики. Методы второй группы характеризуются оперативностью осуществления диагностических процедур непосредственно на рабочем месте и существенной долей автоматизации при оценивании результатов диагностирования. Подобные методы применимы, в частности, для допуска к рабочему месту при выходе работника на смену.

Таким образом, методы первой группы характеризуют тенденции изменения состояния работника и его готовности к выполнению определенных видов работ в долгосрочной перспективе, а методы второй группы, напротив, характеризуют текущее состояние работника.

Помимо методологии диагностики,

ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ОЦЕНКИ И ТРЕНИРОВКИ СЕНСОМОТОРНЫХ РЕАКЦИЙ СУДОВОГО ПЕРСОНАЛА

А. Е. Васильев, д-р техн. наук, зав. кафедрой ТСМ,

В.Д. Ковалев, ассистент,

Д. Е. Кунгурцев, ассистент,

С.А. Токаренко, ассистент,

Е. С. Блохина, магистрант,

СПбГМТУ,

контакт. тел. (812) 713 8405



Рис. 1. Компоненты диагностического комплекса «НС-Психотест» [15]



Рис. 2. Устройство психофизиологического тестирования УПФТ-1/30 [22]

теоретическая база которой неуклонно развивается [8–12], на протяжении многих лет активно совершенствуются и технические средства диагностики [13–14]. Ярким примером методов и реализующих их средств первой классификационной группы является диагностический комплекс «НС-Психотест» (рис. 1) [15–16]. Комплекс используется в задачах оценки уровня профессиональной пригодности, обследований контингента детских учреждений, определения качества и темпов реабилитации пациентов и др. Аппаратура и программное обеспечение [17] комплекса обеспечивают регистрацию и оценивание зрительно-моторных и ау-

диомоторных реакций, свойств внимания, лабильности нервных процессов и точности движений.

Методы и реализующие их технические средства второй классификационной группы еще более разнообразны: в их числе – системы оценки состояния по мимике лица [18], системы оценки времени реакции на предъявляемые образы [19], портативные средства оценки работы сердечно-сосудистой системы, встроенные в компьютерный манипулятор – «мышь» [20–21] и др. В качестве примера приведем устройство психофизиологического тестирования УПФТ-1/30 («Психофизиолог») (рис. 2) [22–23].

Следует отметить, что технические средства обеих классификационных групп (в особенности первой) подсознательно воспринимаются диагностируемыми в роли своего рода экзаменаторов, что может формировать негативное подсознательное отношение к процедуре диагностирования и, в конечном итоге, приводить к снижению степени адекватности получаемых оценок реальному состоянию диагностируемого лица, как занижая, так и в ряде случаев завышая эти оценки.

В данной работе авторы развивают идею создания технического средства, осознанно и самостоятельно применяемого судовым персоналом в первую очередь для регулярной тренировки своих реакций непосредственно на рабочем месте и лишь во вторую – для объективного оценивания показателей этих реакций руководящими работниками. В силу естественности и регулярности применения, а также в силу рекреационного характера тренировок такое техническое средство не воспринимается работниками антагонистично, и при диагностировании существенно повышается достоверность результатов, а сами тренировки способствуют неуклонному улучшению реакций персонала. Отметим, что на подобной концепции основан целый ряд разработок подобных технических средств [24–25].

КОМПЛЕКС СРЕДСТВ ОЦЕНКИ И ТРЕНИРОВАННОСТИ СЕНСОМОТОРНЫХ РЕАКЦИЙ

Структура предлагаемого авторами технического решения показана на рис. 3.

В основу концепции комплекса положено сочетание простоты, надежности, компактности и применимости в рабочих зонах различных типов. Взаимодействие с комплексом должно по-

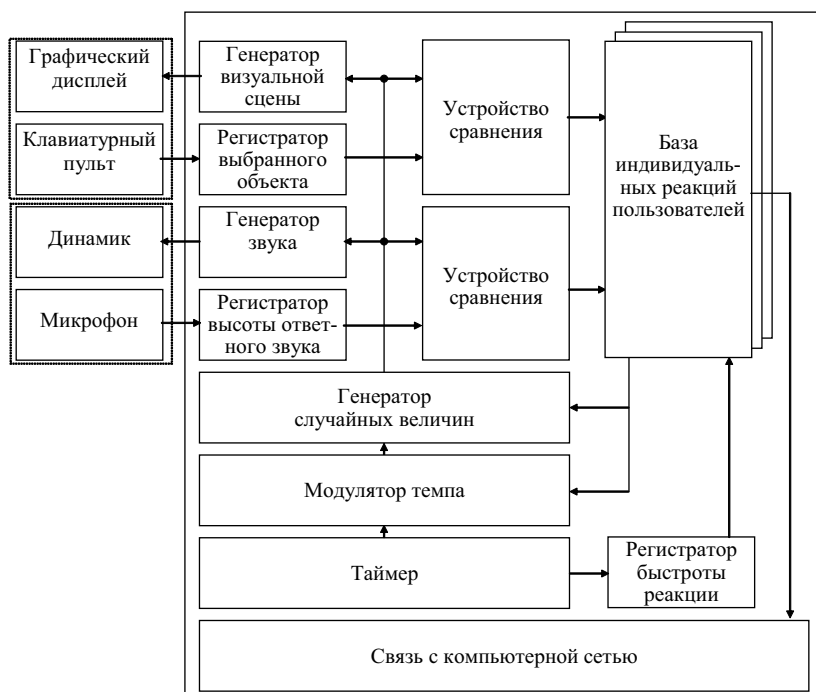


Рис. 3. Структурно-функциональная схема устройства

сить рекреационный характер, а сама процедура должна учитывать индивидуальные особенности визуальных и акустических сенсомоторных реакций испытуемого и обеспечивать их целенаправленное улучшение.

В связи с перечисленными выше обстоятельствами диагностическое устройство целесообразно выполнять в виде отдельного малогабаритного прибора на основе встраиваемого микроконтроллера, допускающего агрегацию в сетевые структуры.

Вводимый с инструментального компьютера руководителя список потенциальных испытуемых передается посредством сетевых средств связи на каждое устройство. Каждый конкретный испытуемый вводит свой личный код, и устройство переходит из режима

ожидания в рабочий режим с предъявлением испытуемому последовательности визуальных и акустических событий.

При создании генератором визуального события, характеризуемого случайными величинами, формируется случайная визуальная сцена, в которой испытуемый должен обнаружить недостающий элемент и указать его позицию с помощью клавиатурного пульта; при генерации акустического события издается звук случайной высоты, в ответ испытуемый должен издать звук той же частоты, что регистрируется микрофоном устройства. Величина отклонения от предъявленного события и время реакции на него регистрируются и заносятся в базу индивидуальных реакций испытуемого. Это позволяет чаще порождать те события, на которых испы-

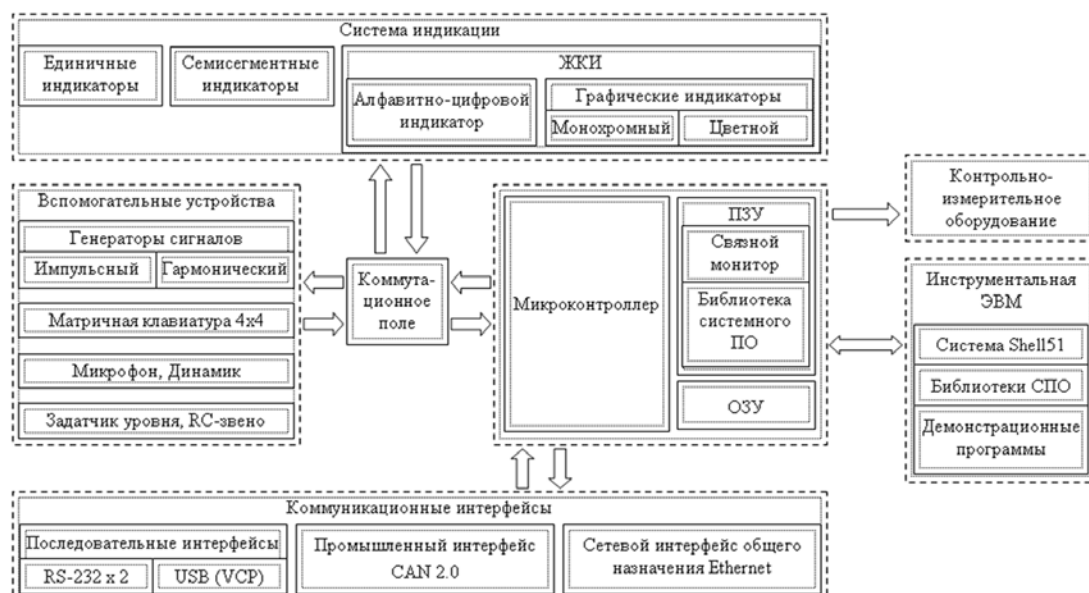


Рис. 4. Структура отладочного комплекса СТК-2

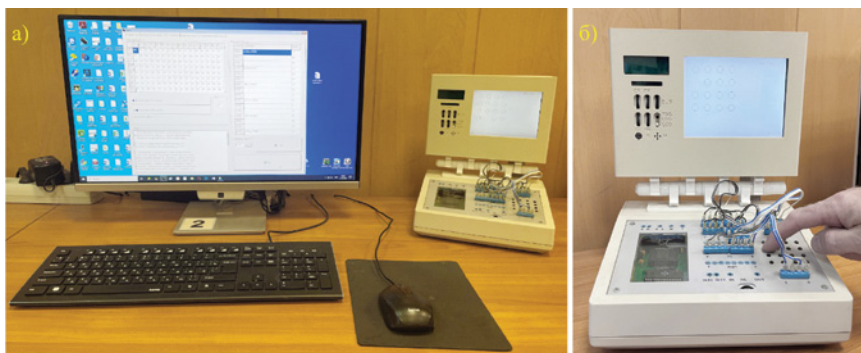


Рис. 5. Прототип средства диагностики психомоторных реакций. Общий вид комплекса (а), смонтированное устройство на стенде СТК-2 (б)

туемый чаще ошибался или дольше реагировал для тренировки; в зависимости от индивидуального темпа реагирования происходит и постепенное ускорение темпа генерации событий в текущем сеансе. Обновленная по окончании сеанса база передается на инструментальный компьютер руководства для оценки динамики развития сенсомоторных реакций конкретного испытуемого и их показателей в текущем сеансе.

В качестве приборного решения использован аппаратно-программный инструментальный комплекс разработки микроконтроллерных систем СТК-2 (рис. 4) [26], созданный под руководством одного из авторов данной статьи.

Внешний вид прототипа такого комплекса, выполняющего диагностику визуальных сцен, показан на рис. 5, а (общий вид) и 5, б (устройство с необходимыми коммутационными соединениями и работа с ним).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предлагаемый авторами вариант технической реализации комплекса средств диагностики и тренировки сенсомоторных реакций дополняет существующие подходы к обеспечению безошибочности действий судового персонала. Комплектование рабочих мест персонала описанным в статье диагностико-тренировочным модулем позволяет оперативно, ресурсоэффективно и достоверно оценивать готовность работников к выполнению задач, требующих внимательности и быстроты реакции, а также развивать эти качества посредством адаптивных тренировок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Томилин А. Н., Боран-Кешишьян А. Л., Томилиа С. Н., Яворская Д. О. К вопросу об усталости персонала судов как одной из существенных причин аварий на транспортных судах // Эксплуатация морского транспорта. – 2020. № 3 (96). – С. 15–23.
2. Бобылев М. С. Влияние усталости судового экипажа на безопасность судоходства. – Мат-лы VI Всеросс. конфер. «Актуальные проблемы транспортной отрасли в России и за рубежом», Новосибирск, 2025, с. 35–39.

3. Shakiev A., Pastukhova S. The negative effect of shipowner's cost cutting on the safety of navigation // Recent achievements and prospects of innovations and technologies. – 2023. – № 2 (2). – P. 454–458.
4. Никитина В. Н., Калинина Н. И., Ляшко Г. Г., Панкина Е. Н. Некоторые аспекты обеспечения безопасности судоходства в полярных водах // Российская Арктика. – 2019. – № 6. – С. 44–47.
5. Митрофанова Н. В. Маркетинг персонала как инструмент совершенствования кадрового менеджмента на морском транспорте // Практический маркетинг. – 2018. – № 8 (258). – С. 34–38.
6. Шалыкин М. А., Лютко С. В. Новые методы управления усталостью экипажа судна. – Мат-лы конфер. «Богатство России». – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2018, с. 29–31.
7. Чиркова М. М., Мишин А. А., Поселенков Е. Н. Информационно-измерительная система распознавания психофизиологического состояния вахтенного персонала // Морские интеллектуальные технологии. – 2018. – № 4–2 (42). – С. 73–78.
8. Двишин А. П., Романченко И. А. Современная психодиагностика: учебно-практическое руководство. – СПб.: Речь, 2012. – 283 с.
9. Леонова А. Б. Методика «ИДИКС»: интегральная диагностика и коррекция профессионального стресса. – СПб.: Иматон, 2019. – 51 с.
10. Бухтияров И. В., Жбанкова О. В., Юшкова О. И., Капустина А. В. Оценка психомоторики и гемодинамических реакций в условиях острого психоэмоционального стресса при профессиональном отборе кадров // Мат-лы 16-й Международ. конфер. «General question of world science». – Amsterdam: IJournal, 2022. – P. 4–12.
11. Сарычев А. С. Критерии оценки работоспособности у вахтовиков в Заполярье // Вестник Северного (Арктического) федерального университета. – Серия: Медико-биологические науки. – 2013. – № 2. – С. 55–63.
12. Рубцов М. Ю., Юшкова О. И. Методы психологической диагностики профессионального стресса при различной степени напряженности труда // Медицина труда и промышленная экология. – 2009. – № 9. – С. 25–31.
13. Применение компьютерного измерителя движений КИД-3 для исследования психомоторной координации и сенсомоторной реактивности больных заболеваниями позвоночника / Панкова Н. Б.,

- Лебедев М. А., Слезко В. Н. и др. // Патогенез. – 2003. – Т. 1. – № 1. – С. 86–89.
14. Суворов Г. Б., Чесноков В. Б. Концепция психологического обеспечения психофизиологического статуса человека: психомоторная составляющая // Вестник Санкт-Петербургского ун-та. – Серия 12: Психология, социология, педагогика. – 2009. – № 2–2. – С. 3–28.
15. НС-Психотест. Компьютерный комплекс для психофизиологического тестирования. – Электронный ресурс, URL: <https://neurosoft.com/files/catalog/catalog/752/ru/brochure/Psyhotest-RU-to-read.pdf> (дата обращения: 18.07.2025)
16. Ерохин Н. М., Богатов Н. М. Исследование студентов на компьютерном комплексе «НС-Психотест». – В сб.: Современные проблемы физики, биофизики и инфокоммуникационных технологий: коллективная монография // Краснодар. – 2019. – Вып. 8. – С. 146–157.
17. НС-Психотест.NET / Блохин М. Ю., Алтынчуринов А. Ф., Бабаев М. Б. и др. – Св. о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2017618884. – Оpubл. 10.08.2017 // Бюлл. № 8.
18. Щелканова Е. С. Бесконтактная экспресс-диагностика психофизиологического состояния лиц опасных профессий // Медицина катастроф. – 2018. – № 3. – С. 23–28.
19. Устройство для психофизиологического экспресс-контроля функционального состояния персонала, работающего на опасных производственных объектах / Петраш В. В., Ильина Л. В., Крыштоф Д. В., Литяева М. П., Миленевская Л. Н. – Патент на полезную модель № 165429. – Оpubл. 20.10.2016 // Бюлл. № 29.
20. Лазарев С. В. Новый способ проведения диагностики функционального состояния персонала электростанций // Энергетик. – 2010. – № 4. – С. 32–33.
21. Тимофеев С. С., Попова Н. А. Инновации в охране труда для нефтедобычи // XXI век. Техносферная безопасность. – 2020. – Т. 5. – № 2 (18). – С. 198–210.
22. Устройство психофизиологического тестирования УПФТ-1/30 – Электронный ресурс. – URL: https://www.medrk.ru/uploads/file/4437/upft-1-30_krman.pdf (дата обращения: 18.07.2025)
23. Ефимова В. Л., Дружинин О. А. Сенсомоторные реакции и исполнительные функции // Вестник психофизиологии. – 202. – № 4. – С. 108–113.
24. Федченко О. А., Федченко И. О., Стойка В. Н. Программный комплекс ProfPass для оценки, тренировки и коррекции психоэмоционального состояния человека // Св. о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020665009. Оpubл. 20.11.2020 // Бюлл. № 11.
25. Комплекс тренинга и диагностики профессионального психофизиологического состояния персонала (ПК «ТДК ПФО») / Ибадуллаев В. А., Дышкантук А. В., Зверева С. В. и др. – Св. о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2021660562. Оpubл. 28.06.2021 // Бюлл. № 7.
26. Васильев А. Е. Встраиваемые системы автоматизации и вычислительной техники. Микроконтроллеры. – М.: Горячая линия-Телеком, 2018. – 590 с. ■

Подписанная в июне 2025 г. Российской кораблестроительная программа до 2050 г., направленная на создание сбалансированного и технологически современного флота, способного решать задачи в ближней и дальней морской зоне, а также в Арктике, включает развитие надводных кораблей, подводных лодок, вспомогательных судов и внедрение новых технологий, включая автономные системы и искусственный интеллект.

В программе делается акцент на инновационные технологии, которые должны обеспечить качественное превосходство ВМФ РФ. Одним из ключевых направлений является внедрение искусственного интеллекта (ИИ) в навигацию, автоматизацию боевых систем, предиктивную техническую диагностику корабельного оборудования, защиту от кибератак и РЭБ-подавления и др.

В статье более подробно рассмотрено применение ИИ в технической диагностике – области знаний, связанной с оценкой состояния оборудования и выявлением возможных неисправностей или отклонений от нормы на основе анализа данных, полученных в процессе эксплуатации или при испытаниях.

Техническая диагностика машин и оборудования нацелена на раннее обнаружение и классификацию отказов для предотвращения аварий и оптимизации обслуживания. Современные подходы активно переходят к «умному» анализу больших данных: сложные нейронные сети позволяют автоматически извлекать признаки неисправностей из сенсорных сигналов и изображений без детальных физических моделей оборудования. В последние годы интерес к нейросетевым методам в промышленных системах неуклонно растет: согласно обзору, число публикаций по глубокому обучению в задачах технической диагностики экспоненциально возрастает. Внедрение ИИ-технологий обещает повысить точность и скорость диагностики, снизить влияние человеческого фактора и открыть новые возможности для прогнозирования отказов и планового обслуживания.

Искусственные нейронные сети (ИНС) применяются для следующих целей:

- 1) обнаружение неисправностей: анализ вибраций, температуры, звука, тока и других параметров; обнаружение скрытых аномалий в данных;
- 2) классификация состояний: классификация типов неисправностей по обученным образцам (например, «норма», «износ подшипника», «дисбаланс» и т.д.);
- 3) прогнозирование отказов: предсказание времени до отказа оборудования на основе временных рядов; предиктивное техническое обслуживание (вне графика,

НЕЙРОННЫЕ СЕТИ КАК ИНСТРУМЕНТ ОБРАБОТКИ ДИАГНОСТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ

И.И. Шигапов, канд. техн. наук,

начальник Управления кораблестроения ГК ВМФ РФ,

В.А. Одинаев, д-р техн. наук, гл. специалист по электроэнергетике,

В.А. Долгов, канд. техн. наук, гл. инженер, АО «ИК «НЕОТЕК МАРИН»,

контакт. тел. (812) 418 6352

по фактической необходимости);

4) обработка «зашумленных» или неполных данных: ИНС устойчивы к «шуму» и могут обучаться на неполных данных, что особенно важно в реальных промышленных условиях.

Примеры применения ИНС:

1. Диагностика электрических машин по данным цифровых виброанализаторов и осциллографов.

2. Контроль состояния дизелей, паровых и газовых турбин, насосов, компрессоров и других механизмов и машин на основе анализа значений температуры, давления, вибрации.

3. Использование систем технического зрения: обнаружение визуальных дефектов на изображениях (например, трещин, износа, ржавчины).

Типы нейросетей, применяемых в диагностике:

- MLP (многослойная нейронная сеть прямого распространения) – классический подход;
- RNN / LSTM – анализ временных рядов (например, вибросигналы, осциллограммы);
- CNN – анализ изображений и спектрограмм сигналов;
- Autoencoders – обнаружение отклонений от нормы.

Преимущества использования ИНС заключаются в высокой точности распознавания, автоматизации рутинных операций и способности к адаптации (обучению на новых данных). Применение нейросетевых технологий позволит исключить из части действий и операций необходимость участия человека, что обеспечит переход к Индустрии 4.0, обусловленной широким внедрением киберфизических систем в производство и обслуживание технически сложных агрегатов и механизмов.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ

В научных исследованиях по технической диагностике используются разнообразные архитектуры нейронных сетей. Классические подходы включают свёрточные нейросети (CNN) для анализа изображений и частотного спектра, рекуррентные сети (RNN, особенно

LSTM/GRU) для моделирования временных рядов сенсорных данных, а также Autoencoders и глубокие сети для снижения размерности и обнаружения аномалий. В качестве примеров можно отметить применение CNN к тепловым картам и рентгеновским снимкам оборудования (например, диагностика дефектов турбин на основе ИК-изображений) и использование одномерных CNN для анализа вибрационных сигналов (например, диагностика дефектов роторов по вибрации) [1]. Гибридные модели (комбинации CNN и RNN) позволяют одновременно учитывать пространственные и временные признаки.

Популярность архитектур отражена в обзорных статьях: традиционно в диагностике преобладают CNN и RNN, однако современные исследования все чаще обращаются к новым подходам – генеративным состязательным сетям (GAN), трансформерным и графовым нейронным сетям (GNN). Например, GAN используются для синтеза дополнительных обучающих примеров при редких отказах, а GNN – для моделирования зависимостей между многочисленными датчиками на сложных объектах. При этом в литературе подчеркивается необходимость наличия больших размеченных выборок для обучения нейросетей и характерные проблемы с несбалансированностью классов (отсутствием большого числа примеров дефектов). В связи с этим активно исследуются подходы к полу- и безнадзорному обучению (анализ выбросов и реконструкция сигналов с помощью Autoencoders), а также переносное обучение (transfer learning) и адаптация моделей под новые условия.

Свёрточные нейросети (CNN) широко применяются для обработки изображений и преобразованных сигналов, например, для диагностики вращающегося оборудования по инфракрасным картам. Для одномерных временных рядов используются модификации CNN (1D-CNN) [1].

Рекуррентные сети (RNN/LSTM) эффективны для анализа последовательных данных, например, параметров работы двигателей или насосов во времени. Они позволяют моделировать динамику

процессов и предсказывать переходы в аварийные состояния.

Autoencoders используются как способ выделения признаков и обнаружения аномалий – сеть «сжимает» входной сигнал и затем восстанавливает его, что позволяет выявлять отклонения от нормального поведения.

Гибридные и новые сети: современные исследования предлагают сочетания архитектур (например, CNN+RNN) и новые типы нейросетей – GAN, трансформерные сети, GNN – для более гибкого учета разнородных данных и генерации синтетических образцов.

ПОДХОДЫ К ОБУЧЕНИЮ

В основном применяются методы с учителем (для классификации типов отказов или регрессии параметров состояния). В то же время изучаются безнадзорные подходы для поиска скрытых закономерностей и самоконтроля (например, использование *Autoencoders* для выявления неизвестных ранее дефектов). Одна из главных задач – преодолеть недостаток размеченных данных.

Примеры исследований: известны работы по диагностике подшипников и роторов, когда CNN обучают на спектрограммах вибраций; по анализу акустических сигналов агрегатов с помощью LSTM; по применению GAN для генерации синтетических данных при редких отказах. В одном из обзоров отмечено, что к 2022 г. CNN-методы составляют большинство методов диагностики на основе глубокого обучения [1].

ПРОМЫШЛЕННОЕ ПРИМЕНЕНИЕ

На практике промышленное использование нейросетей для технической диагностики активно развивается, но отличается консервативностью. Многие предприятия проводят пилотные проекты по конкретным задачам: например, улучшение контроля качества сварки, прогнозирование отказов механизмов и машин [4]. По данным ComNews, лишь около 29% промышленных компаний проводят эксперименты с внедрением ИИ, причем в большинстве случаев это «точечные» пилотные работы по конкретным направлениям [2]. Ряд крупных компаний разрабатывают интегрированные платформы для предиктивного обслуживания. Так, немецкий концерн Siemens создал «облачную» платформу MindSphere (с подключением аналитики IBM Watson) для мониторинга оборудования по всему миру, а также использует нейросети для оптимизации функционирования газовых турбин (системы собирают данные с нескольких сотен датчиков и настраивают турбины для повышения эффективности) [3]. Американская General Electric через платформу Predix с ИИ-аналитикой обрабатывает экстремальные объ-

емы данных (около миллиона терабайт в день) для выявления неисправностей на своих предприятиях. Подобные решения демонстрируют переход от теории к коммерческим приложениям, хотя многие из них остаются недоступными потребителям и реализуются в рамках крупных корпоративных заказов.

Компания Газпром применяет машинное обучение для прогноза параметров скважин, а на станции перекачки нефти протестирована нейросеть для расчета остаточного ресурса насосного агрегата [5]. Разработанные модели анализируют данные мощности и вибрации насосов, что позволяет предсказать сбои режимов работы, значительно повышая надежность систем перекачки.

В области производства электроники создана нейросетевая система автоматической дефектоскопии радиокомпонентов: с помощью 3D-рентгеновских снимков печатных плат и обученной CNN, в том числе с использованием цифровых двойников при обучении, удается выявлять внутренние дефекты элементов с точностью выше зарубежных аналогов [6].

Однако в промышленности есть и существенные ограничения. Потребность в большом объеме размеченных данных о неисправностях часто оказывается невыполнимой из-за редкости реальных отказов и высокой стоимости их имитации. Появляются проблемы с перенесением моделей на реальные условия, требования к возможности объяснения решений и кибербезопасности. Кроме того, интеграция ИИ-систем в устаревшие производственные линии сопряжена со значительными трудозатратами и рисками. Поэтому многие промышленные внедрения по-прежнему находятся на стадии опытной эксплуатации или в виде демонстрационных проектов.

ПЕРСПЕКТИВЫ

В будущем прогнозируется дальнейшее усиление роли ИИ в технической диагностике. Исследования будут двигаться в направлении гибридных моделей (совмещающих классические физические модели и глубокие сети), а также более сложных архитектур. Развитие графовых и трансформерных сетей позволит учитывать топологию многокомпонентных систем и сложные временные зависимости [1]. Активно обсуждаются идеи использования синтетических данных и цифровых двойников машин для обучения нейросетей: уже проводятся эксперименты с GAN для генерации случаев отказов и с симуляторами оборудования. Например, в диагностике электроники применение «цифровых двойников» элементов существенно повысило качество обучения нейросети [6].

С практической стороны заметно, что современные промышленные пред-

приятия для достижения высокой степени автоматизации производства и эксплуатации будут все больше полагаться на предиктивную аналитику и цифровой мониторинг. По некоторым оценкам, в промышленности ИИ может создать на 15–25% рабочих мест больше к 2030 г., а также будет использоваться для полного моделирования производственных процессов и прогнозирования аварий (например, критических скачков давления или температуры в агрегатах) [2]. Тенденцией является движение к «edge AI» – встраиваемым нейросетевым решениям, работающим непосредственно на оборудовании для быстрых реакций и автономных решений без постоянной связи с «облаком» в Интернете.

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ИИ ДЛЯ ПРЕДИКАТИВНОГО ТЕХНИЧЕСКОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ В ВМФ НА ПРИМЕРЕ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

На сегодняшний день для технической диагностики дизель-генераторной установки на кораблях применяется «Переносной диагностический комплекс» (ПДК) производства АО «НПФ «Меридиан», который представляет собой программно-аппаратный комплекс, предназначенный для диагностирования технического состояния основных элементов дизеля и генератора и выдачи рекомендаций о техническом состоянии объекта при его комплексном техническом обслуживании [8, 9].

Работа комплекса основана на сравнении получаемой диагностической информации с эталонными данными и последующей выдачей различных оценок состояния дизель-генератора, а также рекомендаций персоналу по проведению технического обслуживания агрегата. Диагностирование проводится по многим параметрам:

- первичный двигатель (дизель): индикаторные диаграммы, термогазодинамические параметры, виброграмма, качество масла, износ двигателя и прочее;
- генератор: сопротивление изоляции, уравновешенность вращающихся частей, гармонический состав тока и напряжения возбудителя, генератора и многое другое.

Однако применение диагностического комплекса накладывает определенные ограничения на квалификацию персонала. Несмотря на то, что ПДК имеет обширную справочную информацию по интерпретации получаемой диагностической информации, пользователям необходимо иметь достаточно высокий уровень знаний в предметной области для более точной локализации развития возможной неисправности.

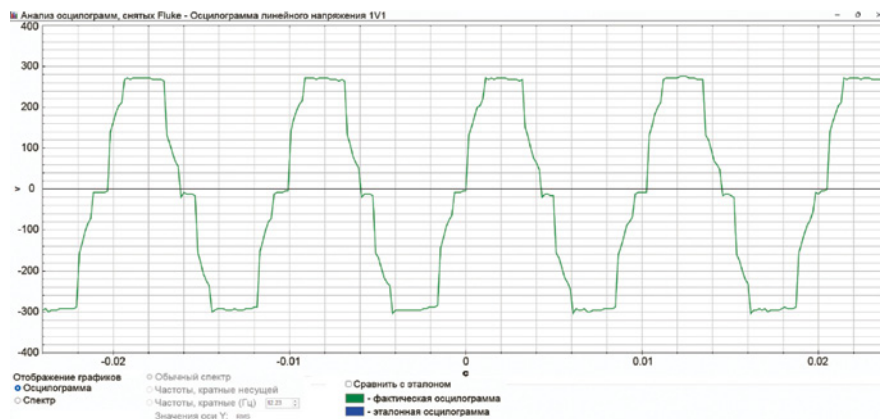


Рис. 1. Осциллограмма тока фазы обмотки статора

Применение в составе комплекса заранее обученной нейронной сети позволит снизить требования к квалификации персонала, повысить информативность рекомендаций, формировать выводы, основываясь на анализе сразу нескольких источников данных (применение каскада нейронных сетей).

На рис. 1–3 представлены примеры диагностических данных, полученных с помощью приборов из состава ПДК.

Как известно, на сегодняшний день нейронные сети отлично справляются с анализом подобного рода данных и с высокой степенью вероятности – более 95% – способны выявить и идентифицировать аномалии в работе оборудования. В качестве примера рассмотрим применение многослойной нейронной сети прямого распространения для анализа данных.

Многослойная нейронная сеть прямого распространения (MLP) – это разновидность искусственной нейронной сети, в которой сигнал распространяется строго от входного слоя к выходному, без обратных связей (рис. 4).

MLP состоит из слоев трех типов:

- входной – получает входные данные;
- скрытый – выполняет промежуточные вычисления;
- выходной – предсказывает или классифицирует результат.

Каждый слой состоит из нейронов, которые соединены взвешенными связями. Каждый нейрон в слое получает взвешенные выходы нейронов из предыдущего слоя. В нейроне они суммируются, и к сумме применяется активационная функция (например, сигмоида), результат выдается на выход нейрона. Активационная функция добавляет нелинейность в сеть. Это позволяет MLP моделировать сложные функции и обнаруживать нелинейные зависимости между данными.

Обучение MLP основано на методе обратного распространения ошибки (backpropagation) [10]. Этот алгоритм оптимизирует веса связей между нейронами для минимизации ошибки предсказания. Процесс обучения состоит из нескольких этапов, включающих в себя прямое распространение информации

в ИНС на обучающем наборе данных, и обратное распространение ошибки (backpropagation) через ИНС с коррекцией весов связей для минимизации отклонения предсказанного результата от правильного ответа из обучающего набора данных. Процесс повторяется до достижения требуемой точности или оптимального значения функции потерь.

В данной статье предлагается использовать MLP для технического диагностирования шестифазного синхронного генератора [7].

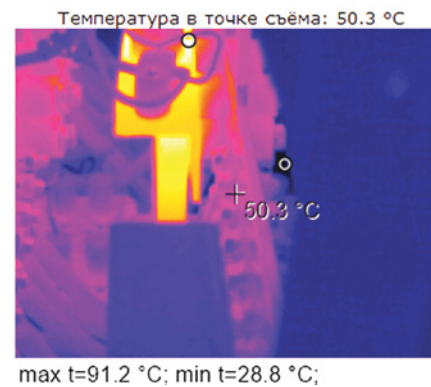


Рис. 2. Термограмма тиристоров выпрямителя

На входы $x_1, x_2, \dots, x_n$ подаются диагностические параметры, полученные с помощью приборов диагностического комплекса: температуры обмоток генератора и вентилях выпрямителя, амплитуды гармоник токов и напряжений, амплитуды гармоник вибросигналов, значения сопротивления изоляции. В заранее обученной сети MLP на выходах $y_1, y_2, \dots, y_m$ формируются результаты диагностирования: если $y_i = 1$, то элемент i полностью исправен, если $y_i = 0$, то элемент i полностью неисправен, если $0 < y_i < 1$,

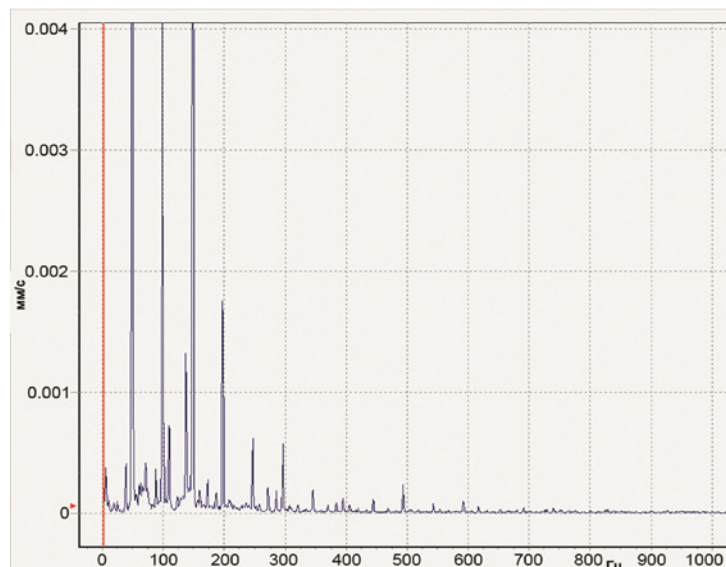


Рис. 3. Спектрограмма вибрации генератора в точке на корпусе генератора в радиальном направлении

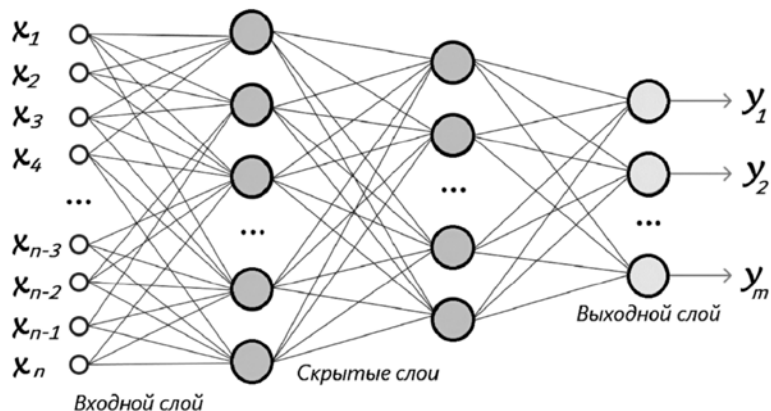


Рис. 4. Многослойная нейронная сеть прямого распространения

Обучающий набор данных

№ п/п	Значения неисправностей (готовые ответы ИНС)	Значения диагностических параметров на входе ИНС	Значение ошибки после прямого распространения информации
1	2	3	4
1	$y_1^1, y_2^1, \dots, y_m^1$	$x_1^1, x_2^1, \dots, x_n^1$	$\Delta_1^1, \Delta_2^1, \dots, \Delta_m^1$
2	$y_1^2, y_2^2, \dots, y_m^2$	$x_1^2, x_2^2, \dots, x_n^2$	$\Delta_1^2, \Delta_2^2, \dots, \Delta_m^2$
...	...	...	...
i	$y_1^i, y_2^i, \dots, y_m^i$	$x_1^i, x_2^i, \dots, x_n^i$	$\Delta_1^i, \Delta_2^i, \dots, \Delta_m^i$
...	...	...	...
N	$y_1^N, y_2^N, \dots, y_m^N$	$x_1^N, x_2^N, \dots, x_n^N$	$\Delta_1^N, \Delta_2^N, \dots, \Delta_m^N$

то элемент i находится в промежуточном техническом состоянии, которое может варьироваться от состояний «неудовлетворительное» и «удовлетворительное» до «хорошее».

1. Для получения обучающего набора данных и связанных с ними правильных ответов предлагается использовать математическую модель шестифазного синхронного генератора с мощным выпрямителем [7]. Для этого используется обратный метод: искусственно вводятся значения неисправностей $y_1, y_2, \dots, y_m$, например, $y_1^1, y_2^1, \dots, y_m^1$. Затем запускается модель, после чего по результатам функционирования модели формируются значения диагностических параметров $x_1^1, x_2^1, \dots, x_n^1$: температуры обмоток генератора и вентиля выпрямителя, амплитуды гармоник токов и напряжений, амплитуды гармоник вибросигналов и т.п. Далее вводятся значения неисправностей $y_1^2, y_2^2, \dots, y_m^2$ и формируются значения $x_1^2, x_2^2, \dots, x_n^2$.

Обучающий набор данных в этом случае представляет собой столбцы 2 и 3 таблицы.

Перебор комбинаций значений $y_1, y_2, \dots, y_m$ повторяется до тех пор, пока не будет достигнут некоторый экспериментально установленный предел, соответствующий числу N .

2. Далее выполняется начальная установка значений весов связей.

3. После этого на вход MLP подаются значения $x_1^1, x_2^1, \dots, x_n^1$ из первой строки обучающего набора данных, запускается прямое распространение информации в ИНС. На выходе MLP вычисляются значения $y_1, y_2, \dots, y_m$, которые отличаются от готовых ответов $y_1^1, y_2^1, \dots, y_m^1$ на величину ошибки $\Delta_1^1, \Delta_2^1, \dots, \Delta_m^1$.

4. Затем запускается алгоритм обратного распространения ошибки (backpropagation) через сеть и корректировка весов связей для минимизации ошибки.

Далее пункты 3 и 4 последовательно выполняются для всех строк таблицы. В ходе обучения значение ошибки (стол-

бец 4 таблицы) уменьшается от строки к строке. При необходимости пункты 3 и 4 повторяются для всех строк таблицы до тех пор, пока значение ошибки не будет минимизировано до заданного уровня.

Примечания:

1. Если минимизировать ошибку до заданного уровня невозможно, то необходимо добавить некоторое число скрытых слоев и повторить алгоритм обучения ИНС.

2. Кроме обучающего набора данных необходимо приготовить тестирующий набор данных (тем же способом, с помощью модели или задействовать экспертов). Следует проверить, будут ли сформированы корректные ответы ИНС.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Искусственные нейронные сети сегодня доказали свою эффективность как в исследованиях, так и в ряде промышленных применений для технической диагностики. В научной среде они стали стандартом для анализа сигналов и изображений при обнаружении отказов, а новые архитектуры (GAN, трансформеры, GNN) привносят дополнительные возможности. В промышленности реализуются проекты, демонстрирующие экономический эффект и рост надежности продукции. Вместе с тем остаются проблемы, связанные с необходимостью анализа больших данных, интеграции систем в существующую инфраструктуру и доверия к ИИ. Тем не менее дальнейшее развитие «умных» промышленных технологий обещает сделать нейросетевые методы неотъемлемой частью технического обслуживания и диагностирования сложных агрегатов и механизмов. Приведенный в статье пример применения многослойной ИНС для технического диагностирования шестифазного синхронного генератора с мощным выпрямителем позволяет своевременно выполнять техническое обслуживание, ремонт и устранение неисправностей на основе информации о фактическом состоянии

генераторной установки, снижая риски человеческого фактора при эксплуатации энергетического оборудования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Deep Learning Techniques in Intelligent Fault Diagnosis and Prognosis for Industrial Systems / Qiu, S.; Cui, X.; Ping, Z.; Shan, N.; Li, Z.; Bao, X.; Xu, X. // A Review. – Sensors 2023. – Vol. 23. – P. 1305. DOI: 10.3390/s23031305 (Методы глубокого обучения в интеллектуальной диагностике и прогнозировании неисправностей промышленных систем: обзор. – Ухань 430033, Китай, Национальная ключевая лаборатория науки и технологий по интегрированным системам электроснабжения судов, Военно-морской инженерный университет).
2. ИИ для промышленности: как нейросети помогают сделать предприятия безопаснее и эффективнее // ComNews. – 2024. – 17.06. – URL: <https://www.comnews.ru/digital-economy/content/233760/2024-06-17/2024-w25/1016/ii-dlya-promyshlennosti-kak-neyroseti-pomogayut-sdelat-predpriyatiya-bezopasnee-i-effektivnee> (дата обращения: 25.06.2024).
3. ИИ и машинное обучение в обрабатывающей промышленности // AllSee.Team. – 2023. – URL: <https://allsee.team/ai-and-ml-in-manufacturing-industry> (дата обращения: 25.06.2024).
4. Хабр. «Промышленный интеллект», или как мы создали нейросеть для контроля качества продукции машиностроительного завода 12.05.2023. – URL: <https://habr.com/ru/articles/787602/> (дата обращения: 25.06.2024).
5. Гайсина А. Р., Фаткуллин И. Ж. Диагностика нефтяного оборудования с помощью нейронных сетей // Научный лидер. – 2024. – №18(168). – URL: <https://scilead.ru/article/6338-diagnostics-neftyanogo-oborudovaniya-s-pomoshchyu-nejronnykh-setey> (дата обращения: 25.06.2024).
6. Ученые ТГУ с помощью нейросети диагностируют качество электроники, 15.03.2024. – URL: <https://news.tsu.ru/news/uchenyne-tgu-s-pomoshchyu-neyroseti-diagnostiruyut-kachestvo-elektroniki/> (дата обращения: 25.06.2024).
7. Одинаев В.А., Шигапов И.И., Долгов В.А., Саськов К.Г. Математическая модель дизель-генератора переменного тока со статической нагрузкой // Вестник ЮУрГУ. – Сер.: Математика. Механика. Физика. – 2024. – Т.16. – № 4. – С. 56–66.
8. Переносной диагностический комплекс / НПФ «Меридиан». 2023. – URL: <https://npfmeridian.ru/products/bios/remote-diagnostic-complex/> (дата обращения: 25.06.2024).
9. Одинаев В.А., Шигапов И.И., Долгов В.А., Саськов К.Г. Применение переносных диагностических комплексов для объективной оценки технического состояния судового энергетического оборудования // Морской вестник. – 2024. – №3(91). – С. 66–72.
10. Сергеев А.П., Тарасов Д.А. Введение в нейросетевое моделирование: учеб. пособие – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2017. – 128 с. ■

Имитационное моделирование ионосферных каналов связи находит применение при разработке новых комплексов КВ радиосвязи, а также для диагностики и технического обслуживания уже существующих комплексов этой радиосвязи [1]. Известны такие базовые модели ионосферного канала, как модель Ваттерсона, модели Воглера и Хоффмайера, В.Э. Герма, Н.Н. Зернова и Стрэйнджвэйса, модель Яу. Наиболее распространенной и рекомендованной к применению IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) моделью ионосферного канала является статистическая модель Ваттерсона.

В работе предлагается к рассмотрению вариант усовершенствования модели Ваттерсона с учетом данных, полученных при практическом проведении радиочастотных мониторингов КВ-радиолиний.

Также предлагается модель ионосферного канала на основе стохастических дифференциальных уравнений (СДУ), которая позволяет непосредственно формировать случайные процессы в канале с заданными статистическими характеристиками.

МОДЕЛЬ ВАТТЕРСОНА

Схема модели Ваттерсона [2] приведена на рис. 1.

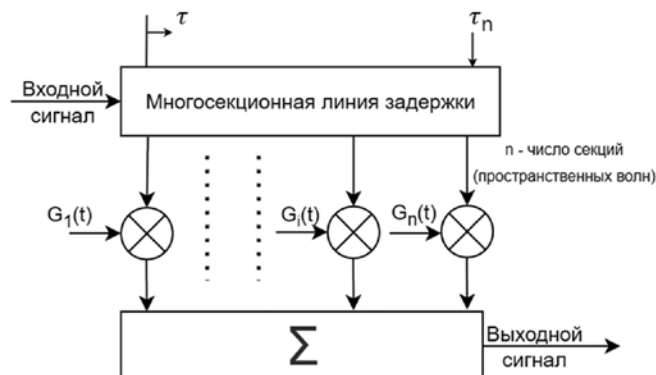


Рис. 1. Схема модели Ваттерсона

В данном случае ионосферный канал моделируется следующим образом: входной сигнал подается на линию задержки, с которой берутся отводы, причем каждый из последующих задержан на время Δt относительно предыдущего. В этом случае сигнал модулируется случайной комплексной функцией времени $G_i(t)$, состоящей из двух компонент a и b .

$$G_i(t) = G_{ia}(t) \exp(j2\pi f_{ia}t) + G_{ib}(t) \exp(j2\pi f_{ib}t). \quad (1)$$

Составляющие a и b обозначают компоненты двух лучей магнитоионного расщепления для сигнала i -го отвода; $G_{ia}(t)$ и $G_{ib}(t)$ представляют два комплексных независимых гауссовых эргодических случайных процесса с нулевым математическим ожиданием, каждый из которых имеет независимые действительную и мнимые части, вызывающие рэлеевские замирания. Обе компоненты имеют частотный сдвиг f_{ia} и f_{ib} и среднеквадратическое отклонение σ_{ia} и σ_{ib} . Коэффициенты $G_{ia}(t)$ и $G_{ib}(t)$ имеют спектр, представляющий сумму двух магнитоионных компонент, каждая из которых представляет собой гауссовскую функцию частоты:

$$H(f) = \frac{1}{A_{ia} \sqrt{2\pi\sigma_{ia}^2}} \exp\left(-\frac{(f-f_{ia})^2}{2\sigma_{ia}^2}\right) + \frac{1}{A_{ib} \sqrt{2\pi\sigma_{ib}^2}} \exp\left(-\frac{(f-f_{ib})^2}{2\sigma_{ib}^2}\right), \quad (2)$$

где A_{ia} и A_{ib} – коэффициенты затухания двух магнитоионных компонент.

Спектр комплексной функции рассеяния Ваттерсона $G_i(t)$ представляет собой независимое двумерное гауссово распре-

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ ИОНОСФЕРНОГО КАНАЛА СВЯЗИ

Е.И. Глушанков, д-р техн. наук, проф. СПбГУТ,

Е.А. Рылов, канд. техн. наук, ген. директор АО «НПО «Завод «Волна»,

К.В. Гольдибаев, ген. директор,

А.В. Сорокин, зам. ген. директора – главный конструктор,

Е.В. Галузов, начальник отдела внедрения аппаратных платформ, АО «ПКБ «РИО»,

контакт. тел. (812) 313 6181

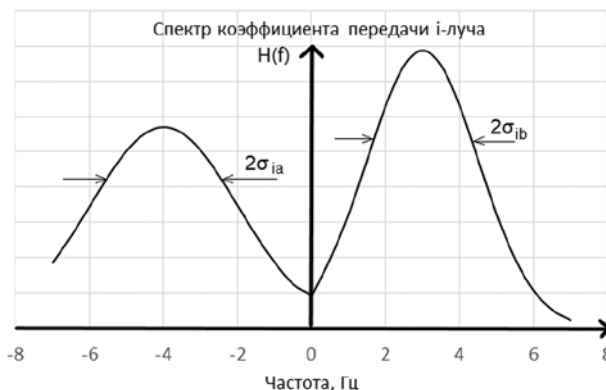


Рис. 2. Спектр комплексной функции передачи i -го луча

деление (рис. 2). Известно, что модуль комплексной переменной независимого двумерного гауссовского случайного процесса имеет распределение Рэлея. Таким образом, в каждом i -луче формируются хорошо известные рэлеевские замирания, характерные для коротковолновых волн, распространяющихся через ионосферный канал.

Для моделирования такой функции используются два независимых генератора белого шума с равномерной спектральной плотностью мощности, после чего сигналы от них проходят через полосовые фильтры с гауссовой характеристикой. В результате получается случайный процесс с гауссовым распределением по времени и частоте.

Особенность модели Ваттерсона – это хорошее моделирование канала со временем работы до 10 минут и плохое соответствие реальному каналу при длительной работе. Долговременные изменения ионосферных слоев не учитываются.

Коэффициенты затухания A_{ia} и A_{ib} в комплексном коэффициенте передачи i -луча модели Ваттерсона имеют значения, не зависящие от частоты. На основании зависимостей, полученных при практическом проведении радиочастотных мониторингов КВ-радиолиний, предлагается ввести матрицу затуханий, зависящую по одной оси от времени суток, а по другой оси от частоты сигнала (см. рис. 3).

Таким образом, при моделировании можно указать желаемое время суток моделирования. Для сигналов, соответствующих оптимальной рабочей частоте, результат моделирования совпадает с результатом классической модели Ваттерсона. А при отклонении частоты от оптимальной будет применяться затухание (увеличение коэффициента A_i в спектре i -луча), которое в сторону уменьшения частоты обусловливается увеличением затухания более низких частот в слое D ионосферы, а в сторону увеличения частоты будет определяться увеличением критического угла отражения от слоя $F2$ и соответственно ограничением МПЧ (максимальной применимой частоты). График суточной матрицы частотно-селективных затуханий приведен на рис. 3.

Модифицированная модель Ваттерсона была реализована в среде Matlab/Simulink для исследования различных сигналов при прохождении через имитатор с параметрами

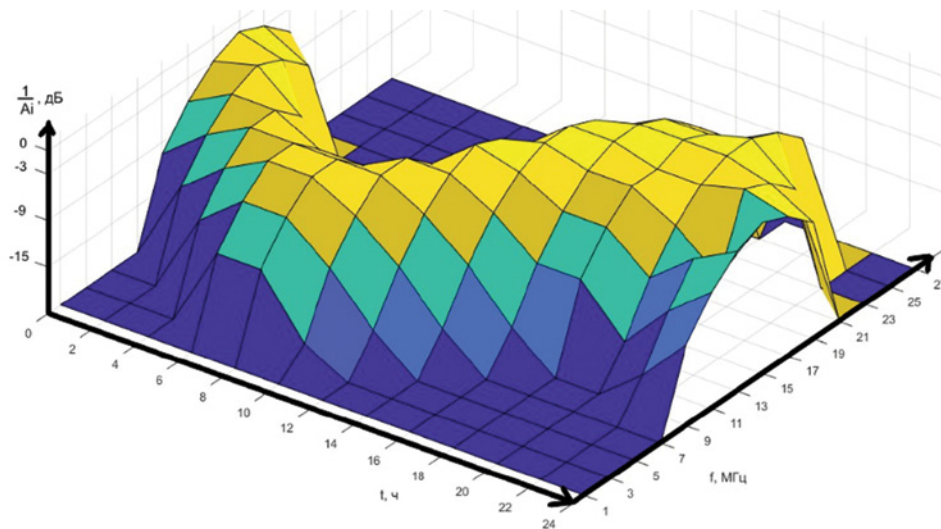


Рис. 3. График суточной матрицы частотно-селективных затуханий

для разных типов канала (плохой/средний/хороший, высокоширотный/низкоширотный).

МОДЕЛЬ НА ОСНОВЕ СТОХАСТИЧЕСКИХ УРАВНЕНИЙ

Второй предлагаемой моделью ионосферного канала является модель на основе СДУ, которая в отличие от модели Ваттерсона позволяет описывать нестационарные случайные процессы, что важно при моделировании быстрых замираний в ионосферном канале.

Общий вид СДУ, описывающего нестационарный случайный процесс, для одномерного случая записывается следующим образом:

$$\frac{dx(t)}{dt} = f(x(t), t) + g(x(t), t)v(t). \quad (3)$$

где $x(t)$ – моделируемый векторный случайный процесс, $f(x(t), t)$ и $g(x(t), t)$ – одномерные коэффициенты СДУ, $v(t)$ – белый гауссовский шум (БГШ) со спектральной плотностью мощности N_0 . Данная скалярная модель описывает узкополосные процессы в каналах без памяти. Для моделирования широкополосных процессов и учета памяти требуется увеличение размерности и переход к моделированию векторных случайных процессов с помощью многомерных СДУ [6, 7].

Коэффициенты СДУ (3) однозначно связаны с коэффициентами сноса и диффузии диффузионного марковского процесса следующим образом:

$$a(x(t), t) = f(x(t), t) + \frac{1}{4} \frac{\partial b(x(t), t)}{\partial x}; \quad b(x(t), t) = \frac{1}{2} N_0 g^2(x(t), t), \quad (4)$$

где $a(x(t), t)$ – коэффициент сноса, характеризующий среднее значение локальной скорости марковского процесса, $b(x(t), t)$ – коэффициент диффузии, характеризующий локальную скорость изменения дисперсии приращения, N_0 – спектральная плотность мощности БГШ.

Возможно однозначно определить коэффициенты сноса и диффузии по коэффициентам СДУ и наоборот – коэффициенты СДУ по коэффициентам сноса и диффузии:

$$f(x(t), t) = a(x(t), t) - \frac{1}{4} \frac{\partial b(x(t), t)}{\partial x}; \quad g(x(t), t) = \sqrt{\frac{2b(x(t), t)}{N_0}}. \quad (5)$$

Так как для ионосферного канала при скачковом распространении в отсутствие прямой поверхностной волны характерны замирания, описываемые рэлеевским законом, как показано в [6], взяв распределение Рэля:

$$W(\mu(t)) = \frac{\mu(t)}{\sigma^2(t)} \exp\left(-\frac{\mu^2(t)}{2\sigma^2(t)}\right), \quad (6)$$

где $\mu(t)$ – коэффициент передачи канала, $\sigma^2(t)$ – дисперсия

сигнала и записав его в виде уравнения Фокера–Планка–Колмогорова (УФПК)

$$\frac{\partial}{\partial t} W(x(t), t) = -\frac{\partial}{\partial x} (a(x(t), t)W(x(t), t)) + \frac{1}{2} \frac{\partial^2}{\partial x^2} (b(x(t), t)W(x(t), t)) \quad (7)$$

мы получим уравнение с двумя неизвестными – коэффициентами сноса и диффузии. Поэтому для нахождения решения, как правило, вводят дополнительные ограничения на один из коэффициентов и из УФПК определяют другой или используют различные приближенные методы поиска.

По полученным коэффициентам для распределения Рэля, как показано в [7], получается следующее СДУ:

$$\frac{dx(t)}{dt} = -\frac{4\sigma^2(t)}{N_0} x(t) + \frac{N_0}{4x(t)} + v(t). \quad (8)$$

Для удобства моделирования в среде Matlab/Simulink можно осуществить переход от СДУ к разностному стохастическому уравнению (РСУ) по разностной схеме Эйлера первого порядка следующим образом:

$$\frac{dx(t)}{dt} = \frac{x(k+1) - x(k)}{\Delta t}. \quad (9)$$

Полученное РСУ для распределения Рэля имеет вид:

$$x(k+1) = \left(-\frac{4\sigma^2}{N_0} x(k) + \frac{N_0}{4x(k)} + v(k)\right)\Delta t + x(k). \quad (10)$$

Для оценки адекватности модели в виде (10) проводилось сравнение выборочных данных, получаемых из уравнения (10), с теоретическим распределением Рэля по критерию согласия. Результаты совпадали с вероятностью попадания в доверительный интервал 0,88–0,92, что показывает достаточно высокую точность моделирования.

Кроме распределения Рэля с помощью СДУ (3) возможно моделирование и других распределений: Райса, Накагами и обобщенного четырехпараметрического распределения Райса-Накагами [6, 7].

Для получения зависимости моделируемого сигнала от времени возможны следующие варианты: использовать полученное РСУ для модуляции амплитуды по закону Рэля, а изменение фазы сигнала принять с равномерной плотностью вероятности распределения в диапазоне от 0 до 2π либо получить сигнал, состоящий из двух квадратур, модулируемых функциями собственного независимого СДУ, фаза обеих квадратур при этом принимается за константу. Приняв для удобства второй вариант, получили результаты моделирования прохождения тестового сигнала в канале на основе РСУ в среде Matlab/Simulink:

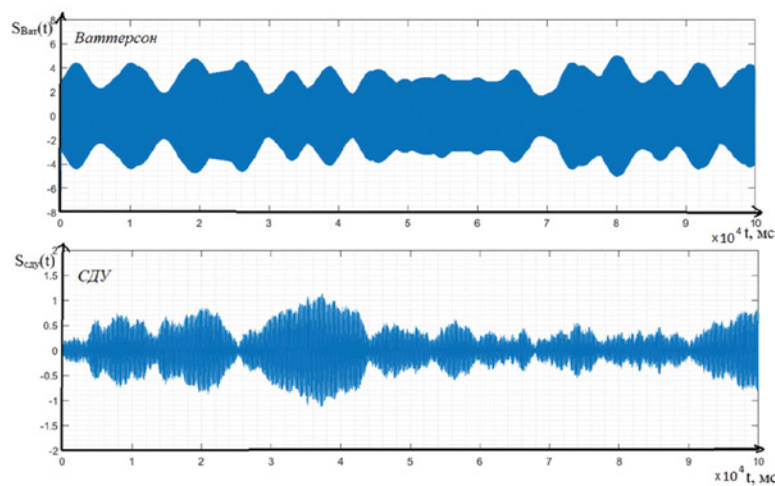


Рис. 4. График выходного сигнала на модифицированной модели Ваттерсона и модели на основе СДУ

$$S(k) = x_I(k) \sin(2\pi f_k \Delta t) + x_Q(k) \cos(2\pi f_k \Delta t). \quad (11)$$

На рис. 4 представлены осциллограммы сигналов с выхода имитаторов на основе модели Ваттерсона и на основе СДУ.

Для сравнения результатов моделирования в схемах Ваттерсона и РСУ было проведено исследование прохождения QPSK-модулированного сигнала с разными полосами частот. Параметры Δt и f_c в модели Ваттерсона были приняты постоянными, соответствующими рекомендациям для среднего канала [3, 4]. Параметры Δt и N_0 в модели РСУ определены таким образом, чтобы при прочих равных условиях в обеих моделях были близкие результаты для узкополосного немодулированного сигнала (несущей). Было исследовано сигнальное созвездие и количество битовых ошибок для разных полос QPSK сигнала. На рис. 5 показаны сигнальные созвездия для полос 4 и 16 кГц для двух моделей. Как и описано в теории [2], модель Ваттерсона хорошо моделирует канал для сигналов с полосой до 10 кГц, а при прохождении сигналов с полосой более 10 кГц возникает большое число ошибок даже при параметрах для среднего и хорошего канала.

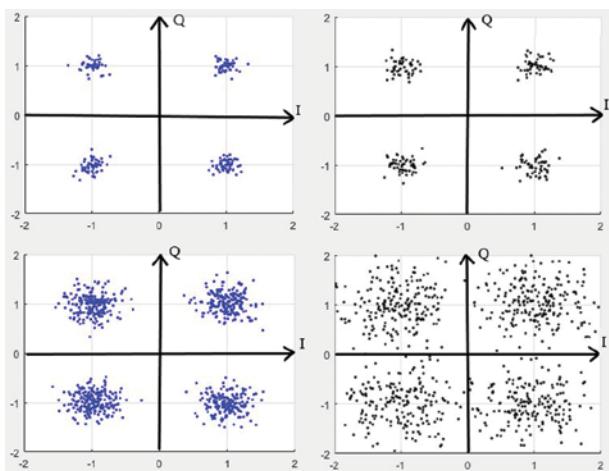


Рис. 5. I/Q созвездие QPSK-сигнала прошедшего через имитаторы ионосферного канала. Слева (синий) – через модель на основе РСУ, справа (черный) – через модель Ваттерсона, сверху сигналы с полосой 4 кГц, снизу – 16 кГц

Сравнительный анализ моделей показывает, что модель на основе РСУ демонстрирует лучшие результаты при увеличении полосы полезного сигнала. Анализ сравнения по критерию согласия показал, что у модели на основе СДУ вероятность совпадения с реальными характеристиками сигналов составляет 0,87–0,92, а у модели Ваттерсона – 0,69–0,74, что позволяет сделать вывод о большей адекватности модели СДУ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Одной из наиболее сложных и дорогих частей испытаний при разработке радиоаппаратуры КВ-диапазона являются трассовые испытания на реальных радиолниях. Это требует наличия высококвалифицированных сотрудников на значительно удаленных объектах и обеспечения их независимым каналом связи между объектами для проведения встречных настроек радиоаппаратуры, что не всегда возможно.

Упростить трассовые испытания можно только проведением полноценных испытаний на стенде предприятия-изготовителя при наличии качественного имитатора КВ-канала, для этого требуются точные математические модели. При наличии качественной математической модели канала построение полноценного имитатора канала связи становится рядовой инженерной задачей.

На основе указанных выше улучшений математической модели Ваттерсона, а также на основе теории стохастических дифференциальных уравнений были построены два программных имитатора ионосферного коротковолнового канала связи в средах Matlab/Simulink, и данные модели внедрены в аппаратные имитаторы коротковолнового канала на основе технологии SDR (software-defined radio).

ЛИТЕРАТУРА

1. Викторов М.А. Современные имитационные модели каналов радиосвязи декаметрового диапазона // Инструменты, механизмы и технологии современного инновационного развития: Сб. ст. Международ. науч.-практ. конф. 25 февраля 2020 г. – Пермь: Науч.-изд. центр «АЭТЕРНА», 2020. – С. 9–14.
2. Waterson C., Juroshek J., Bensema W. // IEEE Trans// Commun. Techn. – 1970. – Vol. 18. – No. 6. – P. 792.
3. CCIR Recommendation 520-1 19821 «Use of High Frequency Ionospheric Channel Simulators». – Geneva: Int. Telecom. Union, 1995.
4. ITU-R Rec. F1487 «Testing of HF Modems with Bandwidth of up to about 12 kHz Using Ionospheric Channel Simulator». – Geneva: Int. Telecom. Union, 2000.
5. Метелев С.А. Модификация модели Ватерсона ионосферного канала коротковолновой радиосвязи для адаптивного пространственно-разнесенного приема // Изв. вузов. – Сер.: Радиофизика. – 2012. – Т. 55. – № 4. – С. 266–279.
6. Глушанков Е.И., Контарович В.Я., Караваев Д.А. Математическое моделирование сигналов в непрерывных каналах связи в форме стохастических дифференциальных уравнений // Системы управления, связи и безопасности. – 2023. – № 4. – С. 1–35. DOI: 10.24412/2410-9916-2023-4-1-35
7. Глушанков Е.И., Колесников А.Н., Контарович В.Я. Математическое моделирование каналов связи в радиорелейных и тропосферных линиях. – Л.: Изд. ВАС, 1989. – 90 с. ■

Развитие различных систем связи в мире за последнее десятилетие позволило человечеству обмениваться самой различной информацией фактически в квазиреальном масштабе времени (по отношению к тем или иным происходящим событиям) и в объемах, достигающих в сутки миллиардов гигабайт. Данный рост объема и оперативности передачи информации не некий самоцель человечества, он обусловлен постоянным ростом сложности задач, которые ему необходимо решать для своего выживания в широком смысле этого слова. По своему происхождению данные задачи условно можно разделить на три больших класса: природные, социальные и техногенные, но все они требуют определенных действий людей, направленных на их разрешение.

Достижение положительных результатов при их решении в настоящее время немыслимо без организованных соответствующим образом координирующих центров, обычно именуемых системами управления. Следует отметить, что такие системы управления относятся к классу организационно-технических, и им присущи все черты сложно-динамических систем, в которых обязательно присутствует активно и целенаправленно действующий человек. Поэтому такие системы еще называют эргатическими или эргатехническими.

Опыт создания и применения подобных «человеко-машинных» систем показывает, что их роль в мире неуклонно возрастает. Наряду с этим по мере усложнения данных систем все острее становятся потери от несоответствия характеристик аппаратно-программных средств возможностям человека.

В соответствие с современными взглядами военного командования армий иностранных государств война может быть развернута внезапно или после заблаговременной подготовки. Наиболее эффективным способом считается внезапное нападение. Для достижения такой цели уже в мирное время созданы и продолжают наращиваться группировки войск и главные командования на театре военных действий. Совершенствуется оперативное оборудование театров, содержатся в высокой готовности средства поражения. Непрерывно ведется комплексная техническая разведка.

Для защиты национальных интересов, независимости и территориальной целостности РФ созданы силовые структуры, основой которых являются ее Вооруженные силы (ВС). В рамках концепции строительства ВС в качестве одними из важнейших слагаемых боевого потенциала войск рассматриваются совершенствование систем управления и связи, повышение эффективности их функционирования как в мирное время, так и в угрожаемый период и, тем более,

УСЛОВИЯ ОБНАРУЖЕНИЯ НАРУШЕНИЙ БЕЗОПАСНОСТИ СВЯЗИ В СЕТЯХ СВЯЗИ ЕДИНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ВОЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Ю.С. Азизян, руководитель проекта Отдела сопровождения проектов,
В.А. Долгих, ген. директор,
АО «НТИ «Радиосвязь»,
контакт. тел. (812) 305 2520, azizyan_us@ntiradio.ru

на этапе боевого применения войск. Мировой практикой доказано, что успех боевых действий в современных условиях в значительной степени определяется не только количеством войск и сил противоборствующих сторон, но и тем, насколько скрытно, непрерывно и устойчиво осуществляется управление ими.

В настоящее время информация и информационные технологии стали фактически средством борьбы наряду с вооружением и военной техникой, которые применяются в целях физического разрушения инфраструктуры противоборствующих сторон и навязывания руководству противостоящей стороны решений, соответствующих намерениям другой, при этом центр тяжести информационного противоборства продолжает находиться в области разведки и противодействия ей. Субъектами информационного противоборства являются как объекты управления высших органов управления государства, так и объекты управления, связи и автоматизации войск.

В последние годы в ВС США и основных государствах НАТО практически полностью обновлен парк аппаратуры разведки. При этом темпы развития средств добывания информации (комплексной разведки) примерно в три раза превышают темпы разработки и производства других видов радиоэлектронного оборудования.

Основные усилия и ресурсы системы технической разведки иностранных государств, прежде всего стран НАТО, нацелены на территорию России. Концепция НАТО обосновывает это тем, что Российская Федерация является одной из ведущих ядерных держав. Все это было отчетливо сформулировано еще в 2003 г. Президентом США Д. Бушем в докладе Конгрессу «О национальной безопасности». Можно выделить два ключевых момента данного документа, которые в настоящее время влияют на многие вопросы, в том числе и на подходы к постановке и решению задач. Один из них состоит в том, что в связи с вооруженным конфликтом на Украине ресурсы систем разведки США и НАТО сейчас и в обозримой перспективе будут нацелены на

территорию Российской Федерации. Вторым моментом заключается в переносе усилий технической разведки иностранных государств непосредственно на территорию России прежде всего за счет включения в активную разведывательную деятельность всех иностранных представительств (посольств и консульств), офисов иностранных фирм и совместных предприятий. Как и прежде, к основным объектам разведки иностранные военные специалисты относят объекты управления группировками войск (сил).

В силу специфики организации, технического оснащения и реального применения объектов, прежде всего стационарных, средств связи и автоматизации для них наибольшую опасность в настоящее время представляют системы и технические средства радиоразведки и агентурно-технической разведки, использующей малогабаритные автономные средства.

При этом обеспечивается выявление демаскирующих признаков (оперативно-тактических и технических) как объектов, так и отдельных средств. Может быть осуществлен непосредственный доступ к содержанию информации, передаваемой по линиям и каналам связи. Возможен и широко используется в практике иностранных разведок перехват побочных электромагнитных излучений и наводок (ПЭМИН) технических средств обработки информации (ТСОИ), который позволяет добывать сведения, содержащиеся в исходном варианте представления сообщений (речевых, текстовых, графических, табличных). В последнее время возросла реальность привлечения к разведывательной деятельности физических лиц, опасность их доступа к содержанию информации в любых структурах, в том числе и в органах управления ВС РФ.

Для достижения требуемого уровня безопасности информации на объектах управления, связи и автоматизации предназначена система контроля безопасности связи и информации (СКБСИ). Качество реализации этих мер проверяется в процессе контроля безопасности связи и информации.

Одним из основных условий качественного решения задач обеспечения бе-

зопасности связи и информации является эффективное функционирование СКБСИ, основными задачами которой являются:

- выявление и оперативное пресечение нарушений безопасности связи при передаче информации по каналам и линиям действующей связи;
- выявление источников взаимных радиопомех;
- выявление и закрытие каналов возможной утечки секретных сведений

В конце 1941 г. в блокадном Ленинграде, на Ленинградском фронте и на Краснознаменном Балтийском флоте (КБФ) сложилась катастрофическая ситуация с топливом. Определенная часть топлива была получена благодаря водному сообщению по Ладожскому озеру. Однако это в полной мере не решило проблемы. Так, например, в ноябре–декабре 1941 г. в распоряжении КБФ имелось: угля на восемь дней, мазута, солярки, бензина – на 12–41 день. По этой причине командованием флота было законсервировано 153 судна. Здания и сооружения КБФ, значительное количество кораблей были переведены на дровяное отопление [1, л. 63]. При этом значительное количество топлива было передано флотом для нужд блокадного города, а именно хлебозаводам и госпиталям [1, л. 64]. Вместе с тем в топливе нуждался и Ленинградский фронт, без которого возникали проблемы с использованием танков и авиации.

Транспортное сообщение, которое было налажено по льду Ладожского озера, позволило лишь минимально обеспечить потребности армии, флота и города, а не решить проблему в целом. С началом навигации по Ладожскому озеру в 1942 г. данная проблема была решена опять же только частично. Получаемый объем топлива позволял выживать, но не побеждать. Для прорыва блокады Ленинграда нужно было увеличить поставки топлива многократно. Использование большегрузных железнодорожных озерных барж для транспортировки железнодорожных цистерн с горючим не могло полностью удовлетворить запросы и потребности ни Ленинградского фронта, ни КБФ, ни предприятий промышленности города. Вопрос требовал кардинального решения, и его нашли.

25 апреля 1942 г. Государственный комитет обороны (ГКО) издал Постановление № 1652 «Об обеспечении топливом Ленинграда». Ключевая роль при этом отводилась прокладке по дну Ладожского озера трубопровода, проект которого был разработан и предложен специалистом-водолазом Н. В. Соколовой. Она же приняла активное участие

- за счет ПЭМИН при использовании ТСОИ и средств связи для обработки и передачи секретной информации;
- контроль текущего состояния безопасности связи и информации на объектах системы связи, в воинских частях;
 - выявление и анализ технических демаскирующих признаков средств связи.

С развитием информационных технологий и ТСОИ, изменениями опера-

тивной обстановки требуется пересмотр задач, способов, методов и средств обеспечения СКБСИ, которые фактически пока остались на уровне развития второй половины прошлого века.

Структуризация задач совершенствования управления позволяет выделить подзадачу повышения эффективности управления посредством обнаружения нарушений безопасности связи в сетях связи единой системы управления военного назначения. ■

ПРОКЛАДКА ПОДВОДНОГО ТРУБОПРОВОДА В БЛОКАДНЫЙ ЛЕНИНГРАД

В. Н. Половинкин, д-р техн. наук, проф., заслуженный деятель науки РФ, науч. руководитель ФГУП «КГНЦ»,

С. В. Федулов, д-р истор. наук, доцент, проф.

В. А. М. Ф. Можайского, действительный член Академии военных наук,

В. Э. Руденко, инженер НИО НИЦ

Михайловской военной артиллерийской академии

контакт. тел. + 7 (981) 170 1990



Подполковник Н. В. Соколова

в прокладке по Ладоге подводного кабеля [2, с. 200–201]. За проявленное мужество и героизм ее наградили двумя орденами Красной Звезды, орденами Отечественной войны 2-й степени и «Знак Почёта», различными медалями.

Ведущая роль в прокладке трубопровода отводилась флоту. Так, во исполнение Постановления ГКО №-1652 приказом наркома ВМФ №-00124 на КБФ возложено его выполнение в установленный срок – 20 июня 1942 г. Для этого следовало:

1. Получить от Главнефтеспецстроя указания о местах развозки труб по воде и их прокладке.

2. Выделить необходимое количество речных буксиров, озерных барж, требующихся для своевременной реализации

указаний Главнефтеспецстроя по прокладке труб в соответствии с требованием Экспедиции подводных работ особого назначения (ЭПРОН).

3. Выполнить промеры по трассе трубопровода и наметить места створных знаков для обозначения трассы.

4. Получить от Ленинградского фронта необходимое количество мотоботов для подсобных работ по строительству трубопровода на Ладожском озере.

5. Договориться с Военным советом Ленинградского фронта об организации активных средств ПВО по трассе во время строительства и обеспечении телефонной связью на это время строительства и затем эксплуатации.

6. После окончания строительства трубопровода представить список отличившихся на работах для премирования [3, л. 2–3].

Все подготовительные работы были выполнены точно и в срок.

Необходимо отметить, что в тяжелейших прифронтовых условиях только силами и средствами, имеющимися в блокадном городе, пришлось строить уникальный объект и принимать сложные, необычные технические решения.

Для озерной части трубопровода использовали нарезные трубы, соединенные в секции на муфтах. Длина секции составляла 200 м. Соединение секций между собой осуществлялось сваркой и выполнялось на спусковой дорожке при протягивании трубопровода в озеро и на плаву на рефулерном плоту. Для удобства стыковки на плаву сварные соединения имели муфты длиной по 40 см. Муфты одним

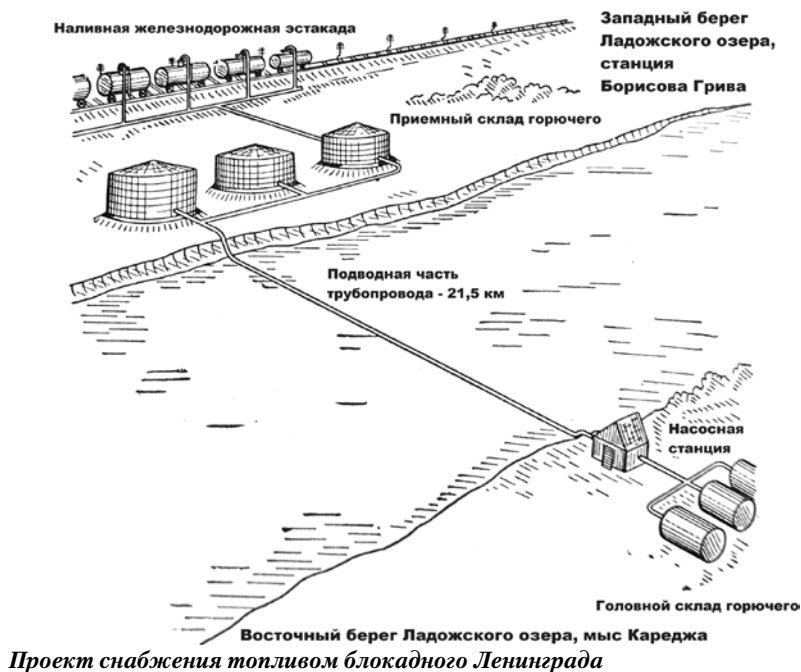
концом приваривались к секции на берегу, а вторым на плаву, после совмещения трубопровода.

В береговой части с глубины 1,5 м трубопровод укладывался в траншею по условиям видимости с воздуха и сохранения при подвижке льдов. В озерной части трубопровод закреплялся грузами массой по 30 кг через 40–50 м [3, л. 6]. Для уменьшения собственного веса трубопровода использовались поддерживающие бревенчатые боны из бревен диаметром 24 см, закрепленных на пеньковых концах к трубопроводу по всей его длине. Длина бон составляла 80 м. Опоры при буксировке трубопровода располагались через 100 м и состояли из плотов с подвесками [3, л. 6об.].

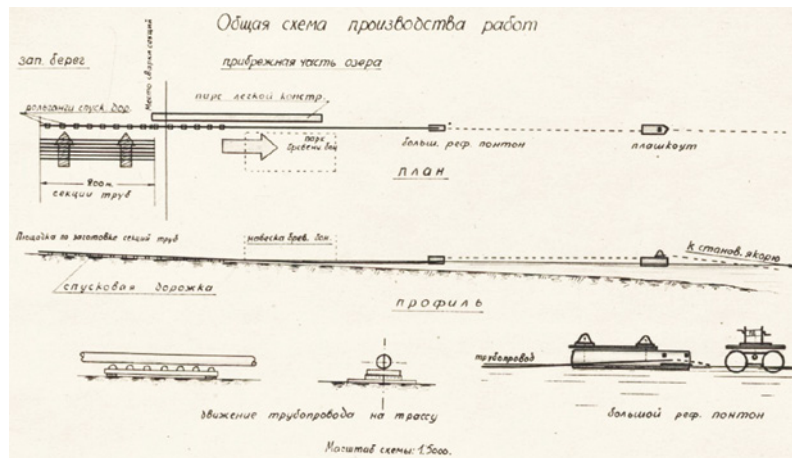
Береговая часть трубопровода длиной до 3000 пог. м укладывалась на трассу путем постепенного вытягивания отдельных секций с берега и протаскивания их во взвешенном состоянии при помощи бревенчатых бон и поплавков. На строительной площадке отдельные звенья труб соединяли резьбовыми муфтами в секции длиной по 200 м каждая, и после их спрессовки, готовые к укладке секции подавали на спусковую дорожку, которая состояла из роликовых широких площадок, расположенных через 20 м друг от друга. На случай возможного перемещения трубопровода в перпендикулярном его движению направлении по длине спусковой дорожки устанавливали свайки диаметром 16–18 см у каждой роликовой площадки.

Непосредственно у берегового уреза к секции трубопровода, находящейся на спусковой дорожке, прикрепляли бревенчатый бон, а через каждые 100 м трубопровод подвешивали на плотик из рефулерных труб. Таким образом трубопровод буксировали на заданной глубине с подвесками через каждые 100 м. Буксировка труб с береговой части трубопровода осуществлялась при помощи буксира, при этом, если тягового усилия буксира было недостаточно, предусматривалась «якорница», которая заводилась буксиром на трассу, устанавливалась на становой якорь и своей лебедкой выбирала трос, закрепленный к трубопроводу. Опускание трубопровода на грунт осуществлялось с поплавков, на которых были установлены ручные полутонные лебедки и ворота. Для равномерного опускания работали сигнальщики с флагом с самоходного бота, находящегося в средней части берегового участка.

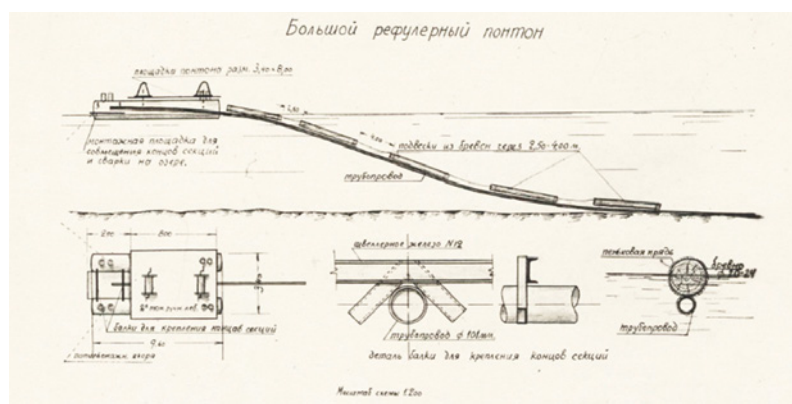
Предварительно лица, выполнявшие лебедочные работы, занятые на погружении, инструктировались о порядке опускания и скорости вращения барабана лебедки или ворота для данного места погружения. В результате трубопровод ложился на грунт вместе с бревенчатыми бонами [3, л. 7]. Головная часть трубопровода, подвешенная на первый



Проект снабжения топливом блокадного Ленинграда



Общая схема производства работ по прокладке трубопровода [4, л. 8]

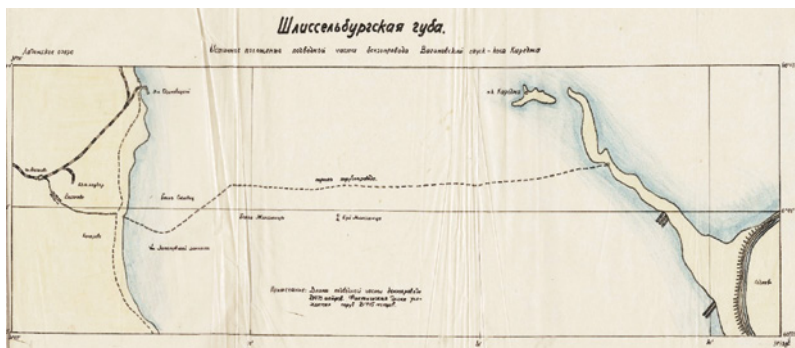


Большой рефулерный понтон [4, л. 11]

поплавков, не погружалась на грунт, а закреплялась на якоря, в дальнейшем к ней подводилась озерная секция для соединения трубопровода на плаву. После погружения на грунт берегового участка (за исключением его головной части) водолазы срезали подвески бревенчатых бон, последние всплывали на поверхность, отводились к берегу для дальнейшего подвешивания и транспортировки озерных секций. Одновременно

со снятием бон трубопровод закрепляли на грунте грузами массой по 80 кг через 40–50 м. Секции озерной части транспортировали к месту укладки длиной от 200 до 600 м. Двухсотметровые секции соединяли на спусковой дорожке при их погружении в воду.

Транспортировку секций озерной части выполняли аналогично вытягиванию берегового участка, т.е. к трубопроводу прикрепляли бревенчатые боны



Маршрут прокладки трубопровода [4, л. 45]

длиной 80 м, через каждые 100 м трубопровод поддерживался подвесками с поплавков, и буксир или бот буксировал принятую на воду секцию к месту нахождения головной части берегового конца. После прибытия и установки на место соединяемые части поднимали на плотик и сваривали. Для удобства сварных работ, а также совмещения соединяемых концов на одном из них устанавливали муфту, в которую вставляли второй конец секции и сближали лебедкой для плотной стыковки, после чего на место соединения накладывался сварной шов. Когда стыковка заканчивалась, секцию погружали с поплавков на грунт аналогично вышеуказанному способу. Длительность сварки на озере зависела исключительно от условий погоды и волны. При штиле время на газовую сварку трех швов составляло 2 часа 30 минут, т. е. столько же, сколько на это требовалось времени при работах на берегу. Средняя длительность сварки секций на озере одного стыка была равна 3 часам 20 минутам [4, л. 22].

Для ускорения работ одновременно с вытягиванием и прокладкой трубопровода с правого берега выполняли прокладку секций с левого берега. В этом случае предусматривалось вытягивание секций, доставленных по озеру на левый берег с помощью лебедки, установленной на берегу. С глубины 1 м и менее трубопровод укладывали на ролики и протягивали без бон. Длина пер-

вой секции левого берега принималась от 200 до 600 м. Уложенную на боны и поплавки с основной стройплощадки секцию левого берега переводили через озеро на левый берег и подавали на трос рабочей лебедки. После выхода головной части трубопровода на сухую часть левого берега трубопровод погружался на грунт, и с него снимали боны. Конец, уходящий в озеро, оставался на плаву для соединения с концом укладываемой озерной секции. Стыковка последней озерной секции с концом левого берега осуществлялась при помощи муфты, которая поглощала избыточную длину соединяемых труб [3, л. 70б.].

Вся работа по транспортировке и укладке секций была рассчитана на штилевую погоду на озере. При наличии волнения свыше 1 балла работы прекращали, и трубопровод погружался на грунт вне зависимости от места его нахождения. Плавсредства ставили на якоря, и они отставались на месте. При волнении свыше 3 баллов все плавсредства уводили в Осиновецкую бухту, а трубопровод закрепляли на грунте вместе с бонами с установлением буйков. С наступлением штиля трубопровод поднимали на поплавки, и работу продолжали [3, л. 8]. За все время работ было восемь штормовых дней, в которые работы на озере не вели [3, л. 190б.].

В период с 21 мая по 12 июня 1942 г. была проведена укладка трубопровода в подводной части озера общим протя-

жением 21 445 м. При этом прибрежный участок западного берега протяженностью 1975 пог. м вытягивался непосредственно с берега. Озерная часть была подана к месту стыкования секциями от 800 до 1200 пог. м, а в отдельных случаях 1600 и 2000 пог. м [3, л. 19]. Глубина погружения трубопровода в озерной части максимально составляла 12,2 м, средние глубины – от 6 до 8 м. Прибрежный участок восточного берега был втянут в озеро на 1150 пог. м.

Непосредственно в работах по прокладке подводного трубопровода принимали участие Ладжская военная флотилия и ЭПРОН, а именно буксир «Красная звезда», катера типа «Кастака» – 2 ед. («Победа» и «Сакко»), катера ЗИС – 3 ед., водолазные боты – 3 ед. (ВРД-13, ВРД-14, «Дельфин»), большие и малые рефулерные понтоны, плашкоут, оборудованный лебедкой, станowymi якорями и оснащенный такелажем, стальная баржа № 81, необходимый такелаж и оснастка находились на месте проведения работ. Личный состав – водолазы, такелажники и плотники. Подсобных рабочих направляла строительная организация [3, л. 13].

Таким образом, в кратчайшие сроки люди совершили невозможное: в авральном режиме, под немецкими бомбами и снарядами сварили 5800 стыков, смонтировали 2100 кубометров емкостей, проложили 21 445 м труб по дну озера и 8 км на берегу, построили головную насосную станцию на мысе Кареджа и наливную станцию в Борисовой Гриве, протянули новые железнодорожные ветки.

Пропускная способность магистрали составила около 150 т в сутки. С июня 1942 по март 1943 г. по Ладоге поступило свыше 40 000 т горючего. Подводная топливная магистраль высвободила транспорт для доставки других грузов и сделала Ленинградский фронт, КБФ независимым от ледоходов, штормов и метелей. Обнаружить и разбомбить топливную магистраль с воздуха немцы так и не смогли [5], что позволило в январе 1943 г. прорвать, а в январе 1944 г. полностью снять блокаду Ленинграда.



Прокладка трубопровода по специальной спусковой дорожке на рольгангах

ЛИТЕРАТУРА

1. Филиал ЦАМО РФ (архив ВМФ). Ф. 203. Оп. 103. Д. 1.
2. Федюлов С. В., Половинкин В. Н., Соколов В. В. Водные дороги жизни блокадного Ленинграда: малоизвестные страницы. – СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2023. – 404 с.
3. Филиал ЦАМО РФ (архив ВМФ). Ф. 171. Оп. 1. Д. 47.
4. Филиал ЦАМО РФ (архив ВМФ). Ф. 171. Оп. 1. Д. 18.
5. Нитка под Ладогой. Как тянули бензопровод в блокадный Ленинград. – РИА Новости, 28.01.2019. – [Электронный ресурс] <https://ria.ru/20190128/1549934840.html> (дата обращения 03.04.2024). ■

Одно из крупнейших сражений эпохи парусного флота – Чесменское – между русским и турецким флотами в Эгейском море у западного побережья Турции произошло во время русско-турецкой войны 1768–1774 гг. Подвиг, совершенный тогда российскими моряками, золотыми буквами вписан в анналы русского военно-морского искусства и пополнил боевую летопись отечественного флота.

Впервые в военно-морской истории России произошло событие, которое в корне изменило ситуацию в восточной части Средиземного моря, на театрах военных действий на Дунае и на Чёрном море. Оно вызвало большой резонанс не только в Османской империи, но и во всех европейских государствах, подняло престиж России и возвело ее на уровень ведущей морской державы наряду с Англией и Францией.

Две эскадры русского флота совершили переход из Балтийского в Средиземное море в конце 1769 – начале 1770 гг. После нескольких стычек с турками удалось нанести турецкому флоту сначала поражение в Хиосском проливе 5 июля 1770 г. (по н.ст.), а через два дня напасть на него в Чесменской бухте, куда турецкая эскадра скрылась под защиту береговой цитадели. В Хиосском проливе русские корабли с ходу атаковали турецкий флот на рейде. Во время ожесточенного боя взорвались оба флагмана – русский «Св. Евстафий» и османский «Бурдж-у-Зафер». В ночь с 6 на 7 июля русский флот сжег турецкий своим артиллерийским огнем.

В Чесменском сражении турецкий флот имел двукратный перевес в силах и орудиях, и это не считая береговых батарей. У турок было уничтожено 15 кораблей, 4 фрегата, 5 галер и множество мелких судов; 66-пушечный корабль «Родос» и 5 галер были взяты в плен. Турецкий флот понес огромные потери в личном составе – 10–11 тысяч человек. Русский флот в этот день потерь в кораблях не имел. Погибло 11 человек. В итоге – блестящий успех русского флота, который позволил установить военное господство в прилегающем районе и контроль над проливом Дарданеллы. Это сыграло важную роль при заключении впоследствии Кючук-Кайнарджийского мирного договора.

Главкомандующий морскими и сухопутными силами России граф Алексей Григорьевич Орлов доложил Екатерине II: «В четыре часа времени не осталось сего великого вооружения ничего, кроме печальных следов разбросанных частей по всему берегу и порту. Англичане, французы, венециане, мальтийцы, живые свидетели всем действиям, признавались, что никогда не представляли себе, чтоб можно было

ВЕЛИКАЯ ПОБЕДА - ЧЕСМЕНСКИЙ ТРИУМФ РОССИЙСКОГО ФЛОТА

С. Н. Ирютин, канд. воен. наук, доцент, капитан 1 ранга, председатель Санкт-Петербургского Морского собрания,
В. Н. Торба, капитан 1 ранга, историограф Санкт-Петербургского Морского собрания, контакт. тел. (812) 312 7092, ist.morskoe-sobranie@yandex.ru



Чесменская колонна в Царском Селе



Божественная литургия в Чесменской церкви



Концерт Адмиралтейского оркестра у Чесменской церкви



Благодарственный молебен героям Чесменского сражения



Возложение цветов к Чесменской колонне

атаковать с таким терпением и неустрашимостью».

Екатерина Великая так обратилась к русским воинам после Чесменского сражения: «Вам, разбившим и уничтожившим флот Оттоманский, навсегда останется Наше монаршее благоволение. Честию и славою покрыли вы себя и Державу Российскую, а потому навечно заслужили вы право именоваться героями Чесмы». По ее распоряжению для прославления победы был создан мемориальный Чесменский зал в Петергофском Большом дворце, воздвигнуты два памятника в честь этого события – Чесменский обелиск в Гатчине и Чесменская колонна в Царском Селе, а также построены путевой Чесменский дворец и рядом с ним Чесменская церковь (Церковь Рождества Святого Иоанна Предтечи). В Большом Гатчинском дворце была оформлена парадная Чесменская галерея.

В память о Чесменской победе по указу Ее Императорского Величества императрицы Екатерины Алексеевны была учреждена серебряная медаль «В память сожжения при Чесме турецкого флота» с лаконичной надписью «Был» о судьбе турецкого флота и пояснением «Чесма 1770 года июня 24 дня». В указе предписывалось: «Медаль эту жалуем мы всем находящимся на оном флоте во время сего Чесменского счастливого происшествия как морским, так и сухопутным нижним чинам, и позволяем, чтобы они в память носили их на голубой ленте в петлице». Адмиралтейств-коллегия отчеканила и другую, бронзовую, медаль, на одной стороне которой был изображен Алексей Орлов, на другой – план Чесменского сражения со словами: «И бысть России радость и веселие. Чесма июня 24 и 26 1770».

За блестящую победу над турецким флотом граф Алексей Орлов получил чин генерал-аншефа и титул Чесменский, адмирал Г. А. Спиридов (командующий эскадрой русского флота в Чесменском сражении) награжден орденом Святого Андрея Первозванного, кроме того, ему была пожалована вотчина, ряд селений Переславского уезда, в том числе село Нагорье, где он был впоследствии похоронен в возведенной им церкви.

Большие денежные премии были назначены всем участникам сражения. Графу А. Г. Орлову причиталось 22 727 рублей, адмиралу Г. А. Спиридову – 15 500 рублей и т. д. А. Г. Орлов отказался от денежной премии и просил передать деньги тем, кто участвовал в экспедиции, семьям погибшим, в том числе нижним чинам – 14 000 рублей.

Имя «Чесма» носил эскадренный броненосец российского императорского флота. По указу Николая II Че-

смой был назван населенный пункт, ныне село в Челябинской области. Есть мыс Чесма в Анадырском заливе Берингова моря.

В честь участвовавшего в сражении линейного корабля «Св. Евстафий» был назван мыс Евстафия на острове Сахалин.

Одна из белых полос на отложном синем воротнике форменной одежды матросов и старшин ВМФ России символизирует победу в Чесменском сражении (две другие – в Гангутском и Синопском).

СПбМС, выполняя свою уставную задачу – «пропаганда истории Российского флота и возрождения славных традиций морской профессии, основанных на чести, благородстве, религиозных и духовных ценностях» – в 2020 г. провело Чесменский ужин, посвященный 250-летию победы русского флота в Чесменском сражении и выпустило медаль «В память 250-летия Гангутской битвы». Этой медалью награждаются члены Собраний, по представлению – действующие офицеры, адмиралы и генералы ВМФ РФ, по решению Совета старшин – отдельные государственные, военные, политические и общественные деятели, внесшие значительный вклад в создание и развитие ВМФ РФ.

За несколько лет Собрание издало пять книг, посвященных Чесменскому сражению: «Чесменская победа. Триумф России в Средиземном море» (два издания), «Россия и Турция. Двенадцать невыученных уроков» (автор – Галина Гребенщикова), «Адмирал Г. А. Спиридов» (автор – Владимир Алексеев), «Чесма. 1770» (автор – Олег Яковлев), сборник «Труды военно-исторических конференций».

В 2025 г. в связи с 255-летием победы русского флота в Чесменском сражении Собрание организовало и провело Чесменский ужин и комплекс мероприятий:

- Божественную литургию в Чесменской церкви;
- книжную выставку произведений различных авторов, посвященных Чесменскому сражению, изданных на средства СПбМС;
- Благодарственный молебен героям Чесменского сражения на анфиладе Чесменской колонны с возложением венков и цветов;
- возложение цветов у могилы контр-адмирала С. П. Хметевского в Никитском монастыре Ярославской области (в Чесменском сражении – капитан 1 ранга, командир корабля «Три Святителя», награжденный за сражение орденом Святого Георгия 4-й степени);
- литургию и литию у могилы адмирала Г. А. Спиридова в Преображенском храме и митинг памяти в сквере адмирала Спиридова (с. Нагорье Ярославской области);



Ведущий концерта заслуженный артист В. Самсонов и солистка Мариинского театра Е. Сергеева



Председатель постоянной комиссии ЗакС Ленинградской области по экономике, собственности, инвестициям и промышленности А.В. Русских вручает благодарственное письмо члену СПбМС В.Ю. Грызлову



Награждение контр-адмирала Н.П. Мартынова

- закладку малого морского танкера «Контр-адмирал Халиуллин» на «Окской судовой верфи» (г. Навашино Нижегородской области).

В первой половине дня 7 июля 2025 г. старшины Собраний и почетные гости во главе с председателем Собраний С. Н. Ирютиным присутствовали на Божественной литургии в Чесменской церкви. Божественную литургию совершил митрополит Санкт-Петербургский и Ладожский Варсонофий.

Ему сослужили епископ Кронштадт-

ский Вениамин, настоятель Чесменской церкви иерей Павел (Ермошкин), духовник СПбМС протоиерей Алексей (Скляров).

Председатель СПбМС вручил орден «За морскую деятельность» 2-й степени митрополиту Варсонофию, медаль «В память 250-летия Чесменской битвы» – епископу Вениамину и иерею Павлу Ермошкину.

На площади перед Чесменской церковью в честь годовщины Чесменского сражения был устроен концерт Адми-



В сквере у памятника адмиралу Г.А. Спиридову. Действительный член СПбМС Д.В.Козлов (с микрофоном) представляет новую книгу В.Н. Андреева «Г.А.Спиридов»

ралтейского оркестра, который исполнил мелодию хора «Слався» из оперы Михаила Глинки «Иван Сусанин», военные марши.

Затем старшины и члены СПбМС, почетные гости собрались на Треугольной площади Государственного музея-заповедника «Царское Село» для следования на Чесменский ужин. Состоялась экскурсия по Zubовскому флигелю Екатерининского дворца, осмотр покоев Екатерины Великой.

Участников мероприятия на электромобилях от Екатерининского дворца до пристани и далее на пароме доставили на остров Большой пруда Екатерининского парка. Адмиралтейский оркестр под управлением члена Морского собрания Н.И. Игнатова встречал гостей маршами полков императорской гвардии, классическими произведениями XVIII в.

В анфиладе Чесменской колонны был проведен Благодарственный молебен героям Чесменского сражения. У подножия колонны были установлены свечи с «Огнём памяти». Директор Государственного музея-заповедника «Царское село» О.В. Таратынова, председатель Собрания С.Н. Ирютин, старшины и члены Собрания, почетные гости возложили венки и цветы к барельефу Чесменской колонны, оркестр исполнил гимн России.

В «Зале на острове» перед собравшимися артисты Мариинского театра выступили с концертом, который вел заслуженный артист России Владимир Самсонов. Был показан видеофильм, созданный по заказу Собрания, который включал военно-историческую реконструкцию Чесменского сражения и показал вклад СПбМС в сохранение исторической памяти об этом сражении, боевой традиции Российского флота ПОБЕЖДАТЬ. В ходе ужина состоялась презентация книг кандидата исторических наук, доцента В.Н. Алексеева «Г.А. Спиридов» и кандидата философских наук,

заместителя председателя Правления АО «Альфа-Банк» П.А. Высоцкого «Гражданин и его эпоха» (судьба адмирала взглядом внука)», которую потом

вручили в подарок гостям и участникам Чесменского ужина. Был зачитан приказ председателя Собрания с вручением наград членам СПбМС.

В этот же день в Никитском монастыре (Ярославская область, Переславль-Залесский муниципальный округ, село Никитская Слобода) делегация Собрания, представители яхт-клуба «Паруса Плещеева озера» и юные моряки военно-патриотического клуба «Моряки Спиридова» возложили цветы у могилы контр-адмирала С.П. Хметевского, награжденного за сражение орденом Святого Георгия 4-й степени. Рядом с церковью Преображения Господня в сквере адмирала Спиридова (с. Нагорье, Ярославская область) состоялся митинг с участием жителей села, гостей из Санкт-Петербурга, Москвы, Костромы и Ярославля, ветеранов, потомков героев, юных моряков и просто неравнодушных людей. Здесь, у памятника адмиралу, зву-



Речь Председателя СПбМС С.Н. Ирютина



Передача копии закладной доски начальнику ВВМИУ контр-адмиралу А.В. Клименко

чали слова благодарности, вручались памятные книги об адмирале, изданные к юбилею на средства членов яхт-клуба «Паруса Плещеева озера» и при поддержке Собрания.

Месяцем ранее, 5 июня 2025 г. на АО «Окская судовой верфь», продолжая традиции Чесмы, был заложен малый морской танкер пр. 23630 «Контр-адмирал Халиуллин». Новое вспомогательное судно ВМФ России обрело это имя по ходатайству Собрания в соответствии с распоряжением Главнокомандующего ВМФ РФ от 12 мая 2025 г., как дань уважения и признания заслуг выдающегося военного инженера-механика, ученого, заслуженного деятеля науки Российской Федерации, доктора технических наук, профессора, почетного старшины Собрания Ю. М. Халиуллина.



Первый заместитель главнокомандующего ВМФ И. В. Касатонов и Ю. М. Халиуллин на рекогносцировке места основных торжеств, посвященных 300-летию флота, 1996 г.



Участники церемонии закладки танкера со старшинами СПбМС

В 90-е гг. прошлого столетия Юрий Михайлович, будучи начальником Ленинградского высшего военно-морского инженерного училища имени В. И. Ленина и Военно-морского инженерного института, знакомил курсантов с памятниками в районе Большого пруда Царского Села, которые напоминают о Чесменском триумфе российского флота: Чесменской и Марейской колоннами, Турецкой баней, морским арсеналом Царскосельской флотилии с плавсредствами. С 1948 г. символом училища является Чесменская колонна. Не случайно именно в этом месте, в пансионе Воинской славы в Царском Селе, начиналось в 1996 г. празднование 300-летия Российского флота, в подго-

товке и проведении которого существенную и определяющую роль сыграл Ю. М. Халиуллин под руководством первого заместителя ГК ВМФ адмирала И. В. Касатонova.

На церемонии закладки танкера «Контр-адмирал Халиуллин» на АО «Окская судовой верфь» присутствовали представители Собрания во главе с С. Н. Ирютиным, ассоциации «Клуб «Русская морская традиция» во главе с ее президентом А. Ю. Непряхиным, начальник Управления кораблестроения Главного командования ВМФ России контр-адмирал И. И. Шигапов.

Памятная закладная доска первого серийного малого морского танкера «Контр-адмирал Халиуллин» передана

С. Н. Ирютиным начальнику Высшего военно-морского инженерного училища контр-адмиралу А. В. Клименко 21 июня во время торжественной церемонии производства в инженеры будущих офицеров объединенных училищ (Постановление Правительства Российской Федерации 1998 г. об объединении ВВМИУ имени В. И. Ленина и ВВМИУ имени Ф. Э. Дзержинского). Традиция производства в инженеры корпуса корабельных инженер-механиков Российского флота зародилась в Царском Селе.

Память о героях Чесмы жива. Она вдохновляет, объединяет и зовет вперед – к новым делам во славу России и ее флота. ■

1. Автор представляет статью в электронном виде объемом до 20 000 знаков, включая рисунки. Текст набирается в редакторе MS Word под Windows, формулы – в формульном редакторе MathType. Иллюстрации, помещенные в статье, должны быть представлены дополнительно в форматах: TIFF CMYK (полноцветные), TIFF GRAYSCALE (полутонные), TIFF BITMAP (штриховые), EPS, JPEG, с разрешением 300 dpi для полутонных, 600 dpi для штриховых и в размерах, желательных для размещения.

2. Статья должна содержать реферат объемом до 300 знаков, ключевые слова и библиографо-библиотечный индекс УДК. Автор указывает ученую степень, ученое звание, место работы, должность и контактный телефон, а также дает в письменной форме разрешение редакции журнала на размещение статьи в Интернете и Научной электронной библиотеке после

публикации в журнале. Статья представляется с рецензией.

3. Статьи соискателей и аспирантов принимаются к публикации на бесплатной и безвозмездной основе.

4. Контрольное рецензирование этих статей осуществляет редакционная коллегия с привлечением при необходимости профильных специалистов. Рецензии на статьи хранятся в редакции журнала в течение 5 лет.

5. В случае отказа в публикации автору высылается рецензия. Копии рецензий направляются в Минобрнауки России при поступлении соответствующего запроса в редакцию журнала.

6. Содержание журнала ежеквартально представляется на рассмотрение редакционному совету. Решение о выпуске очередного номера оформляется протоколом.

РЕФЕРАТЫ

УДК 629.12+629.73 **Ключевые слова:** устройство транспортировки корабельного вертолета, система технического обслуживания, взлетно-посадочная площадка, летательный аппарат корабельный, эксплуатация, технический анализ

С.Н. Гречин, Н.С. Григорьев. Вертолетные обслуживающие системы на кораблях ведущих стран мира в сравнении с устройствами транспортировки корабельных вертолетов ВМФ РФ. Часть 3//Морской вестник. 2025. № 3 (95). С. 9

Рассмотрены основные типы устройств транспортировки корабельных вертолетов ВМФ ведущих стран мира в связке со смежными системами обслуживания палубной вертолетной техники. Ил. 3. Библиогр. 20 назв.

УДК 629.5.025.2, 629.5.025.43 **Ключевые слова:** сложная техническая система, критерий оптимизации типа «эффективность–стоимость», глобальный и локальные показатели эффективности, спасательное судно подводных лодок, тактико-технические характеристики

А.Н. Озерный, Д.В. Горбунов, А.Б. Фомичев. Метод исследования проектного проектирования спасательных судов подводных лодок//Морской вестник. 2025. № 3 (95). С. 15

Методологический аппарат проектирования эксплуатирующихся спасательных судов подводных лодок не содержит в явном виде алгоритм оптимизации ТТХ проекта с учетом военно-экономического критерия оптимизации типа «эффективность–стоимость» как актуального для ВМФ. В статье рассмотрена проблематика в области проектирования спасательных судов подводных лодок и предложен новый подход к оценке их эффективности. Ил. 9. Библиогр. 7 назв.

УДК 629.5.01 **Ключевые слова:** земснаряд, самоотвозный землесос, дноуглубление, технический флот, судоходство, судостроение

В.Ю. Светова, А.В. Кошелев. Самоотвозные земснаряды: потребности, перспективы, характеристики. Часть 2//Морской вестник. 2025. № 3 (95). С. 19

О состоянии флота морских грунтоотвозных самоходных шаланд, существующих проблемах и потребностях для их создания. Изучены существующие суда, определены взаимозависимости их основных размеров. Выбраны характеристики самоходной шаланды, оптимально отвечающей требованиям отрасли и эксплуатирующей организации. Обозначено возможное направление дальнейшего развития в области проектирования грунтоотвозных судов. Т. 1. Ил. 3. Библиогр. 21 назв.

УДК 629.5.04 **Ключевые слова:** методика проектирования, судовой интерьер, программное цифровое моделирование, эргономика, функциональность, эстетика, визуализация

П.А. Зубков, О.В. Захаров. Методика проектирования интерьеров судовых помещений с использованием современных средств программного обеспечения//Морской вестник. 2025. № 3 (95). С. 23

Проектирование интерьеров судовых помещений – комплексный процесс, требующий учета множества факторов. Внедрение современных методик проектирования и программного обеспечения (ПО) ведет к стандартизации процессов, позволяя предприятиям повышать эффективность работы и снижать затраты.

Использование современных средств ПО способствует повышению комфорта и безопасности на борту судна, а также улучшению условий работы и отдыха экипажа и пассажиров. Ил. 10

УДК 339.56 **Ключевые слова:** военно-техническое сотрудничество, инозаказчик, совместное проектирование, военно-морская техника, патрульный корабль, фрегат, корвет, локализация

А.В. Архипов, В.А. Евтеев, Д.В. Курочкин. Мировой опыт индустриального сотрудничества в сфере строительства боевых надводных кораблей классов OPV, корвет и фрегат. Часть 1//Морской вестник. 2025. № 3 (95). С. 31

Статья раскрывает один из важных аспектов военно-технического сотрудничества ведущих мировых держав – индустриального. Имеются в виду проекты, предусматривающие не поставку кораблей и судов как готовую продукцию, а пакеты предложений прежде всего по организации строительства кораблей на территории инозаказчика, модернизации верфей и передаче соответствующих технологий. В области надводного кораблестроения наблюдается устойчивая тенденция к формированию индустриального сотрудничества при постройке надводных кораблей всех наиболее востребованных сегодня классов – патрульных, корветов и фрегат. Т. 1. Ил. 8.

УДК 629.12 **Ключевые слова:** беспригоночный монтаж, конструкторская документация, технология монтажа, сборочные конструкции, фундамент

Б.В. Грек, Я.В. Рыбис. Технология беспригоночного монтажа оборудования пространственного размещения//Морской вестник. 2025. № 3 (95). С. 35

Рассмотрен монтаж оборудования на фундаменты, несенные в пространстве корпуса корабля. Для установки такого оборудования предложена технология, основными элементами которой является изготовление на судостроительном предприятии корпусной конструкции требуемой геометрической формы с фундаментами, установка изготовленной конструкции с фундаментами на корабле и загрузка размещаемого оборудования на подготовленные фундаменты. Т. 1. Ил. 4. Библиогр. 2 назв.

УДК 679.74 **Ключевые слова:** СПО «Арктика», кабельно-проводниковая продукция (КПП), маркировка КПП, экспериментальная установка, увеличение производительности труда

А.В. Борисов, Г.Б. Коробочкин, А.Ю. Конев, А.И. Фунеров, С.А. Зиборов. Организация процесса заготовки кабельно-проводниковой продукции//Морской вестник. 2025. № 3 (95). С. 41

Представлена информация о внедрении в цехе № 6 СПО «Арктика» новой установки по нанесению маркировки на кабельно-проводниковую продукцию. Результаты реализации проекта позволили сократить длительность процесса заготовки кабельно-проводниковой продукции и уменьшили погрешность измерения длины кабеля по сравнению со штатным измерителем. Ил. 4.

УДК 621.436:621.438 **Ключевые слова:** ЦМКБ «Алмаз», пропульсивные системы, комплектование, скоростные катера, эксплуатация, импортозамещение

В.В. Барановский, В.С. Домнин, А.В. Довличарова. Опыт применения пропульсивных систем современных скоростных катеров в проектах АО «ЦМКБ» Алмаз»

и проблемы использования комплектующих гражданского назначения//Морской вестник. 2025. № 3 (95). С. 46

Статья посвящена проблеме замещения основных комплектующих пропульсивных комплексов скоростных катеров и судов силовых структур России изделиями гражданского назначения, выполненными в морском исполнении. Авторы считают это важнейшей задачей уже на самую ближайшую перспективу. Ил. 4.

УДК 623.973 **Ключевые слова:** постоянное магнитное поле, система компенсации, электромагнитная индукция, измеритель индукции магнитного поля, источник магнитного поля

Б.Ю. Семёнов. Посекционный питание контуров электромагнитной обработки в системах безобмоточного размагничивания корабельных корпусных конструкций//Морской вестник. 2025. № 3 (95). С. 51

Рассказано о принципах функционирования традиционных систем безобмоточного размагничивания корабельных корпусных конструкций и проблемах, связанных с изготовлением данных систем в настоящее время. Сформулированы предложения по построению систем питания контуров электромагнитной обработки на основе статических преобразователей электроэнергии и посекционных методов питания. Ил. 5. Библиогр. 1 назв.

УДК 621.039 **Ключевые слова:** показатели надежности, вероятность безотказной работы, наработка на отказ, система аварийного расхолаживания, пароводяной инжектор

А.М. Белов, С.С. Белова. Оценка показателей надежности инжекторной системы аварийного расхолаживания ядерного реактора//Морской вестник. 2025. № 3 (95). С. 54

Система аварийного расхолаживания является одним из решений обеспечения безопасности ядерных реакторов. Кафедра судовой ядерной и водородной энергетики СПбГМТУ активно работает над созданием инжекторных систем аварийного расхолаживания, которые предназначены для ядерных энергетических установок универсальных атомных ледоколов и плавучих атомных тепловых электростанций. Цель данной работы – определение показателей надежности инжекторной системы аварийного расхолаживания: вероятности безотказной работы и наработки на отказ. Т. 2. Ил. 2. Библиогр. 12 назв.

УДК 621.316.722.016.3 **Ключевые слова:** автономные системы электропитания, преобразователи, корректоры коэффициента мощности, коммутация

Б.Ф. Дмитриев, С.Я. Галушин, А.Ю. Розов, И.В. Скударнова. Трехфазные корректоры коэффициента мощности в автономных системах электропитания морских транспортных средств//Морской вестник. 2025. № 3 (95). С. 58

В современных условиях роста энергопотребления, а также создания новых электроэнергетических систем различного назначения возрастает проблема оптимизации потерь энергии, надежности функционирования разрабатываемых автономных систем электропитания, уменьшения их массогабаритных параметров при повышении качественных характеристик. Ил. 8. Библиогр. 7 назв.

УДК 621.512.3 **Ключевые слова:** поршневой компрессор, анализ технического состояния, обнаружение аномалий, вариационная модовая декомпозиция, глубокий автоэнкодер

Р.Р. Хотский, Л.Г. Кузнецов, А.В. Бураков, А.В. Максиданов, Л.Н. Тындыкар. Анализ технического состояния судового поршневого компрессора на основе вариаци-

онной модовой декомпозиции и глубокого автоэнкодера//Морской вестник. 2025. № 3 (95). С. 63

Своевременное обнаружение аномалий в работе поршневого компрессора – важный фактор обеспечения безопасности систем сжатого воздуха на кораблях ВМФ, а также на судах гражданского флота. Предложена методика обнаружения аномалий с применением так называемого метода обучения нейросети без учителя, основанная на вариационной модовой декомпозиции и глубоком автоэнкодере. Данная методика демонстрирует более высокую эффективность обнаружения аномалий по сравнению с другими подходами. Т. 1. Ил. 5. Библиогр. 13 назв.

УДК 629.5.06 **Ключевые слова:** судовой валопровод, гребной вал, контакт, износ, дейдвудный подшипник, упругое основание

А.А. Халыкин, А.Р. Санжапов, А.Р. Наумчик, А.А. Денисов. Влияние действия случайных нагрузок на срок службы резинометаллических дейдвудных подшипников//Морской вестник. 2025. № 3 (95). С. 70

Исследована кормовая часть судового валопровода, которая включает гребной вал, консольное расположение гребного вала и кормовой дейдвудный подшипник. Рассмотрена расчетная схема балки постоянного сечения по длине, которая опирается на упругое основание с коэффициентом жесткости k и нагруженной распределенной нагрузкой от собственного веса гребного вала и сосредоточенной нагрузкой от гребного вала. Проводимые статические расчеты и полученные графики исследуемых параметров расчетной схемы позволили оценить влияние случайных нагрузок на нагруженность кормового дейдвудного подшипника. Т. 1. Ил. 5. Библиогр. 12 назв.

УДК 621.396.22.029.7 **Ключевые слова:** надводный корабль, корабельный узел связи комплекс связи, коммутация, электропитание, многофункциональный абонентский терминал, передающий тракт

А.А. Катанович, К.В. Гольдибаев, В.А. Цыванюк, А.В. Сорокин. Принципы построения современного корабельного автоматизированного комплекса связи//Морской вестник. 2025. № 3 (95). С. 73

Рассмотрены вопросы расширения функциональных возможностей корабельного автоматизированного комплекса связи за счет приема-передачи разнотипной электронной информации, повышения оперативности передачи телефонных сообщений за счет бесперебойной подачи питающих напряжений на блоки, а также замены устаревшего парка аппаратуры. Это позволит уменьшить общую массу, объем оборудования и снизить энергопотребление корабельного комплекса связи. Ил. 2. Библиогр. 5 назв.

УДК 623.624.2 **Ключевые слова:** навигация, табло коллективного пользования, модернизация навигационного оборудования, виброустойчивость, эргономика приборов отображения информации

В.С. Фантиков, М.А. Савенок, А.А. Кондидатов. Разработка табло коллективного пользования для комплекта перспективных интегрированных мостиковых систем//Морской вестник. 2025. № 3 (95). С. 79

Описан процесс модернизации табло коллективного пользования для предоставления судоводителю полного комплекса необходимых навигационных данных, параметров движения судна, а также иной вспомогательной информации. Ил. 2.

УДК 656.61 **Ключевые слова:** датчик угловых перемещений, стенд, сертификация, авторлевоу, навигационные задачи, система координированного управления

А.С. Скрыпка, А.С. Коренев, В.С. Соловей, С.П. Хабаров. От прототипа к сертификации: разработка датчика углового перемещения//Морской вестник. 2025. № 3 (95). С. 82

Представлены основные технические решения, позволившие разработать надежный датчик углового перемещения, который обеспечивает высокую точность измерения угла и отвечает требованиям сертификационных сообщений. Указаны ключевые аспекты создания стенда, необходимого для сертификационных испытаний. Ил. 3. Библиогр. 4 назв.

УДК 621.371.3 **Ключевые слова:** гидроакустический канал, гидроакустическая система с короткой базой, модуляция, вероятность битовой ошибки (BER)

А.В. Дранников, С.Г. Козьмин, А.В. Исаев. Гидроакустическая ультракороткобазисная система позиционирования автономных необитаемых подводных аппаратов. Часть 1//Морской вестник. 2025. № 3 (95). С. 84

Гидроакустическая ультракороткобазисная система позиционирования рассматривается как составная часть гидроакустического комплекса, позволяющего проводить подводные работы с применением группировки АНПА. В данной статье представлены результаты исследований конструкции приемной гидроакустической антенны, выбора навигационного сигнала и разработки метода вычисления пеленга. Т. 1. Ил. 3. Библиогр. 8 назв.

УДК: 621.396, 629.5.052 **Ключевые слова:** NRF24L01, LoRa E32-433T30D, морские системы связи, буи-ретрансляторы, мониторинг водной среды, судовая связь, прибрежные системы наблюдения, скорость передачи данных, LoRaWAN, умные устройства, радиомодули, энергопотребление, помехоустойчивость, дальность связи

Л.А. Демченко, А.С. Сергеев. Анализ характеристик и применимости модулей NRF24L01 и LORA E32-433T30D с использованием ARDUINO UNO//Морской вестник. 2025. № 3 (95). С. 88

Проведен сравнительный анализ модулей беспроводной связи NRF24L01 и LoRa E32-433T30D применительно к морским системам связи. Выводы и результаты тестирования могут служить для дальнейшего исследования, а также быть полезны для разработчиков систем беспроводной передачи данных. Т. 2. Ил. 5. Библиогр. 7 назв.

УДК 621.396.67 **Ключевые слова:** освещение надводной обстановки, двухпостовая корабельная система, точностные характеристики, результаты расчетов

О.Г. Мальцев. Исследование двухпостовых корабельных систем освещения надводной обстановки//Морской вестник. 2025. № 3 (95). С. 93

Приведены результаты расчетов точностных характеристик двухпостовых угломерной и дальномерной корабельных систем освещения надводной обстановки. Выполнено сравнение полученных результатов с точностными характеристиками однопостовой корабельной РЛС. Т. 1. Ил. 2. Библиогр. 8 назв.

УДК 623.8/9 **Ключевые слова:** комплексная оценка свойств, программно-целевое планирование, оценка боевых возможностей и боевой устойчивости, выбор состава вооружения

О.В. Третьяков, М.В. Шебуняев, П.И. Шукин, В.А. Фокин. Один из подходов к комплексной оценке кораблей//Морской вестник. 2025. № 3 (95). С. 100

Впервые предложен подход, позволяющий выполнить комплексную и научно обоснованную оценку свойств кораблей и состава их вооружения на основе факторов и параметров, имеющих объективную основу. Авторами уточнена формула для обобщения приоритетов альтернатив аддитивным способом, а также исправлена ошибка в формуле Т. Саати для использования обратных значений издержек и рисков. Т. 3. Ил. 1. Библиогр. 7 назв.

УДК 534.26 **Ключевые слова:** характеристики рассеяния звука, низкочастотные пульсации, модель подводного аппарата, граничные элементы

С.Л. Ильменков. Характеристики рассеяния дискретных составляющих шума гребного вала моделью корпуса подводного аппарата//Морской вестник. 2025. № 3 (95). С. 104

Рассмотрена задача рассеяния звука моделью корпуса подводного аппарата под действием сосредоточенных источников, имитирующих низкочастотные пульсации, обусловленные «объемной» составляющей шума вращения гребного вала. Ил. 8. Библиогр. 10 назв.

УДК 159.938.3, 004.93*1, 656.6 **Ключевые слова:** диагностическая аппаратура, бортовой микроконтроллер, сенсомоторные реакции, психоэмоциональное состояние, встраиваемое программное обеспечение

А.Е. Васильев, В.Д. Ковалев, Д.Е. Кунгурцев, С.А. Токренко, Е.С. Блохина. Технические средства оценки и тренировки сенсомоторных реакций судового персонала//Морской вестник. 2025. № 3 (95). С. 107

Рассмотрен вариант реализации технического устройства на основе встраиваемых микроконтроллерных средств измерения и управления для осуществления диагностических и тренировочных процедур в отношении сенсомоторных реакций судового персонала. Ил. 5. Библиогр. 26 назв.

УДК 004.032.26:621.1.019.3 **Ключевые слова:** техническая диагностика, искусственные нейронные сети, глубокое обучение

И.И. Шигапов, В.А. Одинаев, В.А. Долгов. Нейронные сети как инструмент обработки диагностической информации: состояние и перспективы//Морской вестник. 2025. № 3 (95). С. 110

Статья посвящена применению искусственных нейронных сетей (ИНС) в технической диагностике сложных технических объектов. Рассмотрены ключевые задачи, которые решаются с помощью ИНС: обнаружение неисправностей, классификация состояний, прогнозирование отказов и обработка зашумленных данных. Особое внимание уделено современным нейросетям (CNN, RNN, Autoencoders, GAN, трансформеры), их преимуществам и ограничениям. Т. 1. Ил. 4. Библиогр. 10 назв.

УДК 621.396 **Ключевые слова:** канал связи, коротковолновый диапазон, ионосферный канал, распределение Рэлея, модель Ваттерсона, стохастические дифференциальные уравнения

Е.И. Глушанков, Е.А. Рылов, К.В. Гольдибаев, А.В. Сорокин, Е.В. Галузов. Исследование методов моделирования ионосферного канала связи 2025. № 3(95). С. 115

В статье рассматриваются два способа моделирования ионосферного канала связи. Первый способ - классическая модель коротковолнового канала Ваттерсона. Предложен вариант усовершенствования модели Ваттерсона. В качестве второго способа предложена модель на основе синтезированных стохастических дифференциальных уравнений. Проведено сравнение прохождения тестовых сигналов через две предложенные модели. Ил. 5. Библиогр. 7 назв.

УДК 654.1 **Ключевые слова:** безопасность связи, система контроля безопасности связи и информации, повышение эффективности управления, обнаружение нарушений

Ю.С. Азизян, В.А. Долгих. Условия обнаружения нарушений безопасности связи в сетях связи единой системы управления военного назначения//Морской вестник. 2025. № 3(95). С. 118

Для достижения требуемого уровня безопасности информации на объектах управления, связи и автоматизации необходима система контроля безопасности связи и информации (СКБСИ). Повышение эффективности управления посредством обнаружения нарушений безопасности в сетях связи единой системы управления военного назначения – одна из главных подзадач СКБСИ.

УДК 623.8 **Ключевые слова:** блокадный Ленинград, Ладожское озеро, Ленинградский фронт, Краснознаменный Балтийский флот, Ладожская военная флотилия, ЭПРОН, трубопровод

В.Н. Половинкин, С.В. Федулов, В.Э. Руденко. Прокладка подводного трубопровода в блокадный Ленинград//Морской вестник. 2025. № 3 (95). С. 119

Освещается уникальная операция по прокладке подводного трубопровода в прифронтовых условиях для обеспечения блокадного Ленинграда, Ленинградского фронта и Краснознаменного Балтийского флота топливом. Ведущая роль при этом отводилась Ладожской военной флотилии и Экспедиции подводных работ особого назначения. Ил. 6. Библиогр. 5 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 629.12+629.73 **Keywords:** shipborne helicopter transportation device, maintenance system, takeoff and landing pad, shipborne aircraft, operation, technical analysis

S.N. Grechin, N.S. Grigor'ev. Helicopter maintenance systems on ships of the world's leading countries in comparison with devices for transporting shipborne helicopters of the Russian Navy. Part 3//Morskoy Vestnik. 2025. No. 3 (95). P. 9

The main types of devices for transporting shipborne helicopters of the Navy of the world's leading countries are considered in conjunction with related systems for servicing deck helicopter equipment. Fig. 3. Bibliography 20 titles.

UDC 629.5.025.2, 629.5.025.43 **Keywords:** complex technical system, cost-effectiveness optimization criterion, global and local performance indicators submarine rescue vessel, performance characteristics

A.N. Ozerny, D.V. Gorbunov, A.B. Fomichev. Method of research design of submarine rescue vessels//Morskoy Vestnik. 2025. No. 3 (95). P. 15

The methodological apparatus for designing operational submarine rescue vessels does not explicitly contain an algorithm for optimizing the project's performance characteristics taking into account the military-economic cost-effectiveness optimization criterion as relevant for the Navy. The article considers the problems in the field of designing submarine rescue vessels and proposes a new approach to assessing their effectiveness. Fig. 9. Bibliography 7 titles.

UDC 629.5.01 **Keywords:** dredger, hopper suction dredger, dredging, technical fleet, shipping, ship-building

V.Yu. Svetova, A.V. Koshelev. Hopper dredgers: needs, prospects, characteristics. Part 2//Morskoy Vestnik. 2025. No. 3 (95). P. 19

On the state of the fleet of marine self-propelled spoil hopper barges, existing problems and needs for their creation. Existing vessels were studied, interdependencies of their main dimensions were determined. The characteristics of a self-propelled barge that optimally meets the requirements of the industry and the operating organization were selected. A possible direction for further development in the field of spoil hopper vessel design was outlined. Vol. 1. Fig. 3. Bibliography 21 titles.

UDC 629.5.04 **Keywords:** design methodology, ship interior, digital software modeling, ergonomics, functionality, aesthetics, visualization

P.A. Zubkov, O.V. Zakharova. Methodology for designing ship interiors using modern software tools//Morskoy Vestnik. 2025. No. 3 (95). P. 23

Designing ship interiors is a complex process that requires taking into account many factors. The introduction of modern design methods and software (SW) leads to the standardization of processes, allowing enterprises to improve work efficiency and reduce costs. The use of modern software tools in the design of ship interiors allows you to create functional and aesthetically attractive spaces that meet the highest requirements and standards. This helps to increase comfort and safety on board the vessel, as well as improve the working and rest conditions of the crew

and passengers. Fig. 10

UDC 339.56 **Keywords:** military-technical cooperation, foreign customer, joint design, naval equipment, patrol ship, frigate, corvette, localization

A.V. Arkhipov, V.A. Evteev, D.V. Kurochkin. World experience of industrial cooperation in the field of construction of combat surface ships of the OPV, corvette and frigate classes. Part 1//Morskoy Vestnik. 2025. No. 3 (95). P. 31

The article reveals one of the important aspects of military-technical cooperation between the leading world powers – industrial. We mean projects that do not provide for the delivery of ships and vessels as finished products, but packages of proposals primarily for the organization of ship construction on the territory of a foreign customer, the modernization of shipyards and the transfer of relevant technologies. In the area of surface shipbuilding, there is a steady trend towards the formation of industrial cooperation in the construction of surface ships of all the most popular classes today – patrol ships, corvettes and frigates. Fig. 8.

UDC 629.12 **Keywords:** no-fit installation, design documentation, installation technology, assembly structures, foundation

B.V. Grek, Ya.V. Ryabis. No-fit installation technology for equipment of spatial placement//Morskoy Vestnik. 2025. No. 3 (95). P. 35

The article considers the installation of equipment on foundations spaced apart in the ship's hull. For the installation of such equipment, a technology is proposed, the main elements of which are the manufacture of a hull structure of the required geometric shape with foundations at a shipbuilding enterprise, the installation of the manufactured structure with foundations on the ship and the loading of the equipment to be placed on the prepared foundations. Vol. 1. Fig. 4. Bibliography 2 titles.

UDC 679.74 **Keywords:** NPA Arktika, cable and wire products (CWP), CWP marking, experimental setup, increased labor productivity

A.V. Borisov, G.B. Korobochkin, A.Yu. Konev, A.I. Funerov, S.A. Ziborov. Organization of the process of procurement of cable and wire products//Morskoy Vestnik. 2025. No. 3 (95). P. 41

The article presents information on the implementation of a new installation for applying markings to cable and wire products in workshop No. 6 of NPA Arktika. The results of the project implementation made it possible to reduce the duration of the process of procurement of cable and wire products and reduced the error in measuring the length of the cable compared to the standard measuring device. Fig. 4.

UDC 621.436:621.438 **Keywords:** Almaz CMBD, propulsion systems, components, high-speed boats, operation, import substitution

V.V. Baranovsky, V.S. Domnin, A.V. Dovlicharova. Experience of using propulsion systems of modern high-speed boats in the projects of Almaz CMBD and problems of using civilian components//Morskoy Vestnik. 2025. No. 3 (95). P. 46

The article is devoted to the problem of replacing the main components of propulsion systems of high-speed boats and vessels of the Russian security forces with civil-

ian products made in a marine version. The authors consider this to be the most important task for the very near future. Fig. 4.

UDC 623.973 **Keywords:** constant magnetic field, compensation system, electromagnetic induction, magnetic field induction meter, magnetic field source

B.Yu. Semyonov. Sectional power supply of electromagnetic processing circuits in windingless demagnetization systems of ship hull structures//Morskoy Vestnik. 2025. No. 3 (95). P. 51

The article describes the operating principles of traditional windingless demagnetization systems for ship hull structures and the problems associated with the manufacture of these systems at present. Proposals are made for the construction of power supply systems for electromagnetic processing circuits based on static electric power converters and sectional power supply methods. Fig. 5. Bibliography. 1 title.

UDC 621.039 **Keywords:** reliability indicators, probability of failure-free operation, mean time between failures, emergency cooldown system, steam-water injector

A.M. Belov, S.S. Belova. Evaluation of reliability indicators of the injector system of emergency cooldown of a nuclear reactor//Morskoy Vestnik. 2025. No. 3 (95). P. 54

The emergency cooldown system is one of the solutions for ensuring the safety of nuclear reactors. The Department of Marine Nuclear and Hydrogen Energy of SPbGMTU is actively working on the creation of injector systems of emergency cooldown, which are intended for nuclear power plants of universal nuclear icebreakers and floating nuclear thermal power plants. The purpose of this work is to determine the reliability indicators of the injector system of emergency cooldown – the probability of failure-free operation and mean time between failures. Vol. 2. Fig. 2. Bibliography 12 titles.

UDC 621.316.722.016.3 **Keywords:** autonomous power supply systems, converters, power factor correctors, switching

B.F. Dmitriev, S.Ya. Galushin, A.Yu. Rozov, I.V. Skudarnova. Three-phase power factor correctors in autonomous power supply systems of marine vehicles//Morskoy Vestnik. 2025. No. 3 (95). P. 58

In modern conditions of increasing energy consumption, as well as the creation of new electric power systems for various purposes, the problem of optimizing energy losses, the reliability of the functioning of the developed autonomous power supply systems, reducing their weight and size parameters while improving quality characteristics increases. Fig. 8. Bibliography. 7 titles.

UDC 621.512.3 **Keywords:** piston compressor, technical condition analysis, anomaly detection, variational mode decomposition, deep autoencoder

R.R. Khotiski, L.G. Kuznetsov, A.V. Burakov, A.V. Maksharov, L.N. Tyndkar'. Technical condition analysis of a marine piston compressor based on variational mode decomposition and a deep autoencoder//Morskoy Vestnik. 2025. No. 3 (95). P. 63

Timely detection of anomalies in the operation of a piston compressor is an important factor in ensuring the

safety of compressed air systems on Navy ships, as well as on civilian ships. A technique for detecting anomalies using the so-called unsupervised neural network learning method is proposed, based on variational mode decomposition and a deep autoencoder. This technique demonstrates higher efficiency of anomaly detection compared to other approaches. Vol. 1. Fig. 5. Bibliography. 13 titles.

UDC 629.5.06 **Keywords:** marine propeller line, propeller shaft, contact, wear, stern tube bearing, elastic foundation

A.A. Khalyavkin, A.R. Sanzhapov, A.R. Naumchik, A.A. Denisov. Effect of random loads on the service life of rubber-metal stern tube bearings//Morskoy Vestnik. 2025. No. 3 (95). P. 70

The aft part of the marine propeller line, which includes the propeller shaft, the cantilever arrangement of the propeller and the aft stern tube bearing, is investigated. The design scheme of a beam of constant cross-section along the length, which rests on an elastic foundation with a stiffness coefficient k and a loaded distributed load from the propeller shaft's own weight and a concentrated load from the propeller, is considered. The static calculations performed and the obtained graphs of the studied parameters of the calculation scheme made it possible to evaluate the influence of random loads on the loading of the aft stern tube bearing. Vol. 1. Fig. 5. Bibliography. 12 titles.

UDC 621.396.22.029.7 **Keywords:** surface ship, ship communication center, communication complex, switching, power supply, multifunctional subscriber terminal, transmitting path

A.A. Katanovich, K.V. Gol'dibaev, V.A. Tsyvanyuk, A.V. Sorokin. Principles of building a modern automated ship communications complex//Morskoy Vestnik. 2025. No. 3 (95). P. 73

The article discusses the issues of expanding the functionality of the ship's automated communication system by receiving and transmitting various types of electronic information, increasing the efficiency of transmitting telephone messages by ensuring uninterrupted power supply to the units, and replacing outdated equipment, which will reduce the overall weight, volume, and energy consumption of the ship's communication system. Fig. 2. Bibliography. 5 titles.

UDC 623.624.2 **Keywords:** navigation, shared-use display boards, navigation equipment modernization, vibration resistance, information display devices ergonomics

V.S. Fantikov, M.A. Savenok, A.A. Kondidatov. Development of a shared-use display board for equipping promising integrated bridge systems//Morskoy Vestnik. 2025. No. 3 (95). P. 79

The article describes the process of modernization of a shared-use display board to provide the navigator with a full range of necessary navigation data, vessel motion parameters, and other auxiliary information. Fig. 2.

UDC 656.61 **Keywords:** angular displacement sensor, test bench, certification, autopilot, navigation tasks, coordinated control system

A.S. Skripka, A.S. Korenev, V.S. Solovey, S.P. Khabarov. From prototype to certificate: development of angular displacement sensor//Morskoy Vestnik. 2025. No. 3 (95). P. 82

The article presents the main technical solutions that made it possible to develop a reliable angular displacement sensor that ensures high accuracy of angle measurement and meets the requirements of certification communities. The key aspects of creating the test bench required for certification tests are indicated. Fig. 3. Bibliography. 4 titles.

UDC 621.371.3 **Keywords:** hydroacoustic channel, short-base hydroacoustic system, modulation, bit error rate (BER)

A.V. Drannikov, S.G. Kozmin, A.V. Isaev. Hydroacoustic ultra-short-base positioning system for autonomous unmanned underwater vehicles. Part 1//Morskoy Vestnik. 2025. No. 3 (95). P. 84

The hydroacoustic ultra-short-base positioning system is considered as a component of the hydroacoustic complex allowing underwater operations using a group of AUVs. This article is the first in a series of works by the authors devoted to the development of a hydroacoustic complex on an ultra-short base. This work presents the results of research in terms of the design of the receiving hydroacoustic antenna and the development of a method for calculating the bearing. Vol. 1. Fig. 3. Bibliography. 8 titles.

UDC: 621.396, 629.5.052 **Keywords:** NRF24L01, LoRa E32-433T30D, IoT, wireless communication, data rate, LoRaWAN, smart devices, radio modules power consumption, noise immunity, communication range

L.A. Demchenko, A.S. Sergeev. Analysis of the characteristics and applicability of NRF24L01 and LORA E32-433T30D modules using ARDUINO UNO//Morskoy Vestnik. 2025. No. 3 (95). P. 88

The article presents a comparative analysis of the NRF24L01 and LoRa E32-433T30D wireless communication modules. Their key characteristics are examined, including communication range, power consumption, data transfer rate, interference resistance, network organization capabilities, and areas of application. An example of module programming and connection is provided. Based on the analysis, recommendations are given for selecting a module depending on project requirements, and data transmission testing is conducted. The conclusions and test results can serve as a basis for further research and may also be useful for developers of wireless communication systems. Vol. 2. Fig. 5. Bibliography. 7 titles.

UDC 621.396.67 **Keywords:** surface scenery evaluation, two-post ship system, precision properties, calculation results

O.G. Mal'tsev. Investigation of the two post ship systems for surface scenery evaluation//Morskoy vestnik. 2025. № 3 (95). P. 93

The calculation results of precision properties of the two-post angles and ranges ship systems for surface scenery evaluation are presented. The obtained results are compared with the precision properties of the one-post ship radar station. T. 1. Fig. 2. Bibliography. 8 titles.

UDC 623.8/9 **Keywords:** comprehensive assessment of properties, program-target planning, assessment of combat capabilities and combat stability, selection of weapons composition

O.V. Tret'yakov, M.V. Shebunayev, P.I. Shchukin, V.A. Fokin. One of the approaches to a comprehensive assessment of ships//Morskoy Vestnik. 2025. No. 3 (95). P. 100

For the first time, an approach has been proposed that allows for a comprehensive and scientifically substantiated assessment of the properties of ships and the composition of their weapons based on factors and parameters that have an objective basis. The authors have refined the formula for generalizing the priorities of alternatives in an additive way, and also corrected an error in T. Saati's formula for using the inverse values of costs and risks. Vol. 3. Fig. 1. Bibliography. 7 titles.

UDC 534.26 **Keywords:** sound scattering characteristics, low-frequency pulsations, underwater vehicle model, boundary elements

S.L. Il'menkov. Scattering characteristics of discrete propeller noise components by an underwater vehicle hull model//Morskoy Vestnik. 2025. No. 3 (95). P. 104

The problem of sound scattering by an underwater vehicle hull model under the action of concentrated sources simulating low-frequency pulsations caused by the «volume» component of propeller rotation noise is considered. The obtained results may be of practical interest for solving problems related to the acoustic characteristics of underwater vehicles (monitoring of the aquatic environment, search operations, patrolling, etc.). Fig. 8. Bibliography. 10 titles.

UDC 159.938.3, 004.931, 656.6 **Keywords:** diagnostic equipment, on-board micro-

controller, sensorimotor reactions, psychoemotional state, embedded software

A.E. Vasil'ev, V.D. Kovalev, D.E. Kungurtsev, S.A. Tokarenko, E.S. Blokhina. Device for assessing and training ship crew sensorymotor reactions//Morskoy Vestnik. 2025. No. 3 (95). P. 107

The article considers a variant of implementation of a technical device with built-in microcontroller measuring and control means for implementation of diagnostic and training procedures in relation to sensory-motor reactions, and applicable for ship personnel. The user features of this device are described, as well as the organization of its hardware and software. Fig. 5. Bibliography. 26 titles.

UDC 004.032.26:621.1.019.3 **Keywords:** technical diagnostics, artificial neural networks, deep learning

I.I. Shigapov, V.A. Odinaev, V.A. Dolgov. Neural networks as a tool for processing diagnostic information: state and prospects//Morskoy Vestnik. 2025. No. 3 (95). P. 110

The article is devoted to the use of artificial neural networks (ANN) in technical diagnostics of complex technical objects. The key tasks that are solved with the help of ANN are considered: fault detection, state classification, failure prediction and processing of noisy data. Particular attention is paid to modern neural networks (CNN, RNN, Autoencoders, GAN, transformers), their advantages and limitations. A method for diagnosing a six-phase synchronous generator used on Russian Navy ships using a multilayer neural network (MLP) is proposed. The stages of network training on data obtained from a mathematical model are described, including the formation of a training sample and an algorithm for backpropagation of errors. T. 1. Fig. 4. Bibliography. 10 titles.

UDC 621.396 **Keywords:** communication channel, short-wave radio, ionospheric channel, Rayleigh distribution, Watterson model, stochastic differential equations

E.I. Glushankov, K.V. Gol'dibaev, E.A. Rylov, A.V. Sorokin, E.V. Galuzov. Research of modeling methods ionospheric communication channel. 2025. No. 3(95). P. 115

The article considers two methods of modeling the ionospheric communication channel. The first method is the classical Watterson shortwave channel model. An improved version of the Watterson model is proposed. As a second method, a model based on synthesized stochastic differential equations is proposed. A comparison of the passage of test signals through the two proposed models is carried out. Fig. 5. Bibliography. 7 titles.

UDC 654.1 **Keywords:** communication security, communication and information security control system, improving management efficiency, detecting violations

Yu.S. Azizyan, V.A. Dolgikh. Conditions for detecting communication security violations in communication networks of a unified military control system//Morskoy Vestnik. 2025. No. 3(95). P. 118

A communication and information security control system (CISCS) is required to achieve the required level of information security at control, communication and automation facilities. Improving management efficiency by detecting security violations in communication networks of a unified military control system is one of the main subtasks of CISCS.

UDC 623.8 **Keywords:** Besieged Leningrad, Lake Ladoga, Leningrad Front, Red Banner Baltic Fleet, Ladoga Military Flotilla, EPRN, pipeline

V.N. Polovinkin, S.V. Fedulov, V.E. Rudenko. Laying of an underwater pipeline to besieged Leningrad//Morskoy Vestnik. 2025. No. 3 (95). P. 119

The article highlights the unique operation of laying an underwater pipeline in frontline conditions to provide the besieged Leningrad, the Leningrad Front and the Red Banner Baltic Fleet with fuel. The leading role was assigned to the Ladoga Military Flotilla and the Special Purpose Underwater Expedition. Fig. 6. Bibliography. 5 titles.