

Морской Вестник



№2(94)

И Ю Н Ъ

2 0 2 5

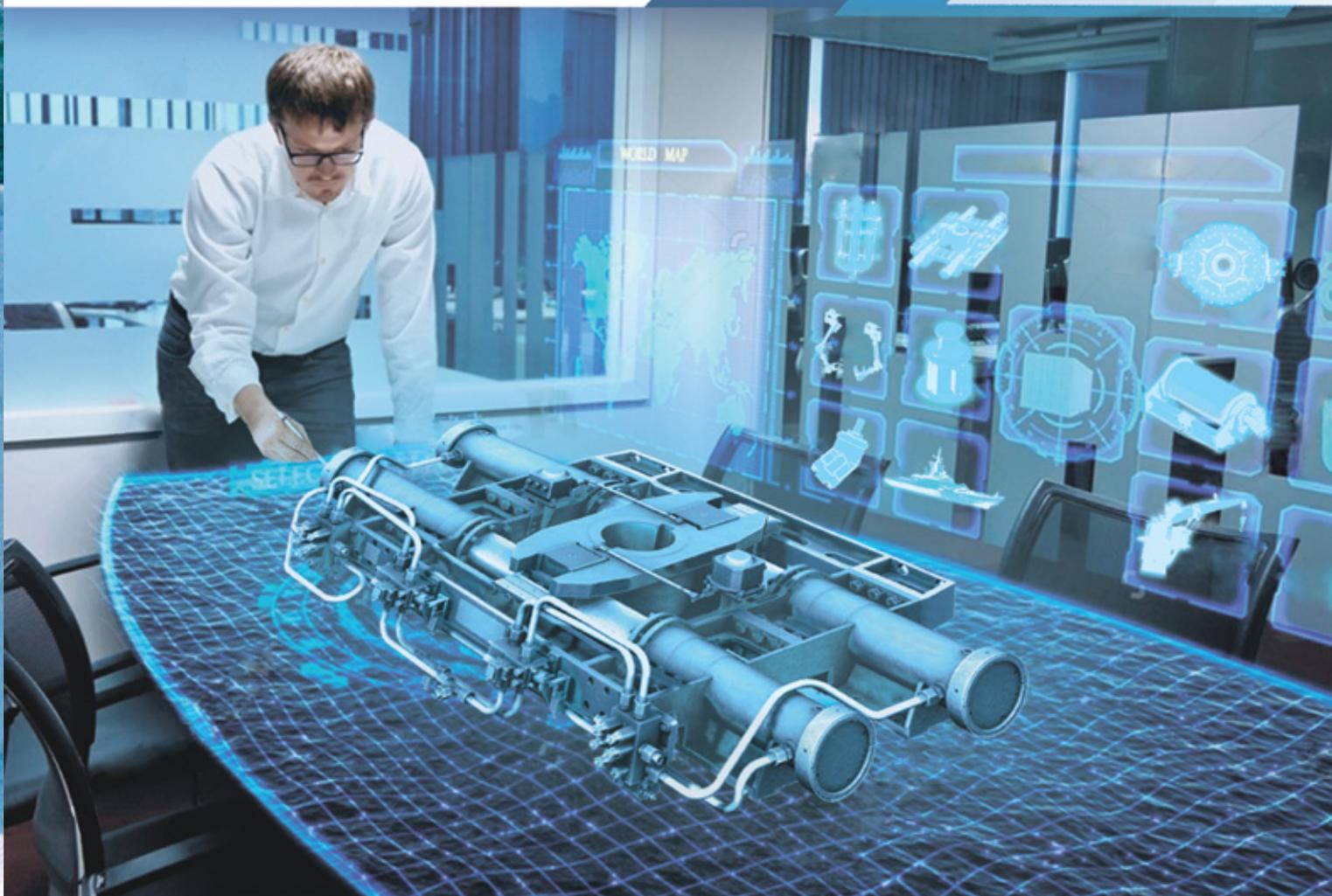
ISSN 1812-3694

Morskoy Vestnik



**ЦНИИ СУДОВОГО
МАШИНОСТРОЕНИЯ**

ОПИРАЯСЬ НА ДОСТИЖЕНИЯ
ПРОШЛОГО, ТВОРИМ НАСТОЯЩЕЕ,
УСТРЕМЛЕННЫ В БУДУЩЕЕ



ЗАО «ЦНИИ СМ»
192029, САНКТ-ПЕТЕРБУРГ, УЛ. ДУДКО, 3.
ТЕЛ.: (812) 640-10-51, ФАКС: (812) 640-10-52
E-MAIL: SUDMASH@SUDMASH.RU
WWW.SUDMASH.RU

**55 ЛЕТ ВМЕСТЕ
С ФЛОТОМ!**



САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОМУ ГОСУДАРСТВЕННОМУ МОРСКОМУ ТЕХНИЧЕСКОМУ УНИВЕРСИТЕТУ - 95 ЛЕТ

Отдел по связям с общественностью СПбГМТУ,
контакт. тел. (812) 714 4445

25 апреля 2025 г. в Санкт-Петербургском государственном морском техническом университете (СПбГМТУ) прошло торжественное мероприятие, посвященное 95-летию его основания. Корабелку поздравили Помощник Президента РФ Н. П. Патрушев, губернатор Санкт-Петербурга А. Д. Беглов, губернатор Ленинградской области А. Ю. Дрозденко, Главнокомандующий ВМФ РФ адмирал А. А. Моисеев и другие официальные лица.

Н. П. Патрушев передал Благодарность Президента РФ В. В. Путина коллективу СПбГМТУ за большой вклад в подготовку высококвалифицированных специалистов для судостроительной отрасли и за заслуги в научно-педагогической деятельности.

В своей поздравительной речи Н. П. Патрушев отметил, что история университета – это летопись становления, развития инженерного образования и судостроения России. «Преподаватели, ученые, аспиранты, сотрудники, студенты Корабелки – талантливые и преданные своему делу люди. Присущие коллективу университета профессионализм и энергия сделали его уникальным научно-образовательным центром, где сливаются воедино наука и инновации, где рождаются идеи и открытия, создаются технологии будущего», – подчеркнул Помощник Президента РФ.

Губернатор Санкт-Петербурга А. Д. Беглов и губернатор Ленинградской области А. Ю. Дрозденко наградили коллектив Морского технического университета Почетными грамотами.

Ректор СПбГМТУ Г. А. Туричин поблагодарил Н. П. Патрушева, губернаторов двух регионов, руководителей предприятий и конструкторских бюро за заботу и поддержку, которую они оказывают вузу. «Корабелка и дальше будет идти в авангарде технического прогресса, в авангарде подготовки высококвалифицированных кадров для судостроения и родственных отраслей промышленности», – сказал глава университета.

Сегодня СПбГМТУ – один из ведущих технических университетов России и уникальная инженерная школа, участник масштабных федеральных проектов: программы стратегического академического лидерства «Приоритет–2030», Передовые инженерные школы, Развитие аддитивных и лазерных технологий с использованием подходов механики разрушения для обеспечения высокой эксплуатационной надежности.

Как опорный вуз кораблестроительной отрасли России, СПбГМТУ ведет активную научную работу по всем направлениям судостроения. Вместе с тем исследования и научно-технологические разработки ученых Корабелки давно вышли за пределы судостроительной науки и находят применение в авиакосмической отрасли, двигателестроении, атомной промышленности, энергетике, лежат в основе проектирования и создания ультрасовременных цифровых промышленных производств. Морской технический университет входит в число лидеров среди российских вузов по привлечению внебюджетных средств в науку. Научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы выполняются в интересах государственных заказчиков и ведущих корпораций. Инициированная СПбГМТУ национальная сеть технологических центров аддитивных и сопутствующих технологий создана на базе вузов и предприятий высокотехнологических отраслей промышленности. Основные задачи центров – обеспечение высококвалифицированными кадрами региональных промышленных предприятий; выполнение ОКР (ОТР) по заказу промышленных предприятий; взаимный обмен компетенциями между участниками сети.

Для привлечения молодежи в отрасль и создания предпрофессиональной среды для подготовки высококвалифицированных инженерных кадров с 2021 г. университет реализует образовательный проект «Инженерные классы судостроительного профиля». Сейчас в нем участвуют 83 школы из 14 субъектов РФ, 13 региональных вузов, 28 индустриальных партнеров. За весь период реализации проекта обучены 669 педагогов школ – участников проекта.

В последние годы идет активное развитие инфраструктуры СПбГМТУ:



Н. П. Патрушев вручает Благодарность Президента РФ ректору СПбГМТУ Г. А. Туричину

строятся новые объекты, ремонтируются и оснащаются современным оборудованием учебные аудитории и научные лаборатории. Только за прошедшие пять лет в университете открылись:

- спортивный комплекс, который введен в эксплуатацию в 2020 г.;
- новая площадка – Конгресс-центр с современными учебными аудиториями и большим залом на 260 посадочных мест, который начал работу в 2022 г. после реконструкции бывшего культурно-бытового центра;
- центр координации сети инженерных классов (начал работу в 2022 г.), предназначенный для обучения школьников в инженерных классах судостроительного профиля, а также для повышения квалификации педагогов школ, участвующих в проекте;
- медико-профилактический центр, где с января 2024 г. ведут прием узкие специалисты и врачи широкого профиля;
- научно-производственный комплекс, который расположился в двухэтажном здании общей площадью 2774 кв. м (введен в эксплуатацию в феврале 2025 г.).

Редсовет, редколлегия и редакция журнала «Морской вестник», на страницах которого регулярно публикуются научные работы студентов, аспирантов и преподавателей СПбГМТУ, поздравляют коллектив вуза с юбилеем и желают ему дальнейших успехов в подготовке кадров для отечественного судостроения. ■

Морской Вестник



№ 2 (94)

И Ю Н Ь

2 0 2 5

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. Ирютин, председатель

Санкт-Петербургского Морского Собрания

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

Г.А. Коржавин, научный руководитель

АО «Концерн «Гранит-Электрон»

А.В. Кузнецов, председатель совета директоров

АО «Армалит»

Л.Г. Кузнецов, генеральный конструктор

АО «Компрессор»

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

Санкт-Петербургскому государственному морскому техническому университету – 95 лет 1

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И КОНСТРУКЦИЯ СУДОВ

Ю.А. Лебедев. ЦНИИ судового машиностроения – 55 лет служения флоту России.. 6

К.Г. Голубев, В.В. Барановский, В.С. Домнин, А.В. Довличарова. Решение проблемы импортозамещения пропульсивных комплексов быстроходных судов – важнейшая задача отечественного судостроения на краткосрочную перспективу..... 11

П.А. Зубков, О.В. Захарова. Психологические аспекты разработки сложных технических решений в области дизайн-проектов служебных и жилых помещений перспективных кораблей ВМФ 15

ТЕХНОЛОГИЯ СУДОСТРОЕНИЯ, СУДОРЕМОНТА И ОРГАНИЗАЦИЯ СУДОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Средне-Невский судостроительный завод продолжает строительство серии противоминных кораблей для Российского ВМФ 23

В.Н. Тарасов. СПО «Арктика»: специфика ремонта и поддержания технического состояния электрооборудовани 25

М.Д. Мовчанова, А.А. Коноплев, А.В. Ровдо, А.Б. Фомичев. Анализ производственных потерь при работе с программным обеспечением 28

В.П. Лянзберг, Н.М. Вихров. Определение параметров облойки иллюминатора со стеклоэлементом в форме диска 31

СУДОВЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ И ИХ ЭЛЕМЕНТЫ

А.Е. Васильев, Р.Р. Касимов, В.Д. Ковалев, Д.Е. Кунгурцев, С.А. Токаренко. Стендовое оборудование для оценки характеристик систем измерения расхода жидких сред 34

Д.А. Булатов, А.В. Еришов. ресурсные Ограничения гидравлических распределителей с плоским золотником, выполненным из бронзового сплава в паре трения с оксидированным титановым сплавом 36

А.А. Халявкин, Е.О. Логинова, В.Б. Симагина, Б.М. Сабах, Р.Ю. Друзенко. О влиянии момента инерции гребного винта на значение собственной частоты поперечных колебаний гребного вала 39

Р.Р. Хотский, А.В. Бураков, А.В. Макишанов, Л.Н. Тындыкаръ. Прогнозирование технического состояния поршневого компрессора на основе вариационной модовой декомпозиции и рекуррентной нейронной сети 45

Д.Л. Аверьянов, А.В. Сихимбаев. Экспериментальное определение расходных характеристик кингстона двухпозиционного 50

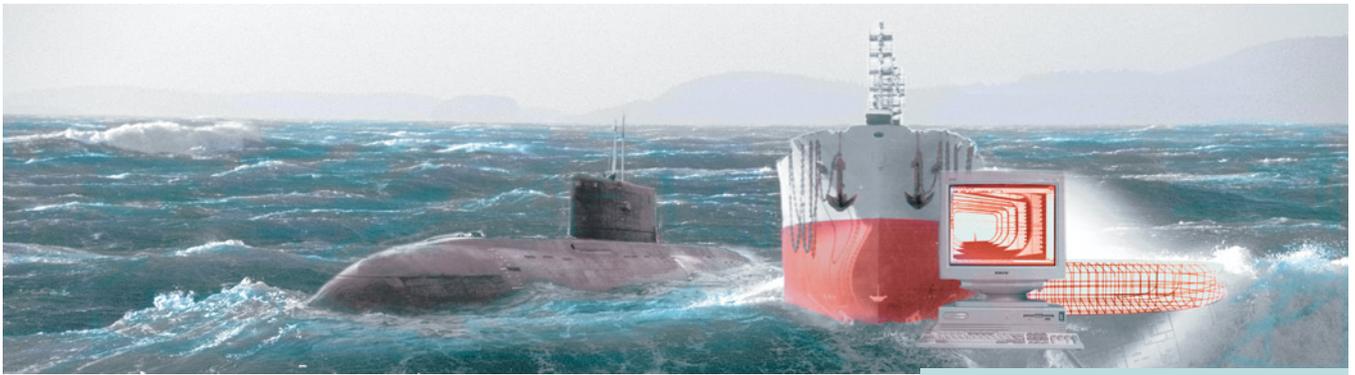
А. Саламех, А.А. Халявкин, Е.М. Хуссам, Ю.И. Матвеев. Исследование технического состояния судового дизеля по анализу масла 52

В.В. Камлюк, И.О. Прутчиков, А.В. Подгорный, И.В. Гречушкин. Повышение эффективности дистанционного электроснабжения потребителей электроэнергетики, удалённых от источников электроэнергии 56

А.А. Халявкин, В.В. Бондаренко, В.В. Куц, Ю.И. Матвеев. Технология ремонта дейдвудных подшипников валопроводов судов 59

В.Ш. Вахитов, Е.В. Сальников. Применение блоков секционных распределителей в системах дистанционного управления арматурой на подводной лодке 63

Д.И. Дымов, Д.О. Глазырина, Е.Н. Алексин. Термодинамический анализ совершенного цикла Р. Дизеля 65



ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ ПРИБОРОСТРОЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ

<i>Л. С. Хабаров, А. П. Ларин. Исследование, разработка и применение оптико-электронных средств в целях наблюдения и сопровождения визуальных ориентиров</i>	67
<i>М. А. Еремеев. Инерциальные измерительные модули в малогабаритных безэкипажных катерах: современные решения и перспективы</i>	71
<i>С. А. Якушенко, А. А. Ларионов, С. В. Дворников, А. А. Маслова. Пропускная способность радиолиний с многоантенными системами в условиях замираний</i>	74
<i>П. И. Хибенков, П. В. Прошин. Особенности построения широкополосных передающих антенно-аппаратурных комплексов повышенной мощности на базе унифицированных 5 квт модулей</i>	78
<i>Е. К. Самаров. Двумерная плотность распределения вероятностей двухкомпонентного случайного процесса с учетом автокорреляции парциальных компонент</i>	79
<i>А. В. Дранников, С. Г. Козьмин, А. В. Исаев. Техническая реализация модема высокоскоростной гидроакустической связи</i>	81
<i>А. А. Катанович, К. В. Гольдибаев, В. А. Цыванюк. Метод передачи сообщений по атмосферным оптическим линиям связи</i>	87
<i>Ю. Т. Загидуллин, А. С. Свояков. Алгоритм автоматического шумоподавления для цифровой системы передачи речи</i>	91
<i>И. М. Жданова, С. С. Дворников, С. В. Дворников. Оценка влияния частотной расстройки помех на качество связи в линиях спутниковой связи VSAT</i>	94

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ И УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ

<i>К. В. Лапшин, Т. М. Татарникова, Ю. А. Ямщиков. Обеспечение синхронизации времени в локальной вычислительной сети корабля</i>	97
<i>Е. К. Самаров. Квазиоптимальный алгоритм обнаружения импульсов в радиолокационных корабельных радиосистемах в классе загрязненных пуассоновских распределений</i>	102
<i>С. Л. Ильменков. Математическая модель рассеяния гидролокационного сигнала корпусом подводного аппарата</i>	104
<i>В. Н. Грачев, А. В. Алексеев, Н. С. Давыдов. Совершенствование корабельной пожарной сигнализации: методика отбора и ранжирования дополнительных информативных параметров для раннего обнаружения возгорания</i>	107

ИСТОРИЯ СУДОСТРОЕНИЯ И ФЛОТА

<i>П. А. Васильев. К 125-летию спуска на воду крейсера «Аврора»</i>	113
<i>Д. Ю. Литинский. Первые советские противокорабельные ракеты и ракетные корабли. Часть 1</i>	116

В НТО СУДОСТРОИТЕЛЕЙ

<i>К. В. Рождественскому-80 лет</i>	122
---	-----

В МОРСКОМ СОБРАНИИ

<i>М. Н. Савин. К 420-летию Афанасия Лаврентьевича Ордина-Нащокина, инициатора корабельного дела на Руси</i>	125
--	-----

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 № 1812

Дата выхода в свет – 11.06.2025

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 № 2 (94) June 2025



Вестник

Morskoy Vestnik

SCIENTIFIC, ENGINEERING, INFORMATION AND ANALYTIC MAGAZINE

Editorial Council

Co-chairman:

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

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

V.S. Nikitin,

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

G.A. Turichin, Rector SPbSMTU

Council Members:

A.A. Aslanyan, General Director
JSC RPF Meridian

I.Yu. Burtsev, Director JSC CRIME

V.A. Dolgikh, General Director JSC NTI Radiosvyaz

V.Yu. Dorofeev, General Director

JSC SPMDB Malachite

Yu.V. Dushkin, General Director JSC NPA ARKTIKA

S.G. Filimonov, General Director

JSC Concern Morflot

V.E. Gel, General Director JSC MC Radiostandart

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

K.G. Golubev, General Director JSC Almaz CMBD

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 Armalit

L.G. Kuznetsov, General Designer

JSC Compressor

I.M. Mukhutdinov, General Director

JSC Almaz Shipbuilding Company

G.N. Muru, General Director JSC 51 CDTISR

O.A. Ostapko, General Director

JSC Severnoye Design Bureau

E.A. Ryllov, 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 Avrora

K.A. Smirnov, General Directors JSC MNS

I.S. Sukhovinsky, Director JSC VINETA

V.S. Tatarsky, General Director JSC ERA

N.M. Vikhrov, General Director

JSC Kanonersky Shiprepairing Yard

M.V. Zakharov, General Director

JSC Pumori-north-west

P.A. Zubkov, General Director MCS LLC

ABSTRACTS

Saint Petersburg State Marine Technical University is 95 years old 1

SHIP DESIGN AND CONSTRUCTION

Yu. A. Lebedev. Central Research Institute of Marine Engineering – 55 years
of service to the Russian fleet 6

K. G. Golubev, V. V. Baranovsky, V. S. Domnin, A. V. Doolicharova.
The solution to the problem of import substitution of propulsion systems for high-
speed vessels is the most important task of domestic shipbuilding in the short term 11

P. A. Zubkov, O. V. Zakharova. Psychological aspects of developing complex
technical solutions in the field of design projects for utility and living spaces
of prospective Navy ships 15

TECHNOLOGY OF SHIPBUILDING, SHIP REPAIR AND ORGANISATION OF SHIPBUILDING

*Sredne-Nevisky Shipyard continues construction of a series of sea minesweepers
for the Russian Navy* 23

V. N. Tarasov. NPA Arktika: specifics of repair and maintenance
of technical condition of electrical equipment 25

M. D. Movchanova, A. A. Konoplev, A. V. Rovdo, A. B. Fomichev. Analysis
of non-production losses when working with software 28

V. P. Lyansberg, N. M. Vikhrov. Determination of parameters of a porthole
clamp with a glass element in the form of a disk 31

SHIP POWER PLANTS AND THEIR ELEMENTS

A. E. Vasil'ev, R. R. Kasimov, V. D. Kovalev, D. E. Kungurtsev, S. A. Tokarenko.
Rig equipment for assessing the characteristics of liquid flow measurement systems 34

D. A. Bulatov, A. V. Ershov. Service life limitations of hydraulic distributors with
a flat spool made of bronze alloy in a friction pair with an oxidized titanium alloy 36

A. A. Khalyavkin, E. O. Loginova, V. B. Simagina, B. M. Sabakh, R. Yu. Druzenko.
On the influence of the moment of inertia of the propeller on the value of the natural
frequency of transverse oscillations of the propeller shaft 39

R. R. Khotskiy, A. V. Burakov, A. V. Makshanov, L. N. Tyndykar'. Forecasting
the technical condition of a piston compressor based on variational mode
decomposition and a recurrent neural network 45

D. L. Averzhanov, A. V. Sikhimbayev. Experimental determination of the flow
characteristics of a two-position kingston 50

A. Salameh, A. A. Khalyavkin, E. M. Khussam, Yu. I. Matveyev. Study
of the technical condition of a marine diesel engine based on oil analysis 52

V. V. Kamlyuk, I. O. Prutchikov, A. V. Podgorny, I. V. Grechushkin. Improving
the efficiency of remote power supply to consumers of electricity located
far from its sources 56

A. A. Khalyavkin, V. V. Bondarenko, V. V. Kuts, Yu. I. Matveyev. Technology
of repair of stern tube bearings of ship shaft lines 59

V. Sh. Vakhitov, E. V. Sal'nikov. Application of sectional distributor blocks
in remote control systems for valves on a submarine 63

D. I. Dymov, D. O. Glazyrina, E. N. Aleksin. Thermodynamic analysis
of R. Diesel's perfect cycle 65



DESIGN AND TECHNOLOGY OF INSTRUMENT MAKING AND RADIO ELECTRONIC EQUIPMENT

<i>L. S. Khabarov, A. P. Larin. Research, development and application of optical-electronic means for the purposes of observation, tracking and tracking of an object.....</i>	67
<i>M. A. Eremeev. Inertial measurement units on small-sized unmanned boats: modern solutions and prospects.....</i>	71
<i>S. A. Yakushenko, A. A. Larionov, S. V. Dvornikov, A. A. Maslova. Capacity of radio links with multi-antenna systems in fading conditions.....</i>	74
<i>P. I. Khibenko, P. V. Proshin. Features of the construction of broadband transmitting antenna-equipment complexes of increased power based on unified 5-kilowatt modules.....</i>	78
<i>E. K. Samarov. Two-dimensional probability distribution density of a two-component random process taking into account the autocorrelation of partial components.....</i>	79
<i>A. V. Drannikov, S. G. Koz'min, A. V. Isaev. Technical implementation of a high-speed hydroacoustic communication modem.....</i>	81
<i>A. A. Katanovich, K. V. Gol'dibaev, V. A. Tsyvanyuk. Method of message transmission via atmospheric optical communication lines.....</i>	87
<i>Yu. T. Zagidullin, A. S. Svoiyakov. The adaptive noise reduction algorithm for digital voice communication system.....</i>	91
<i>I. M. Zhdanova, S. S. Dvornikov, S. V. Dvornikov. Evaluation of the impact of frequency detuning of interference on the quality of communication in VSAT satellite communication lines.....</i>	94

INFORMATION-MEASURING AND MANAGEMENT SYSTEMS

<i>K. V. Lapshin, T. M. Tatarnikova, Yu. A. Yamshchikov. Ensuring time synchronization in the ship's local computing network.....</i>	97
<i>E. K. Samarov. A quasi-optimal algorithm for detecting pulses in shipborne radar radio systems in the class of polluted Poisson distributions.....</i>	102
<i>S. L. Il'menkov. Mathematical model of sonar signal scattering by the underwater vehicle hull.....</i>	104
<i>V. N. Grachev, A. V. Alekseev, N. S. Davydov. Improving ship fire alarm: methodology for selecting and ranking additional informative parameters for early fire detection.....</i>	107

THE HISTORY OF SHIPBUILDING AND FLEET

<i>P. A. Vasil'ev. On the 125th anniversary of the launch of the cruiser «Aurora».....</i>	113
<i>D. Yu. Litinsky. The First Soviet Anti-Ship Missiles and Missile Ships. Part 1.....</i>	116

IN THE ASSOCIATION OF SHIPBUILDERS

<i>K. V. Rozhdestvensky is 80 years old.....</i>	122
--	-----

IN THE MARINE ASSEMBLY

<i>M. N. Savin. On the 420th anniversary of Afanasy Lavrentyevich Ordin-Nashchokin, the initiator of shipbuilding in Rus'.....</i>	125
---	-----

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

ПИ № 77-12047 of 11 march 2002

Founder-Publisher

JSC Publishing House «Mor Vest»

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

The magazine electronic version

is placed on the site LLC «Nauchnaya elektronnyaya biblioteka» www.eLibrary.ru and is also included to the

Russian index of scientific citing

By the decision of the Council of VAK the Morskoy Vestnik magazine is entered on the list of the leading

scientific magazines and editions published in the

Russian Federation where basic scientific outcomes of

doctoral dissertations shall be published.

www.perechen.vak2.ed.gov.ru

You can subscribe to the Morskoy Vestnik magazine

using Russian Post Catalog «Subscription editions»

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

office via the Morvest Publishing House

Printed by Sfera JSC

Printing house address 190005, St. Petersburg,

Egorova st., 26a, letter B

Circulation 300. Order № 1812

Publication date – 11.06.2025

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

В соответствии с Приказом Министерства судостроительной промышленности СССР от 22 июля 1970 г. № 389, согласованным с Государственным комитетом Совета Министров СССР по науке и технике, в Ленинграде на базе ЦКБ «Пролетарского завода» был организован Центральный научно-исследовательский и проектный институт судового машиностроения, а также создано научно-производственное объединение судового машиностроения с подчинением его 3 Главному управлению Минсудпрома. Этим же приказом ЦНИИ судового машиностроения (тогда – ЦНИИ «Компас») был назначен главным предприятием объединения.

Основная цель образования института, переименованного в 1996 г. в ЗАО «ЦНИИ судового машиностроения» (ЗАО «ЦНИИ СМ»), состояла в организации научно-исследовательской базы по разработке современных судовых машин и механизмов и сокращения цикла их создания для нужд Министерства обороны и Военно-Морского Флота.

ЦНИИ СМ создавался как центр компетенций в области:

- рулевых устройств;
- грузоподъемного оборудования;
- буксирных, якорно-швартовых и спускоподъемных устройств;
- оборудования водоподготовки и водоочистки;
- судовой гидравлики;
- устройств передачи грузов с судна на судно на ходу;
- устройств для работы с палубной авиацией;
- успокоителей качки;
- оборудования для работы на шельфе;
- подводных приводов и манипуляторов.

В настоящее время ЗАО «ЦНИИ СМ» – ведущий научно-исследовательский и инженерный центр машиностроительного кластера судостроительной отрасли России по созданию судовых машин и механизмов, устройств и комплексов специальной техники.

В сферу деятельности института входят:

- научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы;
- решение теоретических и практических проблем эксплуатации судовых машин;
- исследования поведения машин в морских условиях;
- испытания новых материалов и конструкций;
- разработка стандартов и нормативных документов;
- подготовка и повышение квалификации специалистов в области судового машиностроения;
- совместные работы с конструкторскими бюро и научно-исследовательскими организациями отрасли;

ЦНИИ СУДОВОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ – 55 ЛЕТ СЛУЖЕНИЯ ФЛОТУ РОССИИ

*Ю.А. Лебедев, гл. конструктор – зам. гл. инженера ЗАО «ЦНИИ СМ»,
контакт. тел. (812) 640 1051*

- разработка стратегии развития отечественного судового машиностроения;
- участие в разработке и реализации государственных программ развития отрасли;
- комплексная поставка оборудования для судов.

За 55-летний период творческой деятельности коллективом ЦНИИ СМ было выполнено много НИР, НИОКР, ОКР, спроектировано и создано большое количество машин, механизмов, устройств и комплексов специальной техники судового машиностроения, во многих случаях не имеющих аналогов в отечественной и зарубежной практике.

Рассказать обо всех достижениях коллектива института за более чем полувековой путь в рамках одной статьи, конечно же, невозможно, тем более что сферы компетенций института чрезвычайно разнообразны, поэтому остановимся только на некоторых из них и вспомним, с чего начинался долгий путь к успеху.

Одной из первых проблем, которой начал заниматься ЦНИИ СМ в начале 1970-х гг., было создание новых технических средств для снабжения кораблей ВМФ сухими и жидкими грузами в районах несения боевой службы. В соответствии с Постановлением Совета Министров СССР от 31 июля 1969 г. Решением ВМФ и Минсудпрома на ЦНИИ были возложены обязанности головной и базовой организации по проектированию устройств передачи грузов в открытом море.

Для проведения перегрузочных операций наиболее прогрессивным способом является траверзный, который характеризуется высокой эффективностью и позво-

ляет одновременно снабжать несколько кораблей сухими и жидкими грузами при качке на морском волнении до 5 баллов включительно. При передаче грузов в море траверзным способом судно снабжения и принимающий корабль следуют параллельными курсами с одинаковой скоростью хода, соблюдая при этом установленную дистанцию, исключающую контакт кораблей. Отличительной особенностью судовых канатных дорог (СКД), используемых при траверзном способе передачи грузов, является подвижность точек подвеса, обусловленная качкой судов на морском волнении. В процессе качки оба судна или, конкретнее, две их характерные точки (точки подвеса) совершают сложные колебательные движения, носящие случайный характер внешнего возбуждения из-за нерегулярности морского волнения.

В этих условиях необходимо создавать и поддерживать практически постоянное натяжение канатов, а также обеспечивать заданное движение грузовой тележки (для устройств передачи сухих грузов) относительно передающих и принимающих мачт.

Опытные комплекты этих устройств – «Струна-В-4,0-1000» (для передачи сухих грузов массой 4 т и жидких грузов пропускной способностью 1000 т/ч), «Струна П-4,0» (для приема сухих грузов) и «Струна П-1000» (для приема жидких грузов) были изготовлены на Пролетарском заводе в 1972-1974 гг., установлены на морском танкере «Днепр», БПК «Адмирал Макаров» в 1974 г. и успешно прошли ходовые и межведомственные испытания. В этот же период проведены динамические исследования в натурных условиях.



Рис. 1. Устройство передачи сухих и жидких грузов в море на ходу траверзным способом



Рис. 2. Аэрофинишер

За решение данной проблемы в 1976 г. институту была присуждена Государственная премия СССР. Общий вид опытного устройства передачи жидких и сухих грузов представлен на рис. 1.

С учетом опыта создания вышеуказанных устройств этот вид получил дальнейшее развитие и совершенствование и был востребован зарубежными заказчиками (ВМС КНР и Индии). Более подробно это изложено в статьях [1–4]. В настоящее время сотрудники института работают над созданием следующего поколения устройств передачи грузов в море на ходу.

Другая проблема, которую надо было решить, – это разработка и создание взлетно-посадочных средств для авианосцев. ЦНИИ СМ во второй половине 1970-х гг. было поручено разработать, а Пролетарскому заводу изготовить взлетно-посадочный комплекс (ВПК), состоящий из катапульты, аэрофинишеров и аварийного барьера для первого отечественного авианесущего крейсера.

Взлетно-посадочные средства авианосцев должны обеспечивать взлет летательного аппарата корабельного (ЛАК) со скоростью до 300 км/ч при длине разбега около 100 м и их торможение при скорости посадки до 240 км/ч на пути до 90 м.

Создание подобных устройств потребовало также решения целого ряда технических проблем, так как параметры механизмов ВПК были экстремальными для судового машиностроения: давление в гидроцилиндрах аэрофинишера достигало 1000 кгс/см², а в гидротормозе катапульты – 3000 кгс/см², скорости поршней парового двигателя – 90 м/с, гидравлических уплотнений – 10 м/с, скорость выбирания троса лебедки возврата – 12 м/с.

В связи с высокими требованиями к надежности оборудования ВПК остро встал вопрос о проведении его всесторонней отработки и испытаний до поставки на корабль. Конструктивные элементы

катапульты, аэрофинишера и аварийного барьера были отработаны на экспериментальных установках и действующих масштабных моделях. Опытные и серийные образцы устройств ВПК отработывались на полигоне.

Изготовленными Пролетарским заводом аэрофинишерами и аварийным барьером оснащен посадочный блок первого российского авианесущего крейсера с самолетами горизонтальной посадки «Адмирал флота Советского Союза Кузнецов». Аэрофинишер посадочных комплексов показан на рис. 2. Также ЦНИИ СМ разработал, а Пролетарский завод изготовил блок аэрофинишеров для полигона в г. Ейск.

Начиная с 1960-х гг. XX столетия и по настоящее время наблюдается интенсивное развитие глубоководных технических средств как у нас в стране, так и за рубежом. Проблемами, связанными с их созданием, заняты все ведущие страны мира: США, Германия, Япония, Великобритания, Франция и ряд других. Активно над решением проблемы в области робототехнических систем ЦНИИ СМ начал заниматься с мая 1971 г., когда были получены технические задания на создание погружных манипуляторных устройств для ряда проектов обитаемых глубоководных аппаратов.

Манипуляторное устройство должно выполнять следующие рабочие операции (рис. 3):

- по ограничению движения – операции со свободными объектами и объектами, имеющими физические связи (открывание люков, сверление отверстий и нарезание в них резьбы);
- по исполнительному воздействию – захват, удержание, придание формы, измерение;
- по точности исполнительного воздействия – грубое, точное и силовое манипулирование.

Первоначальные исследования пока-



Рис. 3. Манипуляторное устройство

зали, что манипуляционная система глубоководных технических средств должна иметь следующие основные части: механическую, измерительную и информационную системы. При этом следует отметить, что невозможно обеспечить работоспособность манипуляторного устройства при отсутствии какой-либо одной из них. За уникальные научные разработки, достижение высоких результатов и успешную эксплуатацию манипуляторных устройств в 1995 г. институту была присуждена Государственная премия РФ.

В настоящее время в институте сложилась школа специалистов, продолжающих работать над созданием робототехнических манипуляционных систем в приложении к глубоководным техническим средствам (подробно изложено в статье [6]). Из недавних достижений этого направления особо необходимо отметить работы, связанные с изготовлением опытного образца погружного бурового комплекса, предназначенного для размещения на подводном носителе с целью выполнения геологоразведочных работ на грунте Мирового океана при глубинах до нескольких километров.

В конце 1960-х гг. ЦКБ Пролетарского завода было поручено проектирование и создание новых специальных лебедок для вытравливаемых буксируемых устройств радиосвязи (ВБУРС) типа «Параван» и «Ласточка». Проблема создания буксируемых систем радиосвязи, а также судовых устройств постановки-выборки этих систем всегда актуальна для ВМФ, так как боевые возможности кораблей в значительной степени определяются их радиосвязью (прием-передача) с руководством флотов и соединений. Для устройства «Параван» были разработаны лебедки ЛЭС-35 (большое число модификаций), а для устройства «Ласточка» – лебедки типа ЛЭС-48. Для нового по-

коления подводных лодок в конце 1970-х – начале 1980 гг. ЦНИИ СМ разработал специальные лебедки: ЛЭС-48-1 и ЛЭС-48-1М для ВБУРС «Моряна», ЛЭС-55 и ЛЭС-55-1 для ВБУРС «Залом».

Одним из сложнейших устройств, разработкой которого в начале 1970 гг. начал заниматься ЦНИИ СМ, было устройство постановки-выборки (УПВ) протяженных буксируемых гидроакустических систем (ГАС) для атомных подводных лодок (АПЛ). В 1972 г. разработан и изготовлен первый опытный образец «Руза-П». Это устройство было установлено и испытано на заказе 627А. Затем последовали разработка и создание устройств УПВ и УПВ-1 для гидроакустических комплексов (ГАК) «Скат» и УПВ-1-3 для ГАК «Скат-3», предназначенных для размещения в гондоле на заказах 671РГМ, 945 и 971. Пролетарский завод изготовил и поставил около 50 этих устройств. Для заказов разработки ЦКБ МТ «Рубин» была создана лебедка ЛЭС-П2 с погружным электродвигателем для ГАС «Пелагида». Пролетарский завод изготовил и поставил около 40 таких механизмов. Кроме того, были разработаны и созданы гидравлические специальные лебедки для подводных лодок нового поколения: ЛГС-42 для заказов «Лада», ЛГС-39-2 для заказов «Борей», ЛГС-38 для заказов «Ясень».

ЗАО «ЦНИИ СМ» всегда был в авангарде решения значимых для отрасли проблем. На данный момент перед судостроительной промышленностью в рамках принятой стратегии развития поставлены задачи по значительному наращиванию производства гражданских судов. Благодаря инициативам Минпромторга и ОСК, ЦНИИ СМ совместно с Пролетарским заводом сегодня реализует важную для страны задачу импортозамещения, решая целый ряд сложных наукоемких задач по проектированию и освоению серийного производства широкой номенклатуры гражданской продукции, ранее не изготавливаемой в нашей стране. В рамках этой работы современное поколение инженеров еще раз подтвердило свой высокий технический уровень и то, что они являются достойными преемниками плеяды инженеров и ученых, стоявших у истоков создания ЦНИИ СМ.

Особой гордостью специалистов института является создание следующих изделий и устройств:

- роторных рулевых машин с крутящим моментом от 100 до 1000 кНм;
- плунжерных рулевых машин с крутящим моментом от 25 до 4000 кНм;
- успокоителей качки с убирающимися рулями площадью от 1,4 до 8 м²;
- успокоителей качки с неубирающимися рулями площадью от 2,5 до 16 м²;
- спускоподъемных устройств грузоподъемностью от 4 до 12 т;

- кранов с системой активной компенсации качки грузоподъемностью от 20 до 50 т;
- кранов-манипуляторов грузоподъемностью от 2 до 10 т;
- якорно-швартовного оборудования с тяговым усилием от 75 до 125 кН и для цепей калибром от 38к2 – до 56к2;
- комплекса гидрооборудования и исполнительных механизмов земснарядов;
- опреснительных установок производительностью до 100 м³/сут.

Всего в рамках работы по созданию серийного гражданского судового комплектующего оборудования создано и осваивается более 50 образцов техники.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Без развития в стране собственного мощного и эффективного кластера судового машиностроения строительство отечественных конкурентоспособных судов и кораблей неосуществимо, так как конкурентоспособность судна напрямую зависит от технических характеристик и стоимости его оборудования. История показывает, что решение задач создания конкурентной инновационной техники возможно только в содружестве науки и производства. ЦНИИ СМ и Пролетарский завод более полувека реализуют это содружество. Накопленный многолетний опыт выполнения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, а также созданная научно-инженерная школа позволяют создавать и осваивать производство современных механизмов на уровне лучших мировых образцов морской техники.

ЦНИИ СМ выражает искреннюю благодарность за многолетнее плодотворное сотрудничество верфям и заводам, КБ-проектантам надводных и подводных кораблей, специализированным научно-исследовательским институтам и специалистам этих предприятий. Желаем, чтобы совместная работа и в будущем позволила успешно решать актуальные проблемы создания морской техники и способствовала ускорению научно-технического прогресса в судостроительной отрасли.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Бородин Ю. Л.* Решение проблемы по созданию устройств передачи грузов в море на ходу траверзным способом // Судостроительная промышленность: Сер. Технология и организация производства. Судовое машиностроение. Опыт проектирования и создания судовых механизмов. – 1995. – Вып. 1. – С. 65–70.
2. *Бородин Ю. Л., Дюжев А. К.* Об опыте создания устройств передачи сухих и жидких грузов в море на ходу траверзным и кильватерным способом // Судостроительная промышленность: Сер. Технология и организация производства. Судовое машиностроение. Опыт проектирования и создания судовых механизмов. – 2000. – С. 31–39.

3. *Бородин Ю. Л., Дюжев А. К.* Создание устройства передачи сухих грузов В1-2,0 в море на ходу траверзным способом // Судостроительная промышленность: Сер. Технология и организация производства. Судовое машиностроение. Опыт проектирования и создания судовых механизмов. – 2002. – С. 32–39.
4. Создание устройств передачи сухих и жидких грузов траверзным способом для двух судов комплексного снабжения проекта 903 / *Бородин Ю. Л., Вассер Г. Р., Дюжев А. К., Павлов Е. М., Пахомов Д. С.* // Судостроительная промышленность: Сер. Технология и организация производства. Судовое машиностроение. Опыт проектирования и создания судовых механизмов. – 2006. – С. 167–171.
5. *Булгаков А. А.* Взлетно-посадочный комплекс авианесущего крейсера // Судостроительная промышленность: Сер. Технология и организация производства. Судовое машиностроение. Опыт проектирования и создания судовых механизмов. – 1995. – Вып. 1. – С. 71–82.
6. *Белоусов В. Н., Никитин А. В.* Исследование и разработка в области теории и методов проектирования приводов судового оборудования // Судостроительная промышленность: Сер. Технология и организация производства. Судовое машиностроение. Опыт проектирования и создания судовых механизмов. – 1995. – Вып. 1. – С. 49–64.
7. *Арутюнян А. А., Суслов Д. В., Завирухо В. Д.* В авангарде отечественного судового машиностроения. К 40-летию ЦНИИ судового машиностроения // Морской вестник. – 2010. – Вып. 3(35). – С. 25–27.
8. *Арутюнян А. А., Суслов Д. В., Завирухо В. Д., Георгиев А. А.* К вопросу повышения технологичности судового комплектующего оборудования // Морской вестник. – 2010. – №3(35). – С. 28–30.
9. *Арутюнян А. А., Суслов Д. В., Завирухо В. Д.* Техническое перевооружение и модернизация производственных мощностей – главное направление развития отечественного судового машиностроения в современных экономических условиях: К 185-летию ОАО «Пролетарский завод» // Морской вестник. – 2011. – № 3(39). – С. 35–37.
10. *Александров М. А., Скороходов Д. А.* Анализ методики и алгоритма оценки надежности объекта транспортной системы при произвольных законах распределения // Морской вестник. – 2013. – №4(48). – С. 100–102.
11. *Александров М. А., Богданов А. Г., Скороходов Д. А.* Принципы управления состоянием предприятия в режиме самоорганизации системы менеджмента // Судостроительная промышленность: Сер. Технология и организация производства. Судовое машиностроение. Опыт проектирования и создания судовых механизмов. – 2011. – №1(41). – С. 3–8.
12. *Александров М. А., Богданов А. Г., Скороходов Д. А.* Принципы формирования информационных систем контроля качества объектов судового машиностроения // Судостроительная промышленность: Сер. Технология и организация производства. – 2017. – №1(41). – С. 103–111.
13. *Богданов А. Г., Скороходов Д. А., Черненко В. И.* Стратегия развития изделий судового машиностроения // Морской вестник. – 2018. – №2(66). – С. 45–50. ■

Пропульсивный комплекс лубых скоростных катеров и судов вместе с обводами корпуса включает: легкие высокооборотные дизельные двигатели, редукторы и водометные движители или частично погружные винты (ЧПГВ), так называемые приводы Арнесона (Arneson). Судостроители всего мира давно с успехом используют такие наборы в составе пропульсивных комплексов для проектирования и строительства скоростных катеров и яхт.

АО «ЦМКБ «Алмаз» как ведущий российский проектант скоростных катеров также не осталось в стороне от этого процесса. У конструкторского бюро (КБ) есть ряд завершенных проектов, таких как, например, катера типа «Мангуст», «Ястреб», «Соболь», «Катран» и «Стриж», в КБ ведется также проектирование перспективных высокоскоростных катеров с максимальной скоростью движения от 44 до 60 уз в зависимости от состава энергетической установки.

Скоростные катера по проектам АО «ЦМКБ «Алмаз» могут быть востребованы как силовыми структурами России, так и другими ведомствами гражданского назначения, например, МЧС России, природоохранными, судоходными, рыболовецкими и др.

Основной традиционно сложившейся особенностью пропульсивных комплексов на отечественных скоростных катерах и судах является то, что все они изготавливаются в основном из зарубежных комплектующих, причем из недружественных стран. Аналогичная ситуация наблюдается и у остальных российских КБ-проектантов катеров различного назначения.

Ниже рассмотрены примеры использования пропульсивных комплексов на скоростных катерах проектов АО «ЦМКБ «Алмаз».

Ярким примером является *высокоскоростной глиссирующий патрульный катер прибрежной зоны «Мангуст»*, спроектированный под нужды заказчика в вариантах с частично-погружным винтом (ЧПГВ) и с водометными движителями (рис. 1).

Энергетическая установка катера – двухвальная дизель-редукторная с приводами ЧПГВ типа Arneson или водометными движителями. Мощность применяемых главных двигателей – $2 \times 1100 \div 1200$ кВт.

В качестве водометных движителей (ВД) в разные периоды применялись водометы моделей Kamewa FF500, Kamewa 40A3 и Kamewa A45 фирмы Rolls-Royce (Великобритания). Модели ВД менялись по мере обновления линейки производителем.

РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ ПРОПУЛЬСИВНЫХ КОМПЛЕКСОВ БЫСТРОХОДНЫХ СУДОВ - ВАЖНЕЙШАЯ ЗАДАЧА ОТЕЧЕСТВЕННОГО СУДОСТРОЕНИЯ НА КРАТКОСРОЧНУЮ ПЕРСПЕКТИВУ

*К. Г. Голубев, д-р техн. наук, ген. директор,
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*



Рис. 1. Скоростной катер «Мангуст»

Результаты испытаний и эксплуатации катеров по назначению показали высокую надежность силовой установки, а также высокую маневренность катеров при применении водометных движителей. Максимальная скорость движения катера с таким движителем составляет 47–50 уз.

Всего было построено по данному проекту 76 катеров разных модификаций, 22 из которых – с водометными движителями.

Показательным также является *малый скоростной патрульный катер «Ястреб»* (рис. 2). Он спроектирован под нужды заказчика для прибрежных зон морских территориальных вод, акваторий и рейдов портов, озер и устьев судоходных рек.

Энергетическая установка – двухвальная дизель-редукторная с водометными движителями. Мощность применяемых главных двигателей – $2 \times 330 \div 460$ кВт.

В качестве водометных движителей в разные периоды применялись водометы моделей Kamewa FF340 фирмы Rolls-Royce (Великобритания) и Turbodrives 340H. C. фирмы Castoldi (Италия).

При применении водометного движителя фирмы Castoldi редуктор к дизельному двигателю не требуется, так как он встроен в конструкцию водомета.

Результаты испытаний и эксплуатации таких катеров по назначению показали быстрый набор ими скорости и высокую маневренность. Максимальная скорость движения катера с водометным движителем составляет 41–42 уз.

Всего было построено 16 катеров этого проекта в разных модификациях.

Рабоче-спасательный или развездной бортовой катер «Катран» (рис. 3) является многофункциональным и предназначен для обеспечения аварийно-спасательных работ и бук-

сировки плавучих объектов, подводно-технических и водолазных работ судна-носителя, повседневной деятельности судна-носителя при выполнении работ по назначению при стоянке судна на якорю.

Энергетическая установка – двухвальная дизель-редукторная с водометными движителями. Мощность применяемых главных двигателей – 2×232 кВт.

Катер используется в качестве рабоче-спасательного и развездного бортового катера на кораблях и судах различных проектов. Максимальная скорость движения составляет 32 уз.

В качестве водометных движителей на катере использованы водометы HJ292 фирмы Hamilton Jet (Новая Зеландия). Всего было построено 6 катеров данного проекта.

Скоростная моторная яхта «Стриж» (рис. 4) предназначена для служебных развозов, в том числе с представительскими целями, совершения морских прогулок, а также проведения деловых встреч. Предусматривается использование в прибрежных районах.

Энергетическая установка – двухвальная дизель-редукторная с водометными движителями. Мощность применяемых главных двигателей – 2×662 кВт.

В качестве водометных движителей применены водометы модели Kamewa FF410 фирмы Rolls-Royce (Великобритания).

Результаты испытаний и эксплуатации яхты показали быстрый набор скорости, плавность хода и высокую маневренность. Максимальная скорость движения яхты составляет 43 уз.

Ниже представлена сводная таблица комплектующих, входящих в состав пропульсивных комплексов скоростных катеров по проектам АО «ЦМКБ «Алмаз».

Анализ состава комплектующих пропульсивных комплексов подтверждает утверждение об использовании исключительно иностранных комплектующих из недружественных стран, доминирование которых было обусловлено несколькими факторами. Во-первых, отсутствием в отечественном машиностроении такого кластера, как производство легких высокооборотных судовых дизельных двигателей мощностью от 700 до 3000 л. с. и редукторных передач наподобие ZF, которые были бы пригодны для использования в составе пропульсивных комплексов скоростных катеров и судов.

По результатам анализа, проведенного Минпромторгом России, было



Рис. 2. Малый скоростной патрульный катер «Ястреб»



Рис. 3. Развездной катер «Катран»

установлено, что доступные к закупке отечественные образцы пропульсивных комплексов для использования на скоростных катерах и судах не удовлетворяют требованиям Минобороны РФ и других силовых структур из-за существенного снижения характеристик конечной продукции.

Во-вторых, до 2014 г. (до вхождения Крыма и г. Севастополь в состав

Российской Федерации) для конструкторов не представляло никакого труда оснащать быстроходные катера, в том числе и для силовых структур, иностранными комплектующими, выбирая наиболее предпочтительные варианты как по техническим характеристикам оборудования, так и по стоимости, среди широкого спектра потенциальных поставщиков.



Рис. 4. Скоростная моторная яхта «Стриж»

**Состав пропульсивных комплексов скоростных катеров,
разработанных АО «ЦМКБ «Алмаз»**

№ проекта/серия	Марка ГД/мощность	Марка редуктора	Тип двигателя
12150 «Мангуст»/ 76	MTU 10V2000M93/ 2×1140 кВт	ZF2050	Водометный двигатель Rolls-Royce Kamewa A45 Kamewa FF500 Kamewa 40A3
	MAN V12-1550/ 2×1140 кВт	ZF2050	Привод ЧПГВ Arneson ASD14
12200 «Соболь»/ 23	MTU 12V2000M93/ 2×1340 кВт	ZF3050	Привод ЧПГВ Arneson ASD15
	MAN V12-1800/ 2×1324 кВт	Twin Disc MGX6620SC	Привод ЧПГВ Arneson ASD15
12260 «Ястреб»/ 16	VolvoPenta TAMD72WJ/ 2×331 кВт	– (муфта centastart)	Водометный двигатель Rolls-Royce Kamewa FF310S
	Caterpillar C9ACERT/2×423кВт	ZF325-1	Водометный двигатель Rolls-Royce Kamewa FF340
	Seatec 620Plus	– (редуктор встроен в водомет)	Водометный двигатель Castoldi TD340HC
21770 «Катран»/ 6	Yanmar 6LPA-STP/ 2×232 кВт	ZF63 ZF68	Водометный двигатель Hamilton Jet HJ292
21990 «Стриж»/ 1	MAN V8-900 CRM/2×662кВт	ZF350	Водометный двигатель Rolls-Royce Kamewa FF410S

В-третьих, немаловажным фактором использования иностранных комплектующих являлись сложившиеся устойчивые деловые связи с зарубежными производителями, которые гарантировали поставки практически любого оборудования из состава пропульсивных комплексов для любых конечных потребителей скоростных катеров и судов.

После известных событий присоединения Крыма к РФ в 2014 г. и в особенности после начала СВО в 2022 г. эксплуатация скоростных катеров и судов существенно усложнилась из-за прекращения поставок ЗИП, масел и смазок иностранными производителями. Серийное строительство катеров также осложнилось вследствие прекращения поставок такого оборудования из-за рубежа. И к такому развороту событий ни конструкторские бюро, ни потенциальные потребители оказались не готовы.

Все вышеизложенное свидетельствует об остро стоящей проблеме комплектования силовым оборудованием серийно строящихся и вновь проектируемых скоростных катеров и судов. Решение этой проблемы является важнейшей неотложной за-

дачей. Обозначенная проблема была озвучена 21.11.2022 г. на совещании в Министерстве промышленности и торговли РФ в ноябре 2022 г., где рассматривался вопрос в рамках выполнения Постановления Правительства РФ от 1 августа 2020 г. № 1152 и приказа Минпромторга России от 11 ноября 2022 г. № 4461 по выбору направлений обеспечения технологической независимости РФ от использования иностранных судовых энергетических установок для создания маломерных судов.

Учитывая схожесть технических требований Речного и Морского регистров к пропульсивным установкам, а также специальных требований силовых структур, реализация проблемы импортозамещения повлечет за собой массовое их производство для гражданского сектора, что позитивно отразится на себестоимости продукции.

Департаментом судостроительной промышленности и морской техники Минпромторга России по результатам совещания было принято решение о необходимости проведения ряда опытно-конструкторских работ (ОКР) по созданию элементов пропульсивных установок скоростных

катеров и судов отечественными машиностроительными предприятиями. С этой целью Департаментом было дано поручение АО «ЦМКБ «Алмаз» разработать технические требования (ТТ) и технические задания (ТЗ) на проведение такой ОКР, что к настоящему времени успешно реализовано.

В процессе разработки ТЗ была проделана большая работа с представителями Главного командования ВМФ, НИИ К и В ВУНЦ ВМФ ВМА, МГТУ им. Н. Э. Баумана, потенциальными КБ-проектантами и производителями аналогичных комплектующих гражданского назначения, которые могут быть доработаны до морского исполнения.

После проделанной работы появилась уверенность в том, что в случае принятия решения Минпромторгом России о проведении ОКР создание пропульсивных комплексов будет начинаться не «с чистого листа», а на основе опытных образцов аналогичных изделий гражданского назначения, освоенных в производстве. Так, например, для предполагаемой к разработке линейки стационарных дизельных двигателей имеются опытные и серийные образцы автомобильных двигателей ПАО «Автодизель» (ЯМЗ), в частности, ЯМЗ-534 и ЯМЗ-536 мощностью в диапазоне от 115 до 612 л. с. и ЯМЗ-860 мощностью в диапазоне от 1000 до 2450 л. с.

Отличительной особенностью предлагаемых ОКР, что подтверждается разработанными ТЗ и тематическими карточками, является разработка не только технического проекта, конструкторской документации, технологической и эксплуатационной документации, но и изготовление и испытание опытных образцов легких высокооборотных дизельных двигателей, реверсивных редукторных передач, водометных двигателей, с присвоением литеры О1. Кроме того, в рамках ОКР предполагается создание катера-стенда, где будут подтверждаться заявленные характеристики пропульсивных комплексов.

В связи с вышеизложенным появилась уверенность в том, что вопрос государственной важности о проведении ряда ОКР по созданию отечественных пропульсивных комплексов требуемого мощностного ряда для маломерных судов с привлечением организаций, имеющих опыт в данной сфере деятельности, будет решен в самой ближайшей перспективе. ■

Создание современных надводных кораблей – сложный и многогранный процесс, требующий учета не только технических характеристик и боевых возможностей, но и условий, в которых будет функционировать экипаж.

Дизайн-проекты служебных и жилых помещений играют ключевую роль в обеспечении комфорта, безопасности и высокой работоспособности членов экипажа в условиях замкнутого пространства и длительных переходов. В связи с этим учет психологических аспектов при разработке технических решений становится необходимым условием успешной реализации проекта, направленного на создание комфортной и стимулирующей среды, способствующей поддержанию высокого уровня боеготовности и психологического благополучия личного состава.

Многочисленные дальние походы в замкнутом пространстве корабля, оторванность от привычной среды, физические и психологические нагрузки – все это накладывает особые требования на организацию пространства и, в частности, цветовое решение помещений. Цвет оказывает непосредственное влияние на восприятие окружающей среды, эмоциональное состояние и психофизиологические процессы человека. Правильно подобранная цветовая гамма может способствовать повышению работоспособности, улучшению настроения, снижению уровня стресса и, как следствие, повышению боеготовности экипажа. В связи с этим изучение и применение принципов психологии цвета в дизайн-проектах кораблей ВМФ является актуальной и важной задачей.

Компанией ООО «Морские комплексные системы» при непосредственном участии авторов статьи в рамках составных частей реализуемых опытно-конструкторских работ разрабатываются дизайн-проекты интерьеров кают, общественных и служебных помещений, которые впоследствии применяются на современных кораблях ВМФ и судах различных проектов.

Ниже, на рис. 1, а–б, показаны примеры реализации разработанных дизайн-проектов интерьеров помещений, которые были неоднократно высоко оценены представителями Главного командования ВМФ.

Инженеры компании ООО «МКС» разработали уникальные дизайн-проекты интерьеров кают, а также жилых и служебных помещений, которые отличаются современным архитектурным и художественным стилем. При этом были соблюдены эргономические стандарты.

Преимущества создаваемых интерьеров заключаются в их высокой

ПСИХОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАЗРАБОТКИ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ В ОБЛАСТИ ДИЗАЙН-ПРОЕКТОВ СЛУЖЕБНЫХ И ЖИЛЫХ ПОМЕЩЕНИЙ ПЕРСПЕКТИВНЫХ КОРАБЛЕЙ ВМФ

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

ООО «Морские комплексные системы»,

О. В. Захарова, ген. директор ООО «Лучшие Русские Проекты»,

контакт. тел. (812)368 3951, +7 (964) 330 3805

а)



б)



Рис. 1. Вариант 1 дизайн-проекта 2-местной каюты: а – вид спереди, б – вид сверху

Эмоциональное воздействие цвета на человека по Р. Р. Кликсу

Цвет	Восприятие			
	зрительное	физиологическое	ассоциативное	психологическое
Красный	Резкий, яркий	Возбуждение	Революция, пожар, шум	Горячие чувства, активность, гнев
Оранжево-красный	Яркий, выделяющийся	то же	Солнце, торжество	Энергичность
Желто-оранжевый	Блестящий	Накал	Восход, солнце, золото	Счастье, жизнь
Оранжевый	Яркий, выделяющийся	Напряжённость	Закат, осень, апельсин	Беспокойство, динамичность
Желтый	Блестящий	Спокойствие	Весна	Надежда
Зеленый	Неустойчивость	Покой, свежесть	Растение, море	Мир, уравновешенность
Синий	Прозрачный	Прохлада	Далекие горы	Равновесие, успокоение
Фиолетовый	Плотный, сумеречный	Теплый воздух	Фиалка	Торжественность, траур
Пурпурный	Сочный	Страсть	Власть	Пышность

функциональности и использовании материалов, которые обладают негрючими свойствами. Качественная реализация этих проектов на производственных мощностях компании позволяет создать комфортные условия для проживания и отдыха личного состава. При этом учитываются индивидуальные характеристики и возможности человека, что способствует повышению эффективности работы. Это также помогает снизить физические и эмоциональные затраты, обеспечивая более продуктивное выполнение задач.

Особенности военно-морской службы и их влияние на психологическое состояние личного состава экипажей кораблей

Военно-морская служба характеризуется рядом особенностей, которые оказывают значительное влияние на психологическое состояние моряков:

- *изоляция*: длительное пребывание в замкнутом пространстве, ограниченность контактов с внешним миром, отрыв от семьи и привычного образа жизни;
- *высокие психофизические нагрузки*: постоянная готовность к выполнению боевых задач, вахтенная служба, воздействие неблагоприятных факторов (качка, шум, вибрация);
- *строгая регламентация*: подчинение жестким правилам и распорядку дня, высокая степень ответственности за безопасность корабля и выполнение поставленных задач;
- *монотонность*: повторяющиеся задачи, однообразная обстановка, недостаток новизны и разнообразия;
- *групповая динамика*: необходимость постоянного взаимодействия с одними и теми же людьми в условиях ограниченного пространства, что может приводить к конфликтам и напряженности;
- *социально-психологический климат*: необходимость тесного взаимодействия с другими членами экипажа в ограниченном пространстве, зависимость от межличностных отношений;
- *физические нагрузки*: высокие требования к физической подготовке, воздействие неблагоприятных факторов окружающей среды (шум, вибрация, влажность).

Эти факторы могут приводить к повышенной утомляемости, стрессу, снижению концентрации внимания, ухудшению настроения и в долгосрочной перспективе к развитию психологических проблем.

Эмоциональное воздействие цвета на человека по Р. Р. Кликсу представлено ниже в табл. 1.

ОСНОВЫ ПСИХОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРОСТРАНСТВА

В общем случае психологическое проектирование опирается на взаимодействие человека и окружающей среды с целью оптимизации последней для удовлетворения потребностей, повышения эффективности деятельности и улучшения качества жизни. В контексте дизайн-проектирования кораблей ВМФ это означает учет следующих ключевых аспектов:

- *эргономика*: обеспечение соответствия рабочих мест и зон отдыха антропометрическим данным и физиологическим потребностям человека;
- *психология восприятия пространства*: использование принципов визуального дизайна для создания ощущения простора, комфорта и безопасности в ограниченном пространстве;
- *социальная психология*: учет групповой динамики и межличностных отношений при проектировании зон коллективного использования;
- *когнитивная психология*: оптимизация информационных систем и интерфейсов для облегчения обработки информации и принятия решений в условиях стресса;
- *психофизиология*: создание оптимального микроклимата (освещение, вентиляция, температура, акустика) для снижения утомляемости и повышения концентрации внимания.

ПСИХОЛОГИЧЕСКОЕ ЗОНИРОВАНИЕ И ДИЗАЙН ИНТЕРЬЕРА

Важным аспектом проектирования служебных и жилых помещений

является психологическое зонирование пространства. Необходимо четко разделять рабочие зоны, зоны отдыха и личное пространство моряков.

Служебные помещения: дизайн должен способствовать концентрации внимания, быстрому принятию решений и эффективному выполнению задач. Важно обеспечить хорошую освещенность, удобное расположение оборудования и отсутствие отвлекающих факторов.

Жилые помещения: дизайн должен создавать атмосферу уюта и комфорта, способствовать расслаблению и восстановлению сил. Важно предусмотреть наличие личного пространства, возможность индивидуализации интерьера и создания комфортного микроклимата.

Места общего пользования: столовые, кают-компании, спортивные залы должны способствовать общению и социализации моряков, снижению уровня стресса и укреплению командного духа.

Выбор цветовой гаммы, материалов отделки, мебели и элементов декора также играет важную роль в создании благоприятной психологической атмосферы. Рекомендации указаны в табл. 2, табл. 3.

ВЛИЯНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ НА ПСИХОЛОГИЧЕСКОЕ БЛАГОПОЛУЧИЕ ЭКИПАЖА

Различные технические решения, используемые при проектировании корабля, могут оказывать как положительное, так и отрицательное влияние на психологическое состояние личного состава. Основные зависимости состояния членов экипажа от местоположения цвета в пространстве указаны в табл. 4.

Автоматизация и цифровизация: с одной стороны, автоматизация сни-

Рекомендаций по оптимизации дизайн-проектов служебных и жилых помещений перспективных кораблей ВМФ

Рекомендации	Описание
Оптимизация эргономики рабочих мест	Разработка рабочих мест, соответствующих антропометрическим данным личного состава, обеспечивающих удобство и безопасность выполнения задач. Использование регулируемых кресел, столов и оборудования
Создание визуально комфортной среды	Использование светлых тонов в отделке помещений, организация естественного и искусственного освещения, создающего ощущение простора и комфорта. Включение элементов визуального разнообразия (картины, фотографии, растения)
Обеспечение акустического комфорта	Использование звукопоглощающих материалов для снижения уровня шума в служебных и жилых помещениях. Создание зон отдыха с низким уровнем шума
Оптимизация микроклимата	Обеспечение эффективной вентиляции, кондиционирования и отопления, поддерживающих оптимальную температуру и влажность. Контроль за качеством воздуха.
Создание зон для релаксации и отдыха	Оборудование помещений для отдыха, занятий спортом, чтения и других видов досуга. Обеспечение доступа к информационным ресурсам и развлечениям
Учет социальной динамики	Создание зон для коллективного использования, способствующих общению и взаимодействию личного состава. Организация пространства, минимизирующая возможность возникновения конфликтов
Интеграция элементов природы	Использование имитации природных материалов и элементов для создания ощущения связи с внешним миром. Рассмотрение возможности создания небольших оранжерей или аквариумов
Разработка систем ориентации	Создание четкой и понятной системы навигации по кораблю, облегчающей поиск нужных помещений и оборудования
Персонализация пространства	Предоставление личному составу возможности персонализации своего личного пространства (каюты, спального места) с учетом установленных правил и ограничений
Использование технологий виртуальной реальности (VR) для проектирования и оценки дизайн-проектов	Это позволит на ранних этапах выявлять и устранять потенциальные проблемы, связанные с психологическим комфортом и эффективностью использования помещений

Таблица 3

Принципы проектирования и цветового оформления служебных и жилых помещений

Условия	Принципы
Ограниченное пространство	Небольшие габариты кают и служебных помещений требуют применения цветовых решений, визуально расширяющих пространство
Искусственное освещение	Преобладание искусственного освещения над естественным обуславливает необходимость выбора цветов, которые хорошо выглядят при искусственном свете и не вызывают утомления глаз
Риск морской болезни	Необходимо учитывать влияние цвета на вестибулярный аппарат и выбирать оттенки, не провоцирующие морскую болезнь
Функциональность и безопасность	Цветовое кодирование оборудования и систем жизнеобеспечения должно способствовать повышению безопасности и эффективности работы экипажа
Психологическая устойчивость	Цветовая палитра должна способствовать снижению уровня стресса, поддержанию позитивного настроения и улучшению межличностных отношений в коллективе

Таблица 4

Зависимости состояния членов экипажа от местоположения цвета в пространстве

Цвет			Влияние цвета при его использовании		
			сверху	сбоку	внизу
Бежевый	Розовый	Светло-желтый	Возбуждает	Создает ощущение тепла, зрительно сужает пространство	Рождает чувство зыбкости, хрупкости и ненадежности
Красный	Коричневый	Желто-зеленый	Угнетает, вызывает желание замкнуться в себе	Сужает пространство, создает ощущение приближенности	Рождает чувство устойчивости и безопасности
Голубой	Светло-зеленый	Светло-серый	Приносит ощущение света и высоты	Создает иллюзию простора и прохлады	Вызывает тревогу, неуверенность, выглядит скользким и неустойчивым
Серый	Синий	Темно-зеленый	Удручает	Способствует отчуждению и охлаждает эмоции	Создает ощущение устойчивости и холода

жает физическую нагрузку и повышает эффективность выполнения задач, с другой, чрезмерная автоматизация может приводить к снижению чувства значимости и профессиональной самореализации.

Системы жизнеобеспечения: надежная работа систем вентиляции, кондиционирования, водоснабжения и энергоснабжения является необходимым условием для обеспечения комфорта и безопасности экипажа.

Системы связи и развлечений: наличие доступа к информации, возможности общения с семьей и просмотра развлекательных программ способствует снижению уровня изоляции и улучшению настроения.

Важно оценивать влияние технических решений не только с точки зрения их функциональности и эффективности, но и с точки зрения их психологического воздействия на экипаж.

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ПСИХОЛОГО-ЭРГОНОМИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОРАБЛЕЙ ВМФ

В дальнейшем при психолого-эргономическом проектировании кораблей ВМФ необходимо уделять внимание следующим направлениям:

- разработка и внедрение новых стандартов и методик: необходимо разработать стандарты, учитывающие

психологические особенности военно-морской службы и предъявляющие требования к проектированию служебных и жилых помещений;

- *проведение исследований*: необходимо проводить исследования, направленные на изучение влияния корабельной среды на психологическое состояние моряков и выявление факторов, способствующих повышению эффективности и работоспособности экипажа;
- *применение современных технологий*: необходимо использовать современные технологии моделирования и визуализации для оценки психолого-эргономических характеристик проектируемых помещений;
- *обучение и повышение квалификации*: необходимо обучать специалистов конструкторских бюро, занимающихся проектированием кораблей, принципам эргономики и психологии труда.

Учет вышеперечисленных психологических аспектов при создании сложных технических решений в области дизайн-проектов служебных и жилых помещений кораблей ВМФ – важное условие обеспечения комфорта, безопасности и высокой работоспособности экипажа. Интеграция инженерно-технических решений с психологическими принципами эргономики, психологии труда и социальной психологии позволяет создать оптимальные условия для выполнения поставленных задач и поддержания психологического благополучия моряков в условиях длительных морских походов. Внедрение современных подходов и технологий в области психолого-эргономического проектирования является перспективным направлением развития военно-морского флота.

Особую актуальность приобретает применение клиентоориентированного подхода к проектированию, подразумевающему активное вовлечение моряков в процесс разработки дизайн-проектов. Сбор информации о потребностях, предпочтениях и ожиданиях экипажа позволяет создать максимально комфортное и функциональное пространство, отвечающее индивидуальным требованиям и способствующее повышению удовлетворенности условиями службы. Использование методов анкетирования, интервьюирования и фокус-групп позволяет получить ценные данные, которые могут быть использованы для оптимизации планировочных решений, выбора цветовой гаммы и материалов отделки.

Внедрение инновационных технологий, таких как виртуальная и дополненная реальность, открывает новые возможности для оценки психолого-

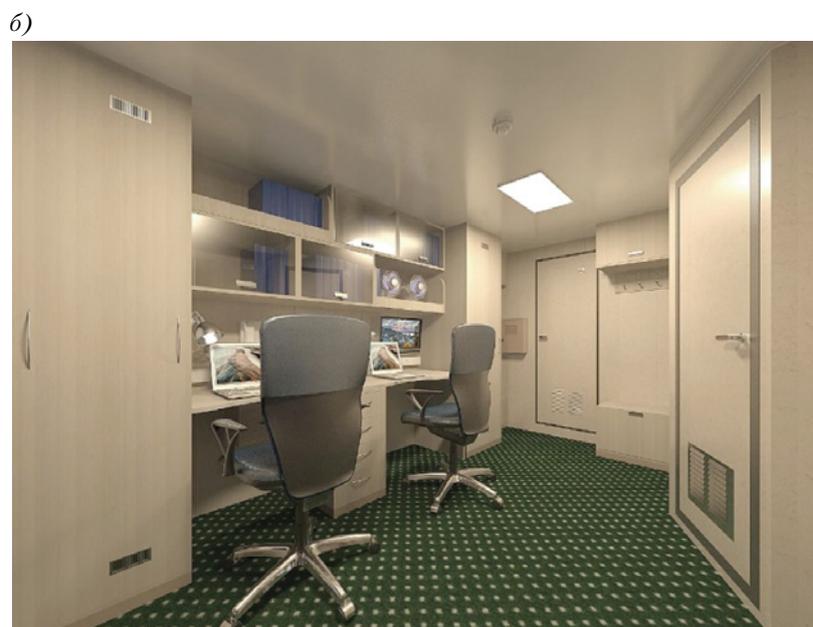


Рис. 2. Вариант № 1 дизайн-проекта 4-местной каюты:
а – вид 1, б – вид 2, в – вид сверху

эргономических характеристик проектируемых помещений. Использование VR-моделей позволяет морякам виртуально «посетить» будущий корабль и оценить удобство расположения оборудования, комфорт жилых помещений и общую атмосферу пространства. Это позволяет выявить потенциальные недостатки на ранних стадиях проектирования и внести необходимые корректировки, что снижает риски ошибок и повышает эффективность процесса разработки.

Важным направлением является разработка и внедрение систем мониторинга психофизиологического состояния моряков. Использование носимых устройств, таких как смарт-часы и фитнес-трекеры, позволяет отслеживать уровень стресса, качество сна, сердечный ритм и другие показатели, которые могут свидетельствовать о негативном воздействии корабельной среды. Анализ полученных данных позволяет выявлять факторы риска и разрабатывать индивидуальные программы коррекции, направленные на поддержание психологического благополучия и повышение работоспособности экипажа.

Перспективным направлением является интеграция принципов биодизайна в процесс проектирования. Биодизайн подразумевает использование природных материалов, форм и принципов организации пространства для создания более комфортной и здоровой среды обитания. Применение натуральных материалов отделки, озеленение помещений, использование естественного освещения и вентиляции способствуют снижению уровня стресса, улучшению настроения и повышению общего самочувствия моряков.

Правильное применение принципов психологии цвета в дизайн-проектах служебных и жилых помещений перспективных кораблей ВМФ – важный фактор, влияющий на эффективность работы, психическое здоровье и общее благополучие экипажа. Предложенные ниже рекомендации позволяют создать комфортную, функциональную и безопасную среду, способствующую поддержанию высокого морального духа и боеготовности личного состава. Цвета, используемые для оформления жилых и служебных помещений, влияют на настроение: теплые оттенки, такие как бежевый или светло-зелёный, способствуют расслаблению, в то время как холодные, наподобие синего, ассоциируются с дисциплиной и сосредоточенностью.

Дальнейшие исследования в этой области должны быть направлены на разработку конкретных цветовых схем для различных типов кораблей и с учетом индивидуальных особенностей моряков.

а)



б)



в)

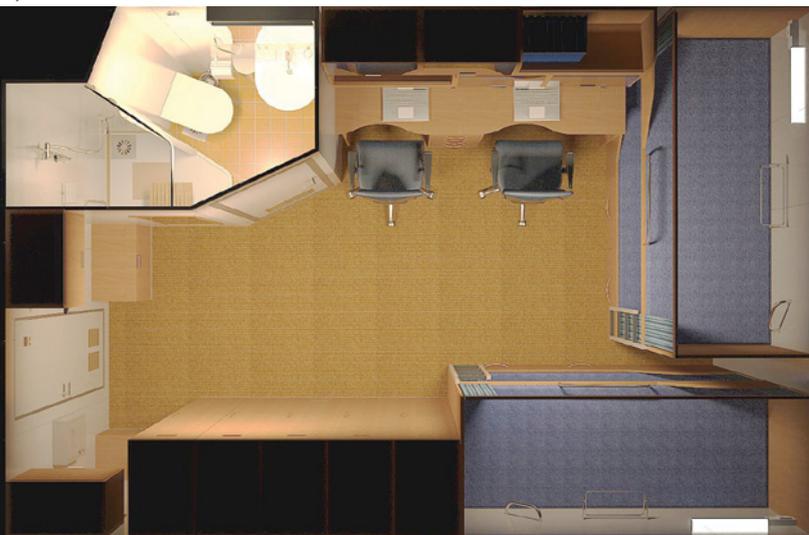


Рис. 3. Вариант № 2 дизайн-проекта 4-местной каюты: а – вид 1, б – вид 2, в – вид сверху

а)



б)



в)



Рис. 4. Дизайн-проект кают-компаний мичманов:
а – вид 1, б – вид 2, в – вид 3

РЕКОМЕНДАЦИИ УЧЕТА ПСИХОЛОГИИ ЦВЕТА В ДИЗАЙН-ПРОЕКТАХ

Примером успешного применения психологических принципов в дизайн-проектировании кораблей ВМФ может служить опыт создания кают-компаний с модульной мебелью, позволяющей трансформировать пространство для различных целей (проведение совещаний, прием пищи, просмотр фильмов). Другим примером является использование биодинамического освещения, имитирующего естественный цикл смены дня и ночи, что способствует поддержанию нормального циркадного ритма и улучшению сна личного состава. На основе проведенного анализа и экспертных оценок, предлагаются следующие рекомендации по применению цветовых решений в служебных и жилых помещениях перспективных кораблей ВМФ:

- по проектированию дизайна жилых помещений: предпочтительны нейтральные и спокойные цвета: светло-серый, бежевый, нежно-голубой, зеленый. Акцентные элементы могут быть выполнены в теплых, но приглушенных тонах: охра, терракота (рис. 2, а–в, 3, а–в). Избегать ярких, раздражающих цветов, таких, как красный и оранжевый.

- по проектированию камбуза, столовых и кают-компаний: использовать теплые и стимулирующие аппетит цвета: желтый, оранжевый, зеленый.

Важно избегать темных и депрессивных оттенков (рис. 4, а–б, рис. 5, а–б).

- по проектированию медицинского отсека: преобладание успокаивающих и гигиеничных цветов: белый, светло-зеленый, голубой.

Недопустимо использование ярких и кричащих цветов.

- по проектированию главного командного пункта: использовать оттенки синего и зеленого, которые способствуют концентрации внимания и снижают утомляемость. Цветовая кодировка приборов и оборудования должна быть четкой и интуитивно понятной (рис. 6, а–б).

- по проектированию коридоров и проходов: применять светлые цвета, визуально расширяющие пространство. Обеспечить хорошую освещенность (рис. 7).

ВЫВОД

Таким образом, правильное применение принципов психологии цвета в дизайн-проектах служебных и жилых помещений перспективных ко-

а)



б)



Рис. 5. Дизайн-проект кают-компании офицеров: а – вид 1, б – вид 2

а)



б)



Рис. 6. Дизайн-проект ходового мостика: а – ледокол «Владивосток» пр. 21900М, б – морской сухогрузный транспорт «Яуза» пр. 550М



Рис. 7. Дизайн-проект трапов (морской сухогрузный транспорт «Яуза» пр. 550М)

раблей ВМФ влияет на эффективность решения задач, стоящих перед экипажем. Предложенные рекомендации позволяют создать комфортную, функциональную и безопасную среду, способствующую поддержанию высокого морального духа и боеготовности личного состава. Дальнейшие исследования в этой области должны быть направлены на разработку конкретных цветовых схем для кораблей различных типов и с учетом индивидуальных особенностей личного состава.

Современные проекты не могут игнорировать такие параметры, как цветовая гамма, эргономика или акустика, которые напрямую определяют психологическое состояние экипажа в долгое время морских операций. Военный корабль в XXI в. – это не только технологически модернизированная система, но и гармоничное пространство, способное обеспечить необходимую поддержку людям, выполняющим поставленные перед ними задачи.

Такие тенденции, как внедрение инженерами компании ООО «МКС» искусственного интеллекта, виртуального тестирования интерьера и экологических материалов, открывают новые горизонты для дизайнерских решений, делая перспективные корабли ВМФ не только функциональными, но и комфортными для долгого пребывания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бакланов П. Я. Геополитика и геоэкономика: учебник для вузов. – М.: Высшая школа, 2006. – 382 с.
2. Бодров В. А. Психология профессиональной пригодности: учебное пособие для вузов. – М.: ПЕР СЭ, 2001. – 511 с.
3. Зиченко В. П., Мунипов В. П. Эргономика: основы человеко-ориентированного проектирования: учебник для вузов. – М.: Логос, 2002. – 352 с.
4. Ломов Б. Ф. Методологические и теоретические проблемы психологии. – М.: Наука, 1984. – 444 с.
5. Соловьева В. С. Психология труда: учебное пособие. – М.: Проспект, 2018. – 272 с.
6. Санторович Е. В. Эргономика и инженерная психология в дизайне. – М.: Архитектура-С, 2007. – 304 с. ■

24 апреля на Средне-Невском судостроительном заводе ОСК состоялась торжественная церемония спуска на воду морского тральщика «Полярный» – девятого серийного корабля пр. 12700 «Александрит», заложенного в июне 2022. В этот же день за большой вклад в укрепление и развитие оборонного потенциала России помощник Президента РФ Н. П. Патрушев наградил трудовой коллектив завода орденом «За доблестный труд».



Орден «За доблестный труд»

В праздничном мероприятии приняли участие представители федеральной и региональной власти, командование ВМФ, руководство Объединенной судостроительной корпорации, а также работники и ветераны завода.

7 мая в г. Балтийск (Калининградская область) был поднят Военно-морской флаг Российской Федерации на морском тральщике «Афанасий Иванников» пр. 12700, построенного Средне-Невским судостроительным заводом ОСК. На церемонии в торжественной обстановке был зачитан приказ Главнокомандующего ВМФ РФ адмирала А. А. Моисеева, согласно которому тральщик включен в состав Северного флота. Морской тральщик «Афанасий Иванников» – девятый корабль противоминной обороны проекта «Александрит». Закладка корабля на Средне-Невском заводе ОСК состоялась в сентябре 2021 г., спуск на воду – в августе 2024 г.

А уже 16 мая на заводе состоялась торжественная церемония закладки морского тральщика «Сергей Преминин» – четырнадцатого корабля пр.12700.

Он получил имя моряка-подводника Сергея Анатольевича Преминина – трюмного машиниста ракетного подводного крейсера К-219 Северного флота. 3 октября 1986 г. матрос Преминин совер-

СРЕДНЕ-НЕВСКИЙ СУДОСТРОИТЕЛЬНЫЙ ЗАВОД ОСК ПРОДОЛЖАЕТ СТРОИТЕЛЬСТВО СЕРИИ МОРСКИХ ТРАЛЬЩИКОВ ДЛЯ РОССИЙСКОГО ВМФ

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



МТЩ «Полярный» спущен на воду

шил настоящий подвиг в Атлантическом океане: во время аварии с разгерметизацией ракетной шахты и пожара возникла угроза экологической катастрофы. Чтобы предотвратить взрыв реактора и спасти экипаж, Преминин вручную заглушил атомный реактор, работая в условиях высокой температуры и смертельной опасности. После выполнения задания он не смог покинуть отсек и погиб, но ценой своей жизни спас товарищей и предотвратил экологическую катастрофу. 7 августа 1997 г. Сергею Преминину посмертно было присвоено звание Героя РФ.



Закладная доска тральщика «Сергей Преминин»

В торжественном мероприятии по прикреплению таблички к будущему корпусу корабля приняли участие

начальник Главного штаба ВМФ адмирал В. Л. Касатонов, советник генерального директора ОСК В. И. Королев, генеральный директор СНСЗ В. А. Середохо и генеральный директор конструкторского бюро «Алмаз» ОСК К. Г. Голубев.

Проект 12700 тральщика под шифром «Александрит» разработан в Центральном морском конструкторском бюро «Алмаз» ОСК для ВМФ России. Эти корабли относятся к новому поколению минно-тральных сил и предназначены для борьбы с морскими минами, которые новые корабли могут обнаруживать как в воде морских акваторий, так и в морском грунте, не входя в опасную зону.

При строительстве морского тральщика пр. 12700 применяются новейшие отечественные технологии, не имеющие аналогов в мировом судостроении. Корабли этого проекта имеют уникальный, самый крупный в мире корпус из монолитного стеклопластика, сформированного методом вакуумной инфузии. Масса такого корпуса гораздо меньше металлического, при этом его прочность существенно выше. Стеклопластиковому корпусу не страшна коррозия, а срок службы при соблюдении норм эксплуатации практически неограничен. ■

Предприятие ОСК «Арктика» – один из лидеров в области ответственного судового электромонтажа – было создано в 1952 г. Ремонтное производство как отдельное направление деятельности развивается здесь с 1989 г. на базе цеха № 8 общей площадью 16 000 м². В условиях замкнутого цикла производства и минимального применения кооперации за 36 лет на предприятии была создана необходимая техническая база для оперативного и качественного ремонта электрооборудования, наработан существенный опыт.

Ремонт электрооборудования условно можно разделить на плановый (текущий, средний, капитальный) и аварийный. К минусам плановых ремонтов относят необходимый вывод оборудования из эксплуатации для частичной или полной разборки и его отправку в специализированную организацию, к плюсам – выполнение ремонтных работ без вынужденной остановки всего производства. В свою очередь аварийный ремонт во всех отношениях негативно сказывается на производстве, и основной задачей становится восстановление оборудования в максимально сжатые сроки во избежание простоя как оборудования, так и персонала.

Специалисты СПО «Арктика» обладают высокой квалификацией и опытом проведения как планового, так и аварийного ремонта электрооборудования. Для проведения высококачественного ремонта и испытаний электродвигателей, генераторов, преобразователей, распределительных щитов и пускорегулирующей аппаратуры применяются высокоточный инструмент и уникальное оборудование с прецизионной точностью.

Система менеджмента качества соответствует требованиям ГОСТ Р ИСО 9001. Получены лицензии и сертификаты на все виды выполняемых работ на строящихся, ремонтируемых и находящихся в эксплуатации кораблях.

Известные трудности представляет ремонт иностранного или снятого с производства электрооборудования, так как отсутствует возможность оперативно приобрести идентичное в сборе или комплектующие изделия к нему. При необходимости замены дефектного комплектующего изделия и его отсутствии на российском рынке применяется процесс создания 3D-модели или технической документации на изделие на основе готового образца – обратный, или реверс-инжиниринг. Перед 3D-печатью материалы проходят испытания в аккредитованной лаборатории для подтверждения физико-механических свойств.

СПО «АРКТИКА»: СПЕЦИФИКА РЕМОНТА И ПОДДЕРЖАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

*В. Н. Тарасов, начальник цеха № 8 СПО «Арктика»,
контакт. тел. +7 (964)299 3401, arktika-ceh8@mail.ru*



Общий вид цеха № 8 СПО «Арктика»

Для сокращения времени восстановления и определения объема работ специалисты ремонтного производства оперативно проводят оценку технического состояния, в том числе по месту эксплуатации электрооборудования, а также определяют стоимость восстановительных работ.

Проведение диагностики и выполнение ремонтных операций позволяет восстановить оборудование во избежание дорогостоящей, а зачастую и невозможной замены механизма.

Основные виды деятельности цеха № 8 СПО «Арктика»:

- подготовка и нанесение лакокрасочных покрытий;
- механическая обработка;
- изготовление деталей из различных материалов;
- восстановление изношенных поверхностей из металла;
- ремонтно-восстановительные работы;
- балансировочные работы;
- пуско-наладочные работы с электрооборудованием;



Участок ремонта электрооборудования

- испытания электрооборудования;
- контроль технического состояния оборудования (диагностика);
- изготовление деталей с применением аддитивных технологий.

Подготовка и нанесение лакокрасочных покрытий:

- очистка от эксплуатационных загрязнений и снятия старого эмалевого покрытия;
- пескоструйная/дробеструйная очистка деталей размером 1200–1200×750;
- нанесение эмалевых покрытий, в том числе с применением горячей сушки;
- вакуумная пропитка (объем автоклава – 40 л, максимальные габариты изделия – диаметр 350 мм, высота – 360 мм);
- пропитка лаками КО-916к, МЛ-92 методом окунания и обливания;
- терморadiационная сушка.

Механическая обработка:

- восстановление изношенных поверхностей из металла нанесением твердого хромового покрытия толщиной не более 500 мкм;
- токарные работы (наибольшие параметры обрабатываемого изделия – диаметр 1000 мм, длина – 2000 мм);
- фрезерные работы (наибольший размер обрабатываемого изделия 500×200×250 мм);
- сверлильные работы (глубина сверления до 375 мм, высота обрабатываемых изделий 1600 мм);
- шлифовальные работы (диаметр шлифования наружной поверхности – до 400 мм, внутренней поверхности – до 500 мм, масса обрабатываемой детали – до 150 кг);
- координатно-расточные работы (максимальный размер изделия 600×1000×500 мм, диаметр растачивания – до 250 мм, вес обрабатываемой детали – до 600 кг);
- раскройно-заготовительные работы (наибольший диаметр разрезаемой детали – круг 240 мм, швеллер № 30, двутавр № 40);
- работы по изгибу листового металла (толщина изгибаемого изделия – до 8 мм, длина – до 2000 мм);
- раскрой листовых металлов (толщина раскраиваемого изделия – до 12 мм, длина – до 2000 мм);
- раскрой изоляционных материалов (стеклотекстолит, пластик, оргстекло и т. д.);
- изготовление крепежных изделий;
- заточные работы (кроме заточки сложного инструмента, сверл);
- гравировальные работы (наибольший размер изделия 200×900×1200);
- сварочные работы различными ме-



Нанесение лакокрасочных покрытий



Проверка отремонтированных устройств

тодами (дуговой сварки в углекислом газе, ручной аргоно-дуговой сварки, контактной точечной сварки, дуговой сварки, аргоно-дуговой сварки неплавящимся электродом);

Балансировочные работы:

- динамическая балансировка – максимальный вес изделия до 3000 кг;
- статическая балансировка – максимальный вес изделия до 20 кг.

Ремонтно-восстановительные работы:

- восстановление сопротивления изоляции электрооборудования;
- вакуумная сушка (внутренний размер автоклава – диаметр 1200 мм, высота 1600 мм, максимальная температура +80 °С);
- инструментальный контроль;
- замена деталей и узлов по результатам диагностики, в том числе подшипников.

Пусконаладочные работы и испытания:

- работы со следующими видами

электрооборудования: электродвигатели, генераторы, преобразователи, распределительные устройства, станции управления, трансформаторы, другие виды электроаппаратов и устройств.

Виды работ:

- проверка/калибровка коммутационной аппаратуры (тепловая, максимальная защиты, выдержка времени) постоянного, переменного (50, 400 Гц) тока;
- входной контроль электрооборудования;
- контроль центровки валов электродвигателя и механизма;
- контроль электрических параметров;
- контроль параметров вибрации;
- доводка виброшумовых характеристик.

Контроль технического состояния (диагностика):

- осмотр контактно-щеточного аппарата;
- измерение параметров изоляции;
- контроль тепловых параметров. ■

Непроизводительными издержками, к которым относят как производственные, так и непроизводительные потери, называют те затраты, которые не приносят полезного результата. Подобные потери возникают в том числе и вследствие нарушений производственного процесса. И для выполнения судостроительных заказов вовремя, как гласит принцип производственной системы Объединенной судостроительной корпорации, необходимо данные потери трудоемкости снижать до минимума, тем самым оптимизировать работу предприятия.

В данном исследовании за непроизводительные затраты были приняты перенос оборудования и перетрассировка систем на стадии строительства судна «на плаву». Причины таких изменений могут быть следующими:

- высокая насыщенность помещения системами и большой объем оборудования, которое необходимо разместить в небольшом пространстве;
- ошибки в планировании работ по монтажу систем и установке оборудования (несостыковки в графиках строителей);
- ошибки и неточности при монтаже смежных систем в помещении;
- нарушение технологического процесса проведения трубопроводов на судне (устанавливают трубы меньшего диаметра раньше, чем большие трубы),
- ошибки проектной организации (разрозненность отделов проектной организации, которые отвечают за системы в помещении при составлении чертежей, некомпетентность) [1].

Минимизация потерь является актуальной задачей производства, так как речь идет не только о трудоемкости выполнения работ, но и о затраченных на переделку ресурсов. Поэтому необходимо выявлять недостатки не только на предприятиях, непосредственно связанных со строительством заказа, но и в сторонних организациях, так или иначе участвующих в нем.

Благодаря налаженным автоматизированным процессам проектного бюро и судостроительного завода вопросы, возникающие у инженеров-конструкторов, инженеров-технологов, мастеров или строителей, поступают из программного обеспечения (ПО) завода в ПО «Электронная книга вопросов» (ЭКВ), которое могут просматривать сотрудники и завода, и бюро. Согласно Положению о техническом сопровождении заказа [3] вопросы распределяются

АНАЛИЗ НЕПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫХ ПОТЕРЬ ПРИ РАБОТЕ С ПРОГРАММНЫМ ОБЕСПЕЧЕНИЕМ

М. Д. Мовчанова, инженер-конструктор 3-й категории, АО «ЦМКБ «Алмаз», А. А. Коноплев, гл. конструктор проекта, ПАО «ВСЗ», А. В. Ровдо, мастер цеха № 22 АО «Адмиралтейские верфи», А. Б. Фомичев, д-р техн. наук, проф., науч. руководитель, и. о. зав. кафедрой технологии судостроения СПбГМТУ, зам. ген. директора по науке АО «НПО Специальных материалов», контакт. тел. (812) 369 0039, fomichev61@mail.ru

между представителями отделов конструкторского бюро. Одним из способов сокращения непроизводительных потерь может стать сокращение сроков рассмотрения вопросов смежными отделами этого бюро.

Цель исследования – проанализировать эффективность работы с ЭКВ на двух заводах ОСК и ее влияние на сроки выполнения заказа. При этом необходимо создать алгоритм такой работы, который позволит сократить время рассмотрения вопросов, касающихся одновременно нескольких смежных отделов.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В ходе теоретической части исследования были рассмотрены вопросы в ЭКВ, возникшие при реализации одного серийного проекта. Базой исследования послужил проект судна ледового типа, строящийся на заводах ОСК (далее – завод № 1 и завод № 2). В ходе личных бесед с сотрудниками группы технического сопровождения (ГТС) заказов были определены наиболее затратные проблемы, возникающие в течение месяца на стадии закрытия построения и швартовных удостоверений на заводах № 1 и № 2, и изучены комментарии инженеров-конструкторов. Начальник ГТС с помощью интерфейса ПО ЭКВ конструкторского бюро может, нажав на вопрос сотрудника завода, определить только одного исполнителя. Однако зачастую на производстве возникают вопросы, которые предстоит решать комплексно представителями сразу нескольких отделов (например, пересечение кабель-

ных трасс с общесудовыми системами или согласование принципиальных и электрических схем судовых систем). Направление вопроса на рассмотрение представителю только одного отдела делает невозможным участие смежных отделов из-за фильтра, который для сокращения времени поиска вопросов выставляет исполнитель.

За основу производственного эксперимента на заводе № 1 были проанализированы возможности установки оборудования в специальном помещении в связи с его насыщенностью различными системами. По итогам проработки проблемы после нескольких походов на заказ с мастером цеха и строителем, которые отвечают за системы, сотрудником ГТС на заводе была откорректирована электронная модель. Далее были выпущены предварительные извещения (ПИ) на перетрассировку трубопроводов подвода и слива воды, затем на перенос насыщения в помещении, через переборки которых эти системы проходили. После утверждения данной перетрассировки отделом строителей по написанной на заводе служебной записке конструкторское бюро выпустило извещение об изменении (ИИ), в соответствии с которым приступили к перемещению оборудования. В итоге было затрачено 117 календарных (78 рабочих) дней на решение возникшей проблемы, в том числе 29 календарных (21 рабочий) дней на перетрассировку систем и перенос оборудования, 20 календарных (14 рабочих) дней на перенос креплений оборудования. Хронология решения проблемы на заводе № 1 представлена в табл. 1.

Таблица 1
Хронология согласования переноса оборудования на судне первой серии на заводе № 1

Отдел	ПИ № 1	ПИ № 2	ПИ № 3	ПИ № 4	ПИ № 5	ИИ № 1
Разработчик и начальник ГТС	21.03 (чт)	04.04 (чт)	04.04 (чт)	05.04 (пт)	10.04 (ср)	26.06 (ср)
Инженерный центр	25.03 (пн)	04.04 (чт)	05.04 (пт)	05.04 (пт)	11.04 (чт)	–
Отдел технологов	22.03 (пт)	08.04 (пн)	08.04 (пн)	09.04 (вт)	15.04 (пн)	–
Отдел строителей	21.03 (чт)	09.04 (вт)	09.04 (вт)	11.04 (чт)	11.04 (чт)	–
Архив	26.03 (вт)	09.04 (вт)	09.04 (вт)	18.04 (чт)	18.04 (чт)	15.07 (пн)

Хронология согласования решения проблемы на судне второй серии на заводе № 2

Ход согласования	Номер помещения						
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6	№ 7
Задан вопрос ЭКВ	11.12 (ср)	10.12 (вт)	18.12 (ср)	18.12 (ср)	18.12 (ср)	18.12 (ср)	24.12 (вт)
Поход на заказ	16.12 (пн)	16.12 (пн)	19.12 (чт) 23.12 (пн)	23.12 (пн)	23.12 (пн)	23.12 (пн)	26.12 (чт)
Комментарий инженера-конструктора ГТС	17.12 (вт)	17.12 (вт)	24.12 (вт)	24.12 (вт)	24.12 (вт)	24.12 (вт)	27.12 (пт)
Выпущена СЗ № 1	17.12 (вт)	18.12 (ср)	25.12 (ср)	25.12 (ср)	25.12 (ср)	25.12 (ср)	28.12 (сб)
Согласование хозяином помещения	18.12 (ср)	20.12 (пт)	26.12 (пт)	26.12 (чт)	26.12 (чт)	26.12 (чт)	10.01 (пт)
Решение главного конструктора	23.12 (пн)	23.12 (пн)	27.12 (пт)	27.12 (пт)	27.12 (пт)	27.12 (пт)	13.01 (пн)
Исполнение в отделе интерьера (выпуск протокола)	15.01 (ср)	15.01 (ср)	15.01 (ср)	15.01 (ср)	15.01 (ср)	15.01 (ср)	15.01 (ср)

Так как сотрудник ГТС выпустил ПИ, которое проходило согласование на заводе, а перенос оборудования по ИИ выполнял смежный отдел в конструкторском бюро, сроки ожидания откорректированной документации увеличились. Данные сроки корректировок из-за разрозненности отделов отразились на увеличении потерь трудоемкости не только проектанта, но и корпусного цеха и трубо-медницкого производства.

Избежать этого можно было следующим образом: одновременно выпустить на заводе ПИ № 4 на перетрассировку трубопроводов и ИИ № 1 в конструкторском бюро на перенос оборудования после корректировки электронной модели по итогам выпущенных ПИ № 1–№ 3. Аналогичный вопрос возник и на строительстве второй серии на заводе № 2, но так как прецедент уже был, он был закрыт быстрее.

В результате анализа подобных вопросов в ЭКВ было разработано предложение по улучшению (ППУ) работы конструкторского бюро [2] за счет разработки алгоритма, позволяющего расписывать вопрос из ЭКВ на представителей нескольких смежных отделов бюро одновременно. Данный инструмент ПО позволил бы сократить непроизводственные потери сотрудников смежных отделов при поиске нужных вопросов, числящихся за другим отделом, что, соответственно, привело бы к оперативному решению проблем на стадии закрытия построечных и швартовых удостоверений. Судя по повторяемости ситуаций ППУ могло заинтересовать несколько отделов, однако из-за необходимости масштабной проработки конструкторским бюро изменений ПО данное ППУ было досрочно отклонено, экспертная группа для рассмотрения предложения не созывалась.

Вышеописанное исследование послужило отправной точкой для анализа ситуации на серийном заказе, строящемся на другом судостроительном заводе – № 2. Одной из затруднительных ситуаций для строителя стала невозможность перетрассировки систем в помещении. Поскольку данное помещение готовилось для работ по зашивке, вопрос перетрассировки систем, выходящих за уровень зашивки в проходном коридоре, становился актуальным. Главным отличием ситуации на заводе № 2 по сравнению с переносом оборудования на заводе № 1 было то, что работу по оформле-

нию интерьера на судне вел контрагент, это накладывало ограничения на согласование изменений в документации. В результате решение вопроса о снижении уровня зашивки помещения заняло с учетом согласования внутренних служебных записок в конструкторском бюро от 23 до 37 календарных (от 10 до 20 рабочих) дней. Хронология решения вопроса путем согласования внутренних служебных записок на заводе № 2 отражена в табл. 2.

Ускорить решение вопроса в помещениях № 3–№ 6 удалось благодаря тому, что хозяин помещения оперативно связался с группой технического сопровождения, с автором служебной записки и главным конструктором одновременно, в итоге сократились время ожидания и повторные комментарии.

Так как хозяином помещений № 1, № 2 и № 7 не был представитель отдела, отвечающего за интерьер судна, как для помещений № 3–№ 6, в исследовании были вовлечены сразу несколько отделов одного проектного бюро.

Вопросы перемещения оборудования и корректировки интерьера могут нести за собой большие затраты, поэтому в целях экономии материалов и сокращения потерь трудоемкости важно оперативно решать возникающие на производстве подобные вопросы и минимизировать затраты на выполнение работ по строительству судна в целом. Представленные хронологии затрат времени на их согласование показали, что проектное бюро действительно нуждается в создании алгоритма, который можно внедрить в ПО ЭКВ.

ВЫВОДЫ

Результаты проведенных производственных экспериментов и составленные хронологии еще раз подтверждают актуальность внесения изменений в метод работы с ЭКВ, а разработка алгоритмов согласования возникающих на производстве вопросов приведет к сокращению времени их решения смежными отделами конструкторских бюро. Это позволит избежать служебных записок, циркулирующих между отделами, и в итоге ускорить выполнение заказа.

Таким образом, внедрение соответствующих инструментов автоматизации процессов может быть распространено на все рабочие проекты конструкторского бюро, и тем самым будет повышен уровень его производительности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Анализ причин непроизводственных потерь трудоемкости/Мовчанова М.Д., Небрезанюк А.С., Повдо А.В. [и др.]/Тр. СПбГМТУ. – 2024. – № 2 (10). – С. 63–72. – EDN VJQYWC.
2. Доработка Электронной книги вопросов. Предложение по улучшению ПУ-97–2024 (для служебного пользования).
3. Положение о техническом сопровождении строительства и порядке корректировки рабочей конструкторской документации при постройке, испытаниях и сдаче заказа (для служебного пользования).
4. Стратегия развития судостроительной промышленности до 2035 года. Распоряжение от 28 октября 2019 г. – URL: <http://government.ru/docs/38218/> (дата обращения 16.01.2025). ■

В данной работе рассматриваются иллюминаторы высокого давления с обжимными шайбами. На основании экспериментальных исследований в [2] предложено подразделять обоймы данных иллюминаторов на три группы.

Рассмотрим решение задачи для случая, когда податливость цилиндрической, опорной поверхности обоймы и стеклоэлемента по абсолютной величине близки (рис. 1). При этом необходимое напряженное состояние стеклоэлемента можно в общем случае получить с конической контактной торцевой поверхностью при угле конусности $\beta = 1-2^\circ$.

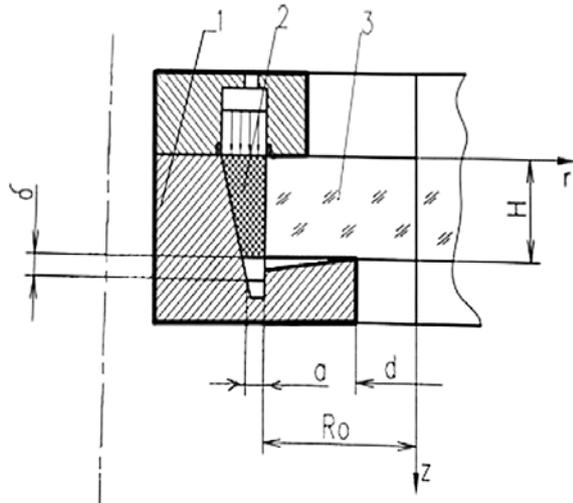


Рис. 1. Иллюминатор высокого давления со стеклоэлементом в форме диска
1 – обойма иллюминатора, 2 – обжимная шайба, 3 – цилиндрический стеклоэлемент

В ранее предложенных [3] методах оценки параметров обоймы иллюминаторов предполагалось, что нагрузка, действующая на стеклоэлемент, передается лишь на световой диаметр обоймы d . Экспериментально [1] было установлено, что при оптимальном подборе параметров при любой геометрии торцевой поверхности обоймы ее контакт со стеклоэлементом в момент достижения рабочего давления происходит по всей его торцевой поверхности. Реакцию торцевой поверхности обоймы в первом приближении можно представить в виде распределенных по окружности, равной диаметру стеклоэлемента $2, a$ и световому $2, b$, сил S_2 и S_1 (рис. 2). Примем также, что воздействие обжимной шайбы на цилиндрическую часть обоймы можно заменить гидростатическим давлением, равным рабочему.

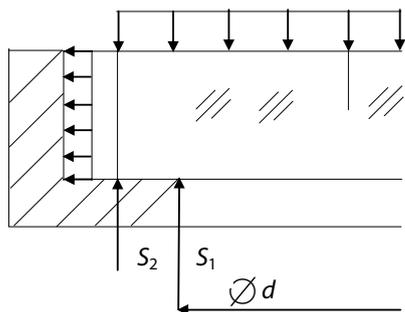


Рис. 2. Модель нагружения иллюминатора со стеклоэлементом в форме диска с учетом обжимной шайбы

Анализ проведенных экспериментальных исследований дает основания предположить, что параметром,

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ОБОЙМЫ ИЛЛЮМИНАТОРА СО СТЕКЛОЭЛЕМЕНТОМ В ФОРМЕ ДИСКА

В.П. Лянзберг, канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник, начальник науч. группы МАИ (Национального исследовательского университета),

Н.М. Вихров, д-р техн. наук, проф.,
ген. директор ЗАО «Канонерский судоремонтный завод»,
контакт. тел. + 7 (915) 222 2977

определяющим величину и характер нарушения целостности стеклоэлемента, является отношение $\varepsilon = S_1/S_2$. При достижении определенной величины ε нарушение целостности светопрозрачного элемента происходит без нарушения герметичности по оптимальной схеме [1]. Основная задача расчета иллюминатора со стеклоэлементом в форме диска является определение комбинации геометрических и механических параметров обоймы, при которой величина ε достигает некоей величины, которую назовем оптимальной – ε_1 . При этом максимальные напряжения в опорной части обоймы не должны превышать допустимые. Схему нагружения обоймы иллюминатора для оценки ее параметров в первом приближении можно представить в виде, показанном на рис. 3, а, стеклоэлемента – согласно рис. 3, б.

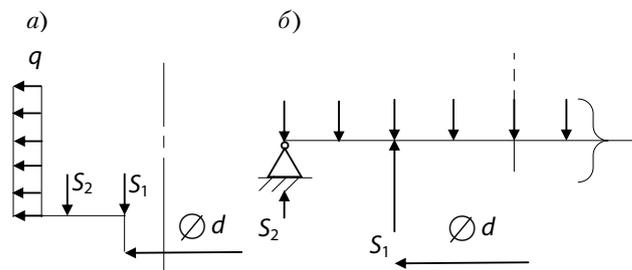


Рис. 3. Модель нагружения: а – обоймы иллюминатора, б – стеклоэлемента

Рассмотрим обойму как жесткое соединение цилиндрической обечайки и круглой кольцевой пластины. Нагрузка S_2 приложена вблизи цилиндрической поверхности обоймы и не оказывает существенного влияния на деформацию контактной поверхности. Тогда в первом приближении можно принять расчетную схему, приведенную на рис. 4.

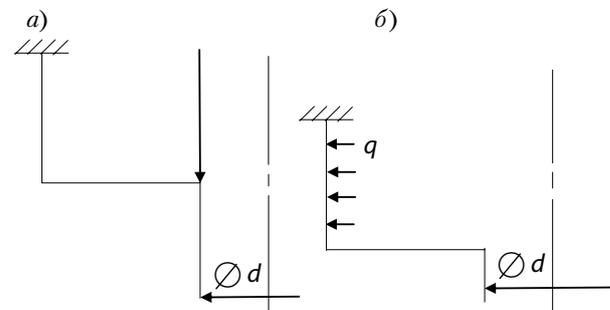


Рис. 4. Расчетная схема нагружения обоймы иллюминатора: а – нагружение торцевой поверхности распределенной нагрузкой S_1 ; б – нагружение боковой поверхности обоймы гидростатическим давлением q

Для определения погонной нагрузки S_1 воспользуемся принципом суперпозиции и методом единичной нагрузки. Решение данной задачи можно представить в виде суперпозиции (рис. 5).

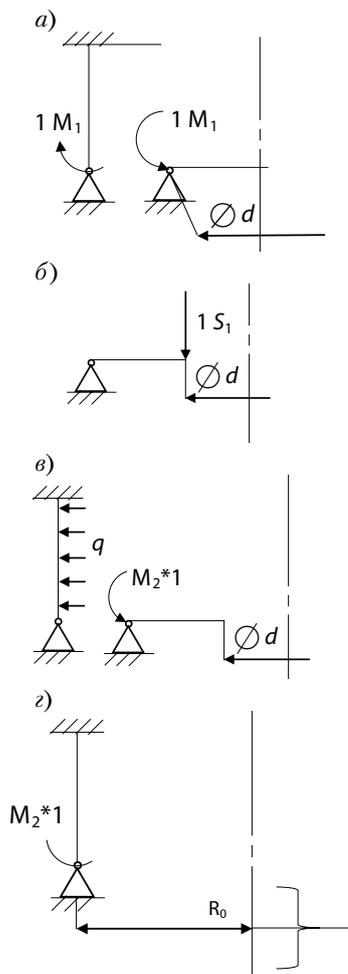


Рис. 5. Расчетные схемы: а – нагрузки обоймы от момента M_1 , возникающим в результате действия распределенной нагрузки S_1 ; б – нагрузки торцевой поверхности обоймы в результате действия распределенной нагрузки S_1 ; в – нагрузки обоймы от воздействия гидростатического давления q приложенного к цилиндрической поверхности обоймы; г – нагрузки цилиндрической части обоймы от воздействия момента M_2 , возникающего в результате гидростатического давления q , приложенного к цилиндрической поверхности обоймы

Решение задачи для стеклоэлемента можно представить как сумму двух задач – решение задачи для стеклоэлемента в форме диска (круглой пластины) при воздействии гидростатического давления (рис. 6, а) и решение задачи для стеклоэлемента в форме диска (круглой пластины) при воздействии распределенной нагрузки S_1 (рис. 6, б).

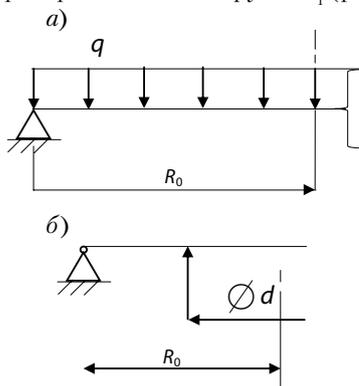


Рис. 6. Решения задач для стеклоэлемента: а – в форме диска (круглой пластины) при воздействии гидростатического давления; б – в форме диска (круглой пластины) при воздействии распределенной нагрузки S_1

Условие совместного деформирования стеклоэлемента и обоймы можно записать в виде

$$\delta_1(q) + \delta_{11} \times S_1 - \Delta = \delta_2(q) + \delta_{21} \times S_1, \quad (1)$$

где $\delta_1(q)$, $\delta_2(q)$ – смещения опорного основания обоймы на диаметре, соответствующем приложению распределенной нагрузки S_1 под воздействием гидростатического давления q , приложенного к боковой цилиндрической поверхности обоймы; δ_{11} , δ_{21} – смещения опорного основания обоймы на диаметре, соответствующем приложению распределенной нагрузки S_1 под воздействием единичной распределенной нагрузки; Δ – высота конической опорной поверхности.

Величина S_1 определяется из (1), S_2 – из уравнения

$$2 \times (S_1 \times b + S_2 \times a) = q \times a^2.$$

Здесь a – радиус стеклоэлемента.

В [1] отмечалось, что для оптимального подбора параметров – толщины цилиндрической и опорной части обоймы, ее угла конусности и параметров обжимной шайбы, необходима экспериментальная доработка геометрических параметров. В наибольшей степени разрушающее давление стеклоэлемента определяется толщиной и углом конусности опорного основания и величиной натяга обжимной шайбы. Расчетные значения можно рассматривать как «нулевое» приближение. Поэтому была использована теория пластин и оболочек, изложенная в [4]. В обозначениях, принятых в данной работе для кольцевой опорной поверхности обоймы илюминатора, нагруженной перерезывающей силой S_1 и равномерно распределенной по внутреннему контуру, смещения можно представить в виде

$$w = \frac{P \times r^2}{8 \times \pi \times D} \times \left(\ln\left(\frac{r}{a}\right) - 1 \right) - \frac{C_1 \times r^2}{4} - C_2 \times \ln\left(\frac{r}{a}\right) + C_3,$$

где $P = 2\pi b S_1$, D – жесткость пластины при изгибе.

В случае свободно опертой круглой пластины радиусом a , нагруженной гидростатическим давлением q , прогиб

$$w = \frac{q(a^2 - r^2)}{64D} \left(\frac{5 + \nu}{1 + \nu} a^2 - r^2 \right),$$

где ν – коэффициент Пуассона.

Для цилиндра радиусом a при воздействии внутреннего гидростатического давления q и защемленного с одной стороны прогиб

$$w = C_1 \times \sin(\beta x) \times e^{-\beta x} + C_2 \times \cos(\beta x) \times e^{-\beta x} + C_3 \times \sin(\beta x) \times e^{-\beta(h-x)} + C_4 \times \cos(\beta x) \times e^{-\beta(h-x)} - \frac{q \times a^2}{E \times h}.$$

где $\beta^4 = \frac{E \times h}{4 \times a^2 \times D}$.

В результате решения данной последовательности задач, которое проводилось в среде Mathcad, вычислялась величина ϵ . Полученное значение должно быть близко к оптимальной величине этого параметра, определенного на основании экспериментальных исследований. При выборе необходимых параметров обжимной шайбы целостность стеклоэлемента нарушалась без потери герметичности илюминатора при максимальном давлении P_1 [1].

ЛИТЕРАТУРА

1. Вихров Н.М., Лянзберг В.П. Некоторые общие подходы к проектированию илюминаторов высокого давления // Морской вестник. – 2017. – №2(63). – С. 31.
2. Лянзберг В.П., Вихров Н.М. К определению параметров илюминаторов высокого давления со стеклоэлементом в форме диска // Морской вестник. – 2023. – №4(88). – С. 34.
3. Писаренко Г.С., Амелянович К.К., Каринцев И.Б. Несущие и светопрозрачные элементы из стекла. – Киев: Наукова думка, 1987.
4. Тимошенко С.П., Войновский-Кригер С. Пластины и оболочки. – М.: Наука, 1966. ■

Как отмечали авторы настоящей статьи в своей работе [1], актуальной задачей при разработке отечественных расходомеров судового назначения является создание стендов для их испытаний. Следует отметить, что к настоящему времени исследовательскими группами разработано значительное количество решений стендового обеспечения мониторинга расходомеров. Известны, в частности, виртуальные стенды, основанные на численном моделировании гидродинамических процессов, протекающих в проточной части вихревых расходомеров с задаваемыми пользователем параметрами их топологии и характеристиками потока (рис. 1) [2]. В качестве математического обеспечения подобных виртуальных стендов могут выступать библиотечные компоненты специализированных сред моделирования, таких как Ansys, SolidWorks и др., а также авторские модификации таких библиотечных компонентов [3].

Очевидно, что применение моделирования позволяет сократить ресурсозатраты на проведение физических экспериментов, однако максимальные достоверность и реалистичность исследований достигаются исключительно при применении натурного стендового оборудования.

СТЕНДОВЫЕ ОСНАСТКИ ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ РАСХОДОМЕРОВ

Известны разработки, которые выполнялись научными организациями и исследовательскими группами, в области создания специальных стендовых оснасток для проведения исследований характеристик расходомеров в специфических условиях эксплуатации. Так, опубликованы работы о стендовом оборудовании, обеспечивающем автоматизацию исследования влияния пульсаций потока среды на показания системы измерения расхода (рис. 2) [4]; известны работы, связанные с совершенствованием алгоритмов цифровой обработки первичных показаний расходомеров, что позволяет учитывать конкретные особенности их применения [5]. Примечательны исследования, ориентированные на оценку точностных характеристик расходомеров при наличии в потоке жидкости газовых примесей (рис. 3) [6], а также исследования, позволяющие моделировать процессы, протекающие при эксплуатации магистральных трубопроводов (рис. 4) [7, 8].

Таким образом, глубокая специализация стендового оборудования позволяет существенно повышать достоверность моделирования процессов, происходящих в потоке; очевидной оборотной стороной такой специализации является снижение возможности переноса резуль-

СТЕНДОВОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ОЦЕНКИ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМ ИЗМЕРЕНИЯ РАСХОДА ЖИДКИХ СРЕД

*А. Е. Васильев, д-р техн. наук, зав. кафедрой ТСМ,
Р. Р. Касимов, аспирант,
В. Д. Ковалев, ассистент,
Д. Е. Кузгурцев, инженер-программист,
С. А. Токаренко, ассистент,
СПбГМТУ,
контакт. тел. (812) 713 8405*

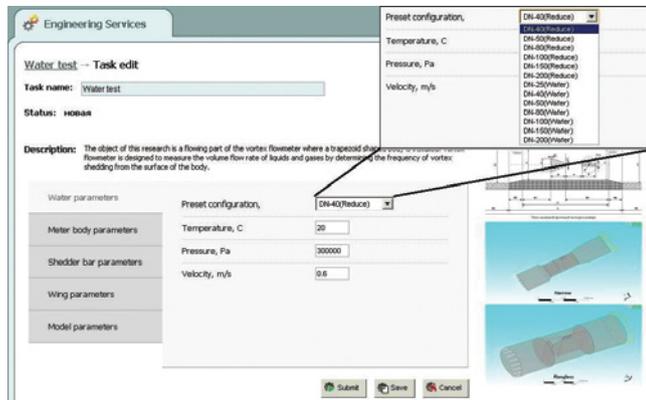


Рис. 1. Пример виртуального стенда для проектирования расходомеров и анализа их эксплуатационных характеристик [2]

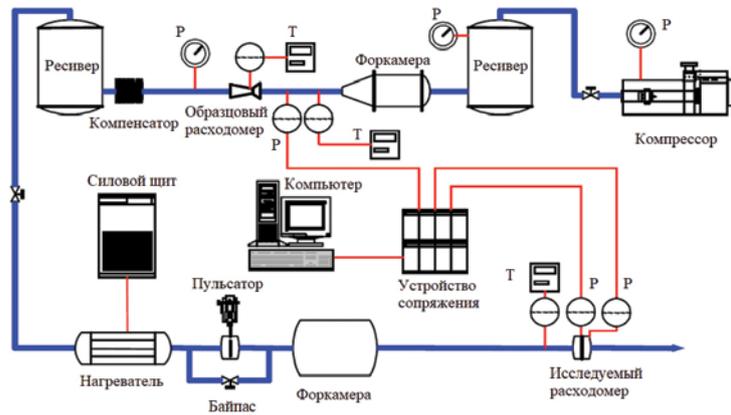


Рис. 2. Пример стендовой оснастки для изучения влияния пульсаций потока на показания расходомеров [4]

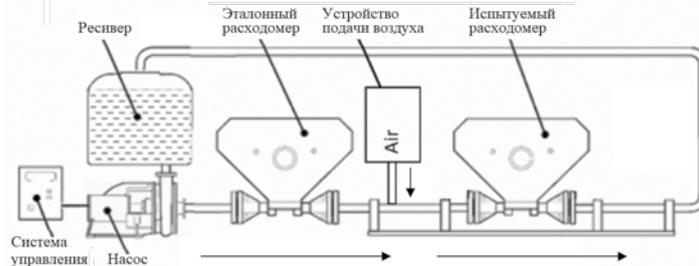


Рис. 3. Пример стендовой оснастки для изучения влияния объемной доли газовых примесей на показания расходомеров [6]

татов такого моделирования на иные процессы и сценарии их развития.

Применительно к задачам исследования процессов топливоподачи в СЭУ и измерения параметров этих процессов отмеченное выше означает необходимость разработки узкоспециализированной стендовой оснастки для анализа приме-

нимости расходомеров различных типов в судовой топливоподающей аппаратуре.

СТЕНД ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ СУДОВОЙ ТОПЛИВОПОДАЮЩЕЙ АППАРАТУРЫ

Авторским коллективом исследователей СПбГМТУ предлагается вариант

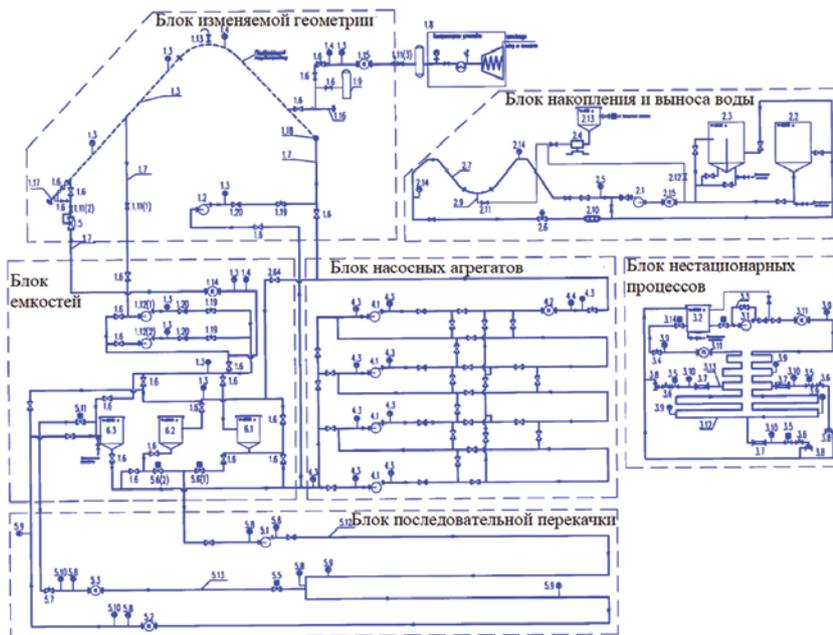


Рис. 4. Пример стенда для натурного моделирования процесса эксплуатации магистрального трубопровода [7]

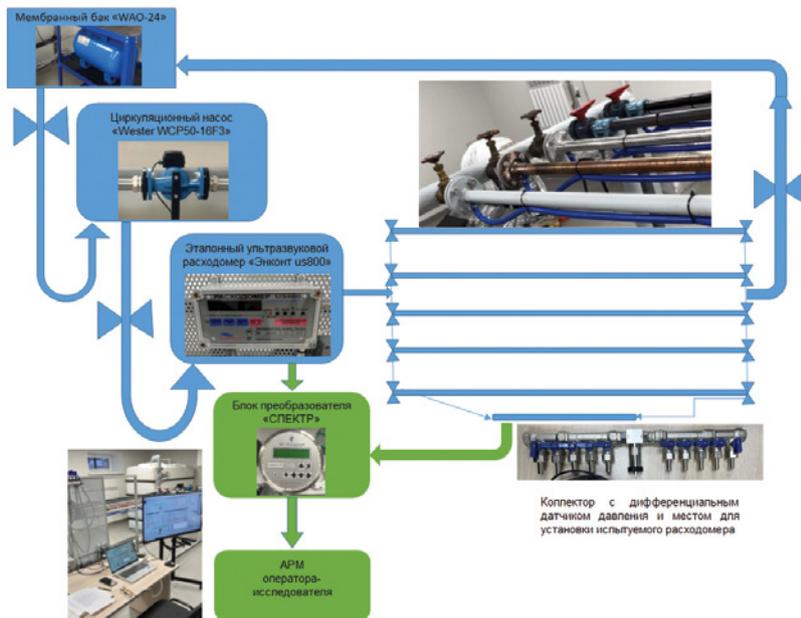


Рис. 5. Структурно-функциональная схема стенда для исследования характеристик расходомеров судового применения

технической реализации стендовой оснастки, иллюстрируемый рис. 5 и рис. 6.



Рис. 6. Внешний вид исследовательского стенда

Стенд оборудован циркуляционным насосом с регулируемой производительностью и ресивером, обеспечивающим деаэрацию измеряемой среды и минимизацию пульсаций потока. Измерения проводятся образцовым расходомером, а также вспомогательными датчиками – давле-

ния и температуры. В схеме соединений предусмотрена возможность установки оборудования для проточного нагрева испытуемой среды, что позволяет измерять расход при различных значениях вязкости. Предусмотрена возможность встраивания испытуемых расходомеров различных типов в измерительный участок.

Предусмотрена также возможность размещения измерительной части на генераторе качки и длительных наклонов. Обработка поступающей измерительной информации и визуализация процессов обеспечиваются с помощью Scada-системы, установленной на автоматизированное рабочее место оператора.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предлагаемый авторским коллективом исследователей СПбГМТУ вариант

стенда позволяет воссоздавать условия эксплуатации судовой топливной аппаратуры, которая подвергается температурным и вибрационным воздействиям от окружающего машинного оборудования, крена и качки при движении, а также изменениям интенсивности потока топлива, что приближает условия испытания расходомеров к реальным. Анализ условий, при которых показания испытуемого расходомера начинают отклоняться от фактических, позволяет выработать подходы к конструктивной и системотехнической модернизации расходомеров для расширения возможностей их применения в судовой аппаратуре топливоподачи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Технологические основы исследования применимости расходомеров общего назначения в судовой аппаратуре топливоподачи // *Васильев А. Е., Касимов Р. Р., Ковалев В. Д., Кунгурцев Д. Е., Токаренко С. А.* // *Морской вестник*. – 2024. – № 1 (89). – С. 46–47.
2. Сафонов Е. В., Броммер К. А., Дорохов В. А. Разработка виртуального испытательного стенда для численного моделирования гидродинамических течений в бесфланцевых вихревых расходомерах с использованием высокопроизводительных вычислений // *Вестник Южно-Уральского гос. ун-та: вычислительная математика и информатика*. – 2013. – Т. 2. – № 4. – С. 109–115.
3. Лапин А. П., Дружков А. М., Кузнецова К. В. Вихревой метод измерения расхода: модели вихреобразования и современные средства моделирования // *Вестник Южно-Уральского гос. ун-та: компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника*. – 2014. – Т. 14. – № 4. – С. 28–34.
4. Юшко С. В. Газодинамический стенд для изучения влияния гидродинамической нестационарности на примере результатов измерения расхода газа // *Вестник Технологического гос. ун-та*. – 2017. – Т. 20. – № 1. – С. 68–69.
5. Альшева К. В. Методы и особенности исследования вихревых расходомеров // *Вестник Южно-Уральского гос. ун-та: компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника*. – 2018. – Т. 18. – № 3. – С. 119–123.
6. Тараненко П. А., Кривоногов А. А., Телегин Д. В. Исследование влияния двухкомпонентного потока «жидкость–газ» на динамические свойства кориолисова расходомера // *Вестник Южно-Уральского гос. ун-та: математика, механика, физика*. – 2025. – Т. 17. – № 1. – С. 32–39.
7. Стенд для исследования течения жидкости в трубопроводе // *Чужжинов С. Н., Фридлянд Я. М., Лукманов М. Р., Семин С. Л., Гольянов А. И., Фастов Д. Н., Мионов М. С., Хайбрахманов И. Р.* – Патент РФ на изобретение № 2678712, опублик. 31.01.2019. // *Бюлл.* № 4.
8. Жолобов В. В., Несын Г. В., Валиев М. И. Стендовое моделирование процессов теплопереноса в магистральных нефтяных нефтепродуктопроводах // *Энергетическая политика*. – 2022. – № 12 (178). – С. 18–33. ■

Титановые сплавы, такие как ЗМ и ПТ-ЗВ, активно применяются в погружной гидравлике подводной техники благодаря высокой коррозионной стойкости и малой массе. Однако их использование в парах трения, в том числе с бронзовыми сплавами, ограничено из-за риска разрушения антифрикционного оксидного слоя.

Термическое оксидирование поверхности является наиболее простой и эффективной химико-термической обработкой, резко улучшающей антифрикционные свойства титановых сплавов. Технология хорошо освоена в производстве и доступна для любых машиностроительных заводов, так как не требует применения специализированного оборудования. Термическое оксидирование титана и его сплавов осуществляется в открытых электрических печах при свободном доступе воздуха к поверхности металла при его нагревании от 700 °С.

В результате оксидирования достигается очень малая глубина диффузионных слоев, исчисляемая десятками микрон (40–80 мкм), при этом диффузионные слои характеризуются резким падением твердости и антифрикционных свойств по глубине слоя. Поверхностный слой характеризуется высокой микротвердостью (8000–9000 Н/мм²), но его хрупкость и низкая адгезия к основному металлу могут приводить к отслаиванию частиц под нагрузкой оксидного слоя. Это вызывает абразивный износ и загрязнение рабочей жидкости системы гидравлики, в которой применен данный распределитель.

Разнородные материалы пар трения рекомендуются к применению для узлов трения, работающих при высоких нагрузках и больших путях трения, а также при значительных скоростях. В паре с оксидированными в разных режимах титановыми сплавами при различных параметрах трения вполне удовлетворительно работают оловянные бронзы. Оксидный слой при этом хорошо адсорбирует смазочные вещества, их применение увеличивает работоспособность пары трения до момента износа оксидного слоя.

Цель работы – определить возможность применения оксидированного титанового сплава в паре с бронзовыми сплавами

РЕСУРСНЫЕ ОГРАНИЧЕНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЕЙ С ПЛОСКИМ ЗОЛОТНИКОМ ИЗ БРОНЗОВОГО СПЛАВА В ПАРЕ ТРЕНИЯ С ОКСИДИРОВАННЫМ ТИТАНОВЫМ СПЛАВОМ

Д.А. Булатов, аспирант 4-го курса СПбГМТУ, инженер-конструктор 1-й категории,

А.В. Ершов, вед. конструктор систем гидравлики, АО «СПМБМ «Малахит», info-ckb@malachite-spb.ru

для условий длительной эксплуатации с учетом возможного разрушения оксидного слоя.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объект исследования – распределитель гидравлический двухкаскадный с плоской золотниковой парой (рис. 1). Зеркало выполнено из титанового сплава ЗМ (оксидированного в графите), золотник – из бронзового сплава БрОФ7-0,2.

Метод исследования и испытаний:

- численное моделирование износа оксидного слоя в рассматриваемой паре трения (см. рис. 1);
- натурные ресурсные испытания плоской золотниковой пары в макетном образце распределителя гидравлического при подаче рабочей жидкости МГЕ-10А давлением 9,8 МПа, цикличность срабатывания – 600 циклов в час.

Численное моделирование выполнено по закону Архарда. Расчетное значение объема износа определяется по формуле

$$Q = k \cdot \frac{F}{H} \cdot s, \text{ мм}^3, \quad (1)$$

где Q – объем износа, мм³; k – безразмерный коэффициент износа (зависит от режима трения, определяемого числом Стрибека, сухое трение $k = 1 \cdot 10^{-3} \text{ мм}^3 / \text{Н} \cdot \text{м}$, граничное трение $k = 1 \cdot 10^{-6} - 1 \cdot 10^{-3} \text{ мм}^3 / \text{Н} \cdot \text{м}$, жидкостное трение $k = 1 \cdot 10^{-9} - 1 \cdot 10^{-7} \text{ мм}^3 / \text{Н} \cdot \text{м}$); F – приложенная сила, Н; H – твердость материала, МПа; s – путь трения, м.

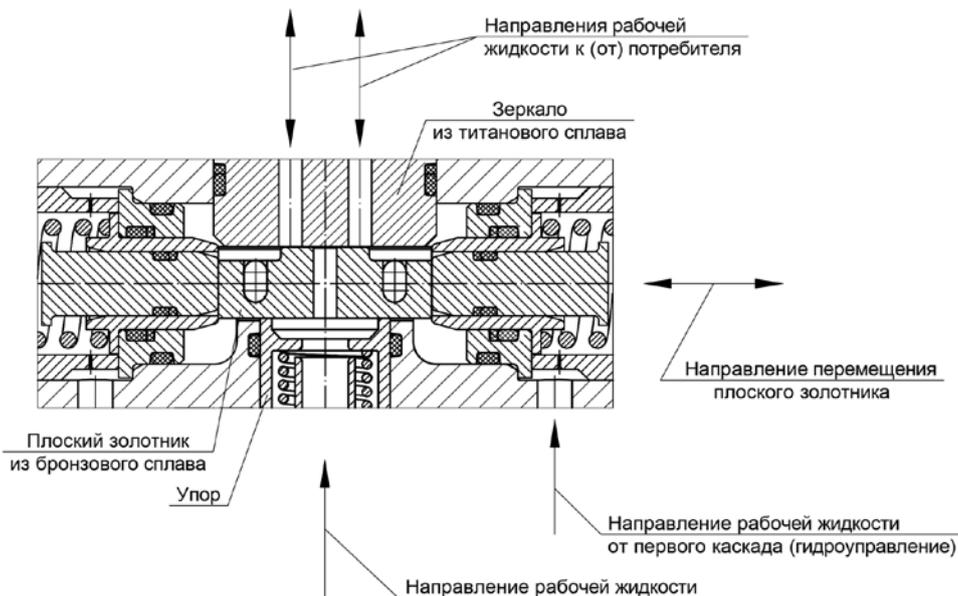


Рис. 1. Схема второго каскада распределителя гидравлического с плоской золотниковой парой трения

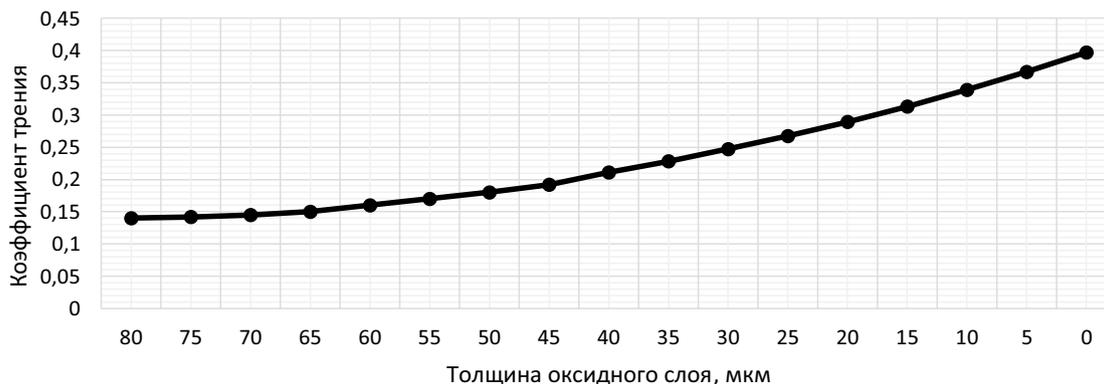


Рис. 2. Оценочный график изменения коэффициента трения

Глубина износа пятна контакта определяется

$$h = \frac{Q}{A}, \text{ мм}, \quad (2)$$

где h – глубина износа, мм; A – площадь контакта, мм².

Результаты расчета применительно к конструкции, приведенной на рис. 1, после 30 000 циклов наработки приведены ниже:

Расчет вероятного износа оксидного слоя

Расчетный параметр	Значения при давлении рабочей жидкости 9,8 МПа
Q , мм ³	42,60
h , мм (мкм)	0,06 (60)

Полученные результаты наглядно показывают, что при выполнении 30 000 циклов срабатывания в конструкции, приведенной на рис. 1, возможен значительный износ оксидного слоя на глубину ориентировочно 60 мкм при толщине начального слоя от 40 до 80 мкм. Стоит отметить, что при износе оксидного слоя коэффициент трения в паре трения будет возрастать и при достижении полного износа этого слоя (до основного металла) коэффициент трения будет максимальным, что соответствует коэффициенту трения по неоксидированному титановому сплаву (высокая вероятность адгезионного износа и задиrow). Оценочный график изменения коэффициента трения в рассматриваемой паре трения от износа оксидного слоя приведен на рис. 2, где наибольшее значение коэффициента трения соответствует коэффициенту трения бронзового сплава по неоксидированному титановому сплаву.

Для проведения ресурсных испытаний был разработан и изготовлен макетный образец распределителя гидравлического с плоской золотниковой парой. Зеркало выполнено из титанового сплава 3М, оксидированного в графите, золотник – из бронзового сплава БрОФ7-0,2. Испытания проводились на рабочей жидкости – масле гидравлическое МГЕ-10А, давлением 9,8 МПа, цикличность срабатывания – 600 циклов в час. Замер фактической толщины оксидного слоя на зеркале не выполнялся, толщина обеспечивалась соблюдением технологии нанесения оксидного слоя.

Результаты ресурсных испытаний: распределитель гидравлический отработал 30 000 циклов в штатном режиме. После наработки ориентировочно 32 000 циклов скорость перемещения золотника (коммутации каналов) значительно снизилась: с 0,3 с до 8 с, вследствие чего ресурсные испытания были прерваны, распределитель гидравлический был разобран и его плоская золотниковая пары была осмотрена на предмет износа.

На поверхности трения зеркала и поверхности трения золотника выявлены явные признаки износа, в том числе абразивного. Поверхность зеркала из титанового сплава имела локальный износ оксидного слоя до металлического блеска, что в несколько раз повышает коэффициент трения в данной паре, а следовательно, и необходимые сдвиговые усилия. Поверхность трения золотника до начала ресурсных испытаний

(рис. 3 и рис. 4) имеет следы абразивного износа, поверхности трения после проведения ресурсных испытаний показана на рис. 5 и рис. 6.



Рис. 3. Поверхность трения зеркала из титанового сплава 3М (покрытая оксидированным слоем в графите) до начала проведения ресурсных испытаний. На поверхности оксидного слоя наблюдается следы приработки бронзового сплава



Рис. 4. Поверхность золотника из бронзового сплава БрОФ7-0,2 до начала ресурсных испытаний

Анализ результатов и загрязнения: после проведения ресурсных испытаний в объеме 30 000 циклов наблюдается картина абразивного износа на поверхностях трения обеих деталей: на поверхности детали из титанового сплава и детали из бронзового сплава. Также в картине масляной станции после проведения ресурсных испытаний обнаружены следы бронзового сплава (рис. 7).



Рис. 5. Поверхность трения зеркала из титанового сплава ЗМ (покрытая оксидированным слоем в графите) после проведения ресурсных испытаний

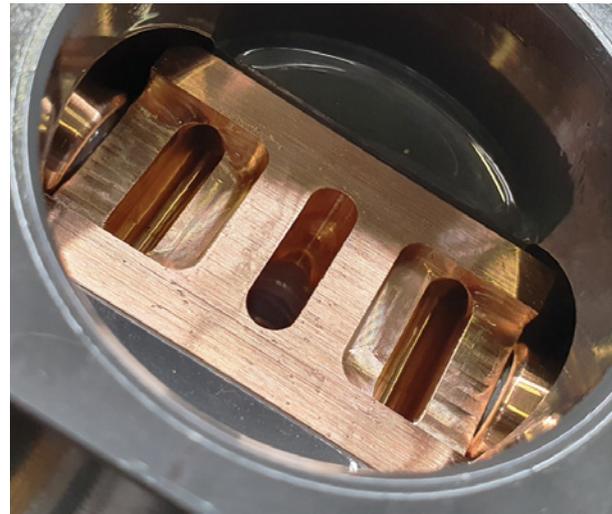


Рис. 6. Поверхность трения золотника из бронзового сплава БрОФ7-0,2 после проведения ресурсных испытаний



Рис. 7. Следы износа плоской золотниковой пары (золотника из бронзового сплава) обнаруженные в картере масляной станции после проведения ресурсных испытаний

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение оксидированного титана в паре с бронзовыми сплавами в плоских золотниковых парах двухкаскадных распределителей не обеспечивает ресурс в 30 000 циклов, разрушение поверхности оксидированного слоя вызывает загрязнение системы гидравлики.

В соответствии с уравнением (1) для повышения ресурса поверхности трения целесообразно использовать материалы и покрытия с высоким значением твердости материала, высокопрочные антифрикционные коррозионностойкие материалы, керамические материалы. Для уменьшения приложенной силы в паре трения целесообразно внедрить гидростатическую разгрузку, например, за счет микрорельефа на поверхности пары трения, которая дополнительно улучшит смазывание поверхности трения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Баица Т.М. Машиностроительная гидравлика: Справ. пособие. – М.: Машиностроение, 1971. – 671 с.
2. Поллошкин Н.Г. Основы теории трения, износа и смазки. – Красноярск: Красноярский гос. аграрный ун-тет, 2013. – 192 с.
3. Горьнин И.В., Ушков С.С., Хатуниев А.Н., Лошакова Н.И. Титановые сплавы для морской техники. – СПб.: Политехника, 2007. – 387 с.
4. Чечулин Б.Б., Ушков С.С., Разуваева И.Н., Гольдфайн В.Н. Титановые сплавы в машиностроении. – Л.: Машиностроение, 1977. – 284 с.
5. Воронков Б.Д. Подшипники сухого трения. – Л.: Машиностроение, 1979. – 224 с.
6. Hutching Ian, Shipway Philip. Tribology Friction and wear of Engineering Materials. – Second ed. – Kidlington, Oxford, Butterworth-Heinemann is an imprint of Elsevier. – 2016. – 383 с. ■

Как правило, судовой валопровод (рис. 1) служит для передачи мощности, вырабатываемой главным двигателем судна, гребному винту, а также для восприятия создаваемого самим гребным винтом упора и передачи его корпусу судна через главный упорный подшипник 4. Это сложная конструкция состоит из нескольких валов: гребного, промежуточного, упорного. Они опираются на подшипники 5 и 7, установленные на фундаменте корпуса судна [2, 5]. Сами валы соединены между собой фланцевым, муфтовым и втулочно-штифтовым способами.

Дейдвудное устройство 7 (см. рис. 1) представляет собой дейдвудную трубу, внутри которой расположены подшипники скольжения (дейдвудные) и уплотнения. Дейдвудные подшипники с антифрикционным материалом внутри являются опорами гребного вала. С учетом консольного расположения гребного винта и переменного действия внешних нагрузок дейдвудные подшипники самые нагружаемые подшипниками в системе судового валопровода [7, 9]. На шейках гребного вала установлены бронзовые (например, Бр.ОЦ10-2, Бр.ОЦС 5-5-5) или металлические втулки, а на промежуточную часть нанесено защитное покрытие (обычно эпоксидные смолы, армированные стеклотканью). Толщина облицовочных втулок зависит от внешнего диаметра самого гребного вала, и их окончательную обработку наружной поверхности следует проводить после насадки на шейку самого вала (ГОСТ 8256–74). Следует отметить, что валы в местах установки подшипников и уплотнений должны обязательно иметь шейки. В целом конструкция деталей валов валопровода и их соединений должна обеспечивать технологичность их изготовления с учетом требований действующих нормативных документов.

Судовой валопровод изгибается вместе судном и испытывает при вращении вокруг своей оси большие знакопеременные, циклические нагрузки [12, 13]. К конструкции, прочности и качеству монтажа валопровода предъявляются особенно высокие требования, поскольку необходимо обеспечить его надежную работу. Так, в процессе проектирования обязательно выполняются динамический расчет, в основу которого входят расчеты на крутильные, продольные и поперечные колебания. Цель таких расчетов – определение собственной (критической) частоты n и отстройку от резонансного состояния [11]. Вибрация судовых валопроводов не должна быть резонансной. Поэтому

О ВЛИЯНИИ МОМЕНТА ИНЕРЦИИ ГРЕБНОГО ВИНТА НА ЗНАЧЕНИЕ СОБСТВЕННОЙ ЧАСТОТЫ ПОПЕРЕЧНЫХ КОЛЕБАНИЙ ГРЕБНОГО ВАЛА

А.А. Халявкин, канд. техн. наук, доцент,

Е.О. Логинова, ст. преподаватель,

В.Б. Симагина, доцент,

Б.М. Сабах, доцент,

Каспийский институт морского и речного транспорта им. генерал-адмирала

Ф.М. Апраксина – филиал ФГБОУ «ВГУВТ им. адм. М.П. Лазарева»,

Р.Ю. Друзенко, аспирант, *Керченский государственный морской технологический университет,*

sopromat112@mail.ru, elena_loginova83@mail.ru, izdom4@mail.ru,

bahaa@yandex.ru, 231sv_gia_10@mail.ru

валопровод проектируют так, чтобы низшая частота его свободных колебаний на 20 – 30% превышала лопастную частоту. Вибрация валопровода вызывается периодическими усилиями, возникающими на работающем винте. Пульсация упора возбуждает продольные колебания, тангенциальные силы – изгибные.

В зависимости от расположения главного двигателя и в целом машинного отделения на судне судовой валопровод может состоять из нескольких промежуточных валов 2 (см. рис. 1). Общая длина валопровода может достигать 20 м.

Для определения собственной частоты поперечных колебаний судового валопровода существует свыше шести способов и методов расчета [3, 4]: метод Рэлея, Суслова, Мудрака, Бернулли, в соответствии с РД 5.4307–79 и др. В работе [3] также представлено выражение для определения собственной частоты n гребного вала (об/мин):

$$n = 12,1 \frac{D}{L^2} 10^4, \quad (1)$$

где D – диаметр гребного вала, м; L – длина наибольшего пролета, м.

Одним из первых методов расчета поперечных колебаний и определение собственной частоты является графический метод Ю.А. Шиманского, где валопровод рассматривается как многопролетная балка, на конце которой действует сосредоточенная нагрузка, моделирующая вес гребного винта [10].

При анализе вышеприведенных методов расчета поперечных колебаний был выявлен общий недостаток – не учитывается момент инерции I гребного винта и масса увлекаемой им воды, которая может увеличить общую массу

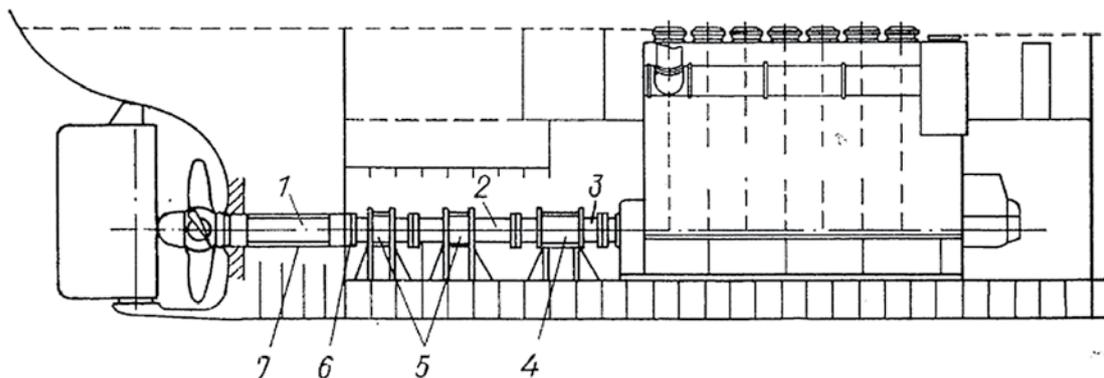


Рис. 1. Элементы судового валопровода [6]

1 – гребной вал; 2 – промежуточный вал; 3 – упорный вал; 4 – главный упорный подшипник; 5 – опорный подшипник; 6 – переробочный сальник; 7 – дейдвудное устройство

винта на 20–25%. Вышеприведенные параметры винта могут существенно влиять на значение собственной частоты поперечных колебаний судового валопровода.

РАСЧЕТ КОНСОЛЬНОЙ БАЛКИ

Для этого на первоначальном этапе рассмотрим поперечные колебания с распределенными параметрами балки с погонной массой m в виде консоли. Общий вид расчетных схем, которые моделируют кормовую часть гребного вала, представлены на рис. 2. Изгибная жесткость постоянная по всей длине самой балки $EJ = \text{const}$.

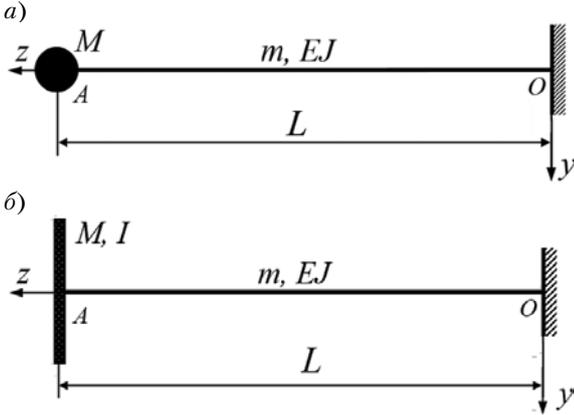


Рис. 2. Расчетные схемы №1 (а) и №2 (б) консольной балки

Как видно из расчетных схем на рис. 2 для сравнительного анализа гребной винт будем рассматривать в виде сосредоточенной нагрузки массой M и диска с моментом инерции I .

Дифференциальное уравнение свободных изгибных колебаний такой балки имеет вид [1]

$$EJ \frac{d^4 \xi}{dz^4} + m \frac{d^2 \xi}{dz^2} = 0, \quad (2)$$

где ξ – поперечное смещение сечения балки; z – абсцисса сечения; EJ – изгибная жесткость сечения при изгибе; m – погонная масса балки, кг/м.

Решение уравнение (2) ищем в виде [1]

$$\xi = y(z)y(t), \quad (3)$$

где

$$y(t) = \sin(\omega t + \varphi), \quad (4)$$

y – форма колебаний балки; ω – собственная частота; φ – сдвиг фаз (будем считать, что $\varphi = 0$).

С учетом (4) уравнение (2) переходит к обыкновенному линейному дифференциальному уравнению с постоянным коэффициентом

$$\frac{d^4 y}{dz^4} - \alpha z = 0, \quad (5)$$

где

$$\alpha = \sqrt[4]{\frac{m\omega^2}{EJ}}. \quad (6)$$

Характеристическое уравнение вышеприведенного дифференциального выражения примет вид

$$\lambda^4 - \alpha^4 = 0. \quad (7)$$

Корни уравнения (7):

$$\lambda_1 = \alpha; \lambda_2 = -\alpha; \lambda_3 = i\alpha; \lambda_4 = -i\alpha. \quad (8)$$

Общее решение уравнения (5) будет иметь вид [17]

$$y(z) = C_1 \sin(\alpha z) + C_2 \cos(\alpha z) + C_3 \text{sh}(\alpha z) + C_4 \text{ch}(\alpha z), \quad (9)$$

где C_1, C_2, C_3, C_4 – неизвестные постоянные.

Уравнение (9) определяет форму поперечных (изгибных) колебаний балки по всей ее длине.

Используя известные функции А.Н. Крылова представ-

ленное в [1] общее решение (9) уравнения (2) можно записать в виде [1]

$$y(z) = C_1 K_1(\alpha z) + C_2 K_2(\alpha z) + C_3 K_3(\alpha z) + C_4 K_4(\alpha z), \quad (10)$$

где

$$\begin{cases} K_1 = \frac{1}{2}(\text{ch}(\alpha z) + \cos(\alpha z)); K_2 = \frac{1}{2}(\text{sh}(\alpha z) + \sin(\alpha z)); \\ K_3 = \frac{1}{2}(\text{ch}(\alpha z) - \cos(\alpha z)); K_4 = \frac{1}{2}(\text{sh}(\alpha z) - \sin(\alpha z)). \end{cases} \quad (11)$$

Функции А.Н. Крылова и их производные (11) связаны следующими зависимостями:

$$\begin{cases} \frac{d}{dz} K_1(\alpha z) = \alpha K_4(\alpha z); \frac{d}{dz} K_2(\alpha z) = \alpha K_1(\alpha z); \\ \frac{d}{dz} K_3(\alpha z) = \alpha K_2(\alpha z); \frac{d}{dz} K_4(\alpha z) = \alpha K_3(\alpha z). \end{cases} \quad (12)$$

Как видно из выражений (11) и (12), функции Крылова обладает свойством циклического чередования индексов, которое можно записать в матричном виде так:

$$[1 \ 2 \ 3 \ 4 \ 1 \ 2 \ 3 \ 3 \ 4 \ 1 \ 2 \ 2 \ 3 \ 4 \ 1]. \quad (13)$$

При каждом дифференцировании функции Крылова по z ее номер уменьшается на единицу. Поэтому схема (12) носит название «круг дифференцирования». Для получения производной по z от какой-либо из функций (11) следует от этой функции по круговой стрелке сместиться на одну позицию и умножить результат на α (6).

Используя метод начальных параметров [9] для расчета поперечных колебаний балки, произвольным постоянным уравнения (10) придается конкретный геометрический и механический смысл. И так, y_0, φ_0, M_0 и Q_0 – начальные параметры исследуемых расчетных схем, где y_0 и φ_0 – это геометрические параметры, а M_0 и Q_0 – механические параметры. Далее получаем следующее выражение амплитуд прогиба балки:

$$y(z) = y_0 \cdot K_1(\alpha z) + \frac{\varphi_0}{\alpha} \cdot K_2(\alpha z) + \frac{M_0}{\alpha^2 EI} \cdot K_3(\alpha z) + \frac{Q_0}{\alpha^3 EI} \cdot K_4(\alpha z). \quad (14)$$

Из курса сопротивления материалов [1] известно, что

$$\{\varphi(z) = \frac{dy}{dz} M(z) = -EJ \frac{d^2 y}{dz^2} Q(z) = EJ \frac{d^3 y}{dz^3}. \quad (15)$$

При использовании уравнения (14) для определения амплитуд прогиба балки необходимо знать начальные параметры y_0, φ_0, M_0, Q_0 , которые, в свою очередь, зависят от способа закрепления концов балки.

Для каждого конца балки при поперечных колебаниях указываются два граничных условия [17]:

– для расчетной схемы №1

$$\{y_{z=0} = 0; \left(\frac{dy}{dz}\right)_{z=0} = 0; y''_{z=L} = 0; M\omega^2 y_{z=L} = EJy'''_{z=L}; \quad (16)$$

– для расчетной схемы №2

$$\{y_{z=0} = 0; \left(\frac{dy}{dz}\right)_{z=0} = 0; I\omega^2 y'_{z=L} = -EJy''_{z=L}; M\omega^2 y_{z=L} = EJy'''_{z=L}. \quad (17)$$

Уравнение прогиба (13) относительно z применительно для исследуемой консольной балки (см. рис. 2) примет вид

$$y(z) = \frac{M_0}{\alpha^2 EI} \cdot K_3(\alpha z) + \frac{Q_0}{\alpha^3 EI} \cdot K_4(\alpha z). \quad (18)$$

Производные уравнения (18) относительно z будут иметь следующий вид:

$$\begin{cases} y'(z) = \frac{M_0}{\alpha EI} \cdot K_2(\alpha z) + \frac{Q_0}{\alpha^2 EI} \cdot K_3(\alpha z) y''(z) = \\ = \frac{M_0}{EI} \cdot K_1(\alpha z) + \frac{Q_0}{\alpha EI} \cdot K_2(\alpha z) y'''(z) = \alpha \frac{M_0}{EI} \cdot K_4(\alpha z) + \frac{Q_0}{EI} \cdot K_1(\alpha z). \end{cases} \quad (19)$$

Определение собственной частоты балки сводится к решению системы однородных уравнений, полученных на основании граничных условий. Рассмотрим расчетную схему №1 (рис. 2, а):

$$\left\{ \frac{M_0}{EI} \cdot K_1(\alpha L) + \frac{Q_0}{\alpha EI} \cdot K_2(\alpha L) = 0 \right. \\ \left. M\omega^2 y(L) - EJy'''(L) = 0. \right. \quad (20)$$

На основании (16) система уравнений примет уже следующий вид:

$$\left\{ M_0 \cdot K_1(\alpha L) + \frac{Q_0}{\alpha} \cdot K_2(\alpha L) = 0 \right. \\ \left. M_0 [t \cdot \alpha^2 \cdot K_3(\alpha L) - \alpha \cdot K_4(\alpha L)] + \right. \\ \left. + Q_0 [t \cdot \alpha \cdot Q_0 \cdot K_4(\alpha L) - K_1(\alpha L)] = 0, \right. \quad (21)$$

где t – отношение массы груза и погонной массы самой балки исследуемой расчетной схемы:

$$t = \frac{M}{m}. \quad (22)$$

Выражение собственной циклической частоты балки определяем относительно вышеприведенного выражения (6):

$$\omega = \sqrt{\frac{\alpha^4 EJ}{m}}. \quad (23)$$

Рассмотрим расчетную схему балки № 2 (рис. 2, б). Система однородных уравнений с учетом уже массы и момента инерции груза примет следующий вид:

$$\left\{ I\omega^2 \left(\frac{M_0}{\alpha EI} \cdot K_2(\alpha z) + \frac{Q_0}{\alpha^2 EI} \cdot K_3(\alpha z) \right) + \right. \\ \left. + EJ \left(\frac{M_0}{EI} \cdot K_1(\alpha z) + \frac{Q_0}{\alpha EI} \cdot K_2(\alpha z) \right) = \right. \\ \left. = 0 \right. \\ \left. M\omega^2 \left(\frac{M_0}{\alpha^2 EI} \cdot K_3(\alpha z) + \frac{Q_0}{\alpha^3 EI} \cdot K_4(\alpha z) \right) - \right. \\ \left. - EJ \left(\alpha \frac{M_0}{EI} \cdot K_4(\alpha z) + \frac{Q_0}{EI} \cdot K_1(\alpha z) \right) = 0. \right. \quad (24)$$

Преобразуем полученную систему (24):

$$\left\{ M_0 (w\alpha^3 K_2(\alpha z) + K_1(\alpha z)) + Q_0 \left(\frac{K_2(\alpha z)}{\alpha} + w\alpha^2 \cdot K_3(\alpha z) \right) = 0; \right. \\ \left. M_0 (t\alpha^2 K_3(\alpha z) - \alpha K_4(\alpha z)) + Q_0 (t\alpha \cdot K_4(\alpha z) - K_1(\alpha z)) = 0, \right. \quad (25)$$

где

$$w = \frac{I}{m}. \quad (26)$$

Значение собственной частоты определяется из условия равенства нулю определителя исследуемых однородных систем (21) и (25):

$$W = |a_{11} \ b_{12} \ a_{21} \ b_{22}| = 0 \quad (27)$$

или

$$\Delta = a_{11} b_{22} - a_{12} b_{21} = 0. \quad (28)$$

Уравнение (28) называется частотным, и из него можно найти собственную частоту при поперечных колебаниях балки. То есть условием определения собственной циклической частоты является определение α , когда $W=0$.

В случае небольшой массы груза ($t \rightarrow 0$) системы уравнений соответствуют уравнению [1]:

$$K_1^2(\alpha L) - K_2 K_4(\alpha L) = 0. \quad (29)$$

Или уравнение (29) можно привести к виду

$$\cos(\alpha L) = -\frac{1}{\text{ch}(\alpha L)}. \quad (30)$$

Корни уравнения (30) определяются на основании выражения

$$\lambda_k = \frac{2k-1}{2} \pi, \quad (31)$$

где $\lambda_k = \alpha_k L$.

При $k=1$ корень уравнения колебаний балки (30) примет численное значение $\lambda_1 = 1,875$. Графическое же решение уравнения (30) показано на рис. 3 [1, с. 153].

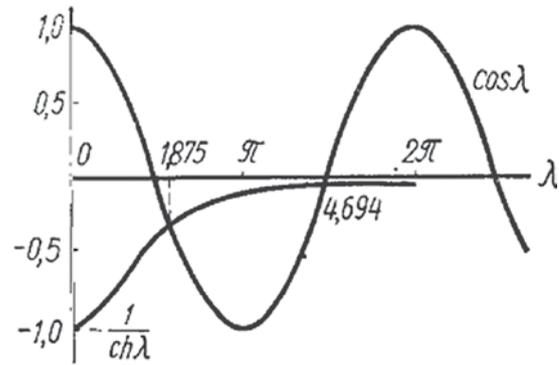


Рис. 3. Определение корней решения

Момент инерции I гребного винта определяем из следующего выражения:

$$I = 0,02 MD_B^2 \frac{A}{A_D} \left(\frac{A}{A_D} + 3 \right), \quad (32)$$

где M – общая масса гребного винта, кг; D_B – диаметр гребного винта, м; A/A_D (θ) – дисковое отношение гребного винта.

Для определения общей массы гребного винта может быть использована формула Ф.М. Кацмана:

$$M = \left[(1,4 + 15,3 D_B) A + 600 l_0 (d_0^2 - d_k^2) \right] \rho \cdot 10^{-3}, \quad (33)$$

где M – общая масса гребного винта, кг; D_B – диаметр гребного винта, м; l_0 – длина ступицы ($l_0 \approx 0,2 D_B$ или $l_0 \approx 3 d_0$), м; d_0 – средний диаметр ступицы ($d_0 \approx 0,2 D_B$), м; d_k – средний диаметр конусного отверстия, м; ρ – плотность материала гребного винта, кг/м³; A – спрямленная поверхность лопастей, м².

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ

В качестве примера рассмотрим консольную балку длиной $L = 1,0$ м и диаметром $d = 150,0$ мм. Массу M гребного винта (с дисковым отношением $\theta = 0,7$ и диаметром $D = 3$ м) принимаем равной в диапазоне от 200 кг до 400 кг с шагом 100 кг. Значение собственной частоты колебаний балки без учета массы на конце равна $n = 109,61$ 1/с. Частоту колебаний (1/с) балки определяем как

$$n = \frac{\omega}{2\pi}. \quad (34)$$

На рис. 4 представлен график определения α , принимая во внимание условие решения однородной системы – отношение (28).

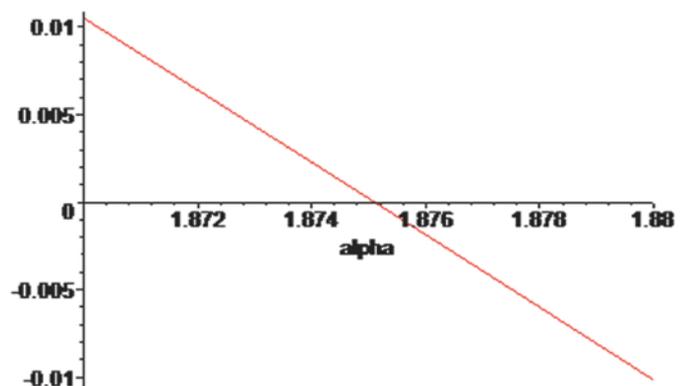


Рис. 4. График $\Delta = f(\alpha)$

В таблице представлены результаты расчета балки с учетом и без учета массы и момента инерции на основании представленных выражений определения параметров гребного винта (32) и (33).

Таблица

Значение собственной частоты балки

Параметры гребного винта	n, 1/с			
	M = 100 кг	M = 200 кг	M = 300 кг	M = 400 кг
M = 0; l = 0	109,61	109,61	109,61	109,61
M ≠ 0; l = 0	55,15	41,67	34,83	30,56
M ≠ 0; l ≠ 0	40,02	29,15	24,04	20,96

На основании полученных результатов расчетов была построена диаграмма собственной частоты балки в зависимости от массы и параметров груза исследуемых расчетных схем (рис. 5).

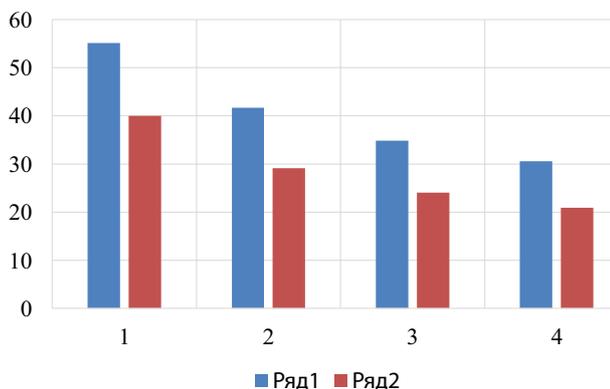


Рис. 5. Диаграмма частот собственных колебаний: Ряд 1 – без учета массы момента инерции; ряд 2 – с учетом момента инерции
1 – M = 100 кг; 2 – M = 200 кг; 3 – M = 300 кг; 4 – M = 400 кг

Как видно из полученной диаграммы, на собственную частоту судового валопровода влияет не только масса гребного винта, но его момент инерции и масса увлекаемой воды. Расчет поперечных колебаний с учетом момента инерции гребного винта и массы увлекаемой воды приводит к понижению собственной частоты. Также это видно на графике рис. 6 разности собственных частот без учета n_1 и с учетом момента инерции n_2 , на основании представленных значений в таблице.

Исходя из вышеприведенных расчетов, можно сделать общий вывод: при расчете поперечных колебаний судового валопровода необходимо учитывать геометрию и механические параметры гребного винта и массу увлекаемой воды, которая увеличивает общую массу гребного винта.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные результаты и проведенный анализ позволят оценить влияние размеров гребного винта на значение собственной частоты поперечных колебаний при проектировании или ремонта всего судового валопровода, повы-

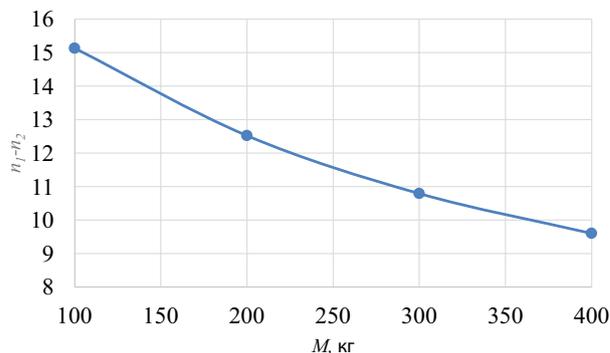


Рис. 6. Диаграмма частот собственных колебаний

сить надежность всей судовой энергетической установки судна, так как отстройка от резонансного состояния влияет на бесперебойную работу и динамическую устойчивость всех ее элементов и узлов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бидерман В.Л. Теория механических колебаний. – М.: Высшая школа, 1980. – 408 с.
2. Матвеев Ю.А., Орехов В.А., Храмов М.Ю., Орехов А.В. Особенности напрессовки облицовок гребных валов // Вестн. Волж. гос. академии водного транспорта – 2019. – № (60). – С. 232–237.
3. Николаев В.А. Конструирование и расчет судовых валопроводов. – Л.: Судпромгиз, 1956. – 358 с.
4. Румб В.К. Основы проектирования и расчета судового валопровода: учеб. пособие. – СПб.: Изд. центр СПбГМТУ, 1996. – 106 с.
5. Ручкин Ю.Н. Судовые энергетические установки и их элементы: учеб. пособие. – Н.Новгород: Нижегородский ГТУ. – 2008. – 58 с.
6. Ситченко Н.К., Ситченко Л.С. Общее устройство судов – 1987. – 328 с.
7. Мамонтов В.А., Халявкин А.А., Кушнер Г.А., Разов И.О. Оценка влияния жесткости материала кормового дейдвудного подшипника на работоспособность судового валопровода // Вестн. Астраханского ГТУ. – Сер.: Морская техника и технология. – 2017. – № 4. – С. 80–87.
8. Халявкин А.А. Разработка дейдвудного подшипника с эллиптическими вкладышами / Халявкин А.А., Лошадкин Д.В., Старкова М.В., Безруков Н.П., Яковлев Ю.Ю. // Морской вестник. – 2024. – № 1 (89). – С. 38–40.
9. Халявкин А.А., Матвеев Ю.И., Саламех Али, Слиман Саусан. Повышение надежности механизмов судовой энергетической установки // Судостроение. – 2024. – № 5. – С. 62–65.
10. Шиманский Ю. А. Динамический расчет судовых конструкций. – Л.: Судпромгиз, 1963. – 295 с.
11. Springer Handbook of Wood Science and Technology (Springer Handbooks). – 1st ed. 2023/Ed. by Peter Niemz, Alfred Teischinger, Dick Sandberg. – Springer. 2023. – 2063 p.
12. Tang D., Han Y., Yin L., Chen Y. Numerical Analysis of the Mixed-Lubrication Performance of Staved Stern Tube Bearings Lubricated with Water//Lubricants. – 2023. – Vol.11. – P.168. – <https://doi.org/10.3390/lubricants11040168>.
13. Litwin Wojciech. Water-Lubricated Journal Bearings: Marine Applications, Design, and Operational Problems and Solutions// Elsevier. – 2023. – 280 p. ■

Согласно Морской доктрине Российской Федерации [1], ключевыми направлениями при создании новых кораблей и судов являются:

1) цифровизация – внедрение цифровых технологий на всех этапах проектирования и эксплуатации судов;

2) инновации – создание перспективных систем, включая морские роботизированные комплексы с искусственным интеллектом (ИИ);

3) конкурентоспособность – обеспечение высокого качества отечественной морской техники.

Современный поршневой компрессор (ПК), применяемый в системе сжатого воздуха (ССВ) на кораблях и судах, является сложным механизмом, отдельные его элементы работают при высоких температурах и высоком давлении в течение длительного времени, что повышает вероятность возникновения неисправностей. Учитывая высокую стоимость ПК и требования к надежности, была разработана методика прогнозирования его технического состояния, включая диагностику отказов. Штатные контрольно-измерительные приборы (КИП) и датчики, установленные на ПК, позволяют в реальном времени получать данные о процессах, протекающих внутри цилиндропоршневой группы (ЦПГ), с дальнейшим извлечением необходимой информации.

Стоит отметить, что в настоящее время мощным средством для мониторинга технического состояния машин и механизмов являются технологии интеллектуального анализа данных и машинного обучения [2].

С развитием судостроительной отрасли Российской Федерации при мониторинге и прогнозировании технического состояния ПК возникает множество сложностей. Анализ аварий и поломок ПК (журналы учета полученных рекламаций предприятий АО «НПО «Компрессор» и АО «Компрессор» за период с 2017 по 2024 г., анализ опыта проведения работ по государственным контрактам между АО «Компрессор» и Министерством обороны Российской Федерации по сервисному обслуживанию (агрегатной замене), техническому сопровождению эксплуатации, продлению назначенных показателей эксплуатации компрессоров подводных лодок, кораблей и судов ВМФ) показывает, что вероятность возникновения отказа, потери работоспособности или возникновения условий для неправильного функционирования очень велика и достигает до 21%.

К одному из наиболее важных инструментов при оценке технического состояния ПК можно отнести анализ временных рядов. Традиционные методы прогнозирования временных рядов [3,

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОРШНЕВОГО КОМПРЕССОРА НА ОСНОВЕ ВАРИАЦИОННОЙ МОДОВОЙ ДЕКОМПОЗИЦИИ И РЕКУРРЕНТНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

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

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, +7 (921) 325 2493,

+7 (904) 644 3598

4] основаны на параметрических моделях, таких как:

- авторегрессионные модели;
- модели экспоненциального сглаживания;
- структурные модели временных рядов.

Эти методы требуют экспертных знаний и априорных предположений о структуре данных. Однако с ростом доступности данных и вычислительных мощностей машинное обучение стало ключевым инструментом для построения прогнозных моделей нового поколения. В частности, нейронные сети предлагают принципиально новые возможности для анализа временных рядов, полученных с системы датчиков.

Глубокие нейронные сети (DNN – *deep neural network*) выявляют сложные зависимости в данных через последовательность нелинейных преобразований, формируя иерархические представления признаков [5]. Среди наиболее эффективных архитектур:

1. Сверточные нейронные сети (CNN – *convolutional neural networks*), первоначально разработанные для обработки изображений. CNN были адаптированы для временных рядов с помощью каузальных сверточных слоев (используют только исторические данные) и специальных методов расширенной свертки [6], уменьшающих вычислительную сложность при работе с длинными временными зависимостями.

2. Рекуррентные нейронные сети (RNN – *recurrent neural network*), которые доказали эффективность в задачах последовательного моделирования, а именно нейронные эхо-сети (ESN – *echo state networks*) [7] и архитектуры долговременной памяти с выборочным забыванием. (LSTM – *long short-term memory*) [8], особенно успешные при работе с долговременными зависимостями.

Ключевыми преимуществами применения нейронных сетей являются:

- способность автоматически выявлять сложные нелинейные паттерны;
- адаптивность к различным типам временных данных;
- возможность обработки необработанных данных без сложной предварительной подготовки.

В последние годы методы машинного обучения, в частности XGBoost и LSTM, стали ключевыми инструментами для прогнозирования временных рядов [9].

XGBoost – библиотека с открытым исходным кодом, используемая в машинном обучении и предоставляющая функциональность для решения задач, связанных с регуляризацией градиентного бустинга. Реализует усовершенствованный алгоритм градиентного дерева принятия решений (GBDT – *gradient boosted decision trees*), а также содержит ряд инженерных улучшений для практического применения и демонстрирует высокую эффективность в задачах прогнозирования.

LSTM является разновидностью RNN, успешно решает проблемы исчезающего и взрывающегося градиента, особенно эффективна для работы с последовательными данными.

Несмотря на хорошие показатели при обработке данных, перечисленные выше методы сталкиваются с трудностями при анализе сложных сигналов. Особенно это проявляется при мониторинге технического состояния ПК, где рабочая среда в ЦПГ создает чрезвычайно сложные сигналы, а традиционные методы прогнозирования демонстрируют недостаточную точность.

Основной вклад данного исследования заключается в разработке нового подхода, сочетающего преимущества вариационной модовой декомпозиции (VMD – *variational mode decomposition*) [10] и LSTM. Предложенная методика применима к ПК, его составным частям и элементам, превосходит по точности традиционные методы и позволяет получать более надежные прогнозы.

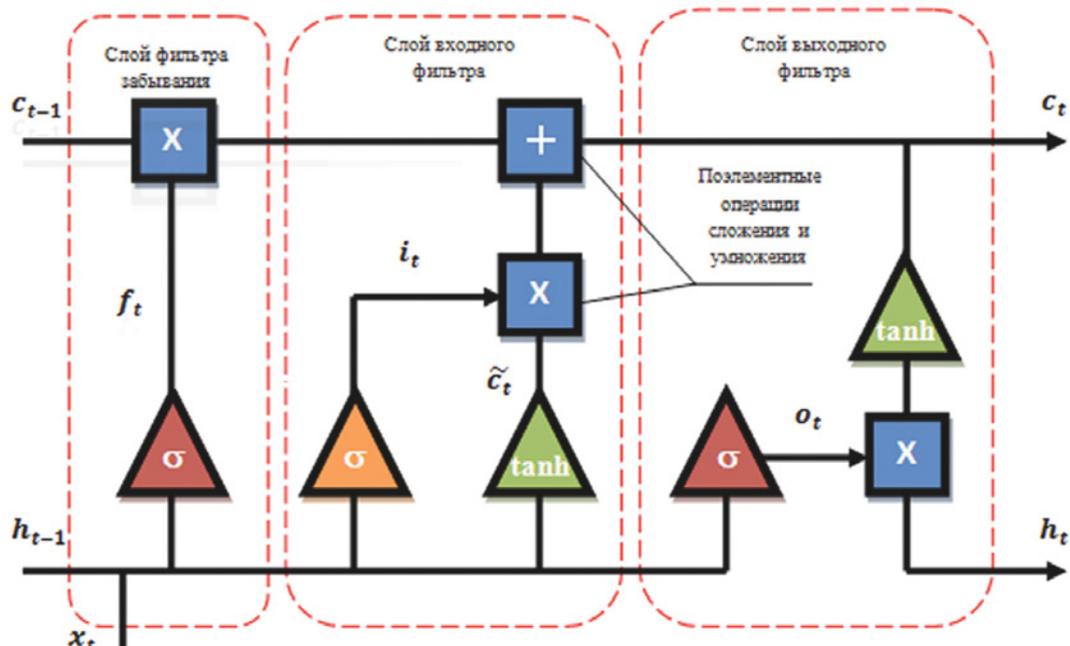


Рис. 1. Структурная схема работы LSTM

Здесь x_t – входящий вектор текущего состояния; h_{t-1} – вектор прошлого состояния; h_t – вектор скрытого состояния (прогнозирования); c_{t-1} – вектор памяти прошлого состояния; c_t – вектор текущего состояния; \tilde{c}_t – вектор новых значений; f_t – вектор забывания прошлого состояния; i_t – вектор оценки новой информации; o_t – выходной вектор; σ – сигмоидная функция активации; \tanh – функция активации на основе гиперболического тангенса

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ НА ОСНОВЕ РЕКУРРЕНТНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТЕВОЙ АРХИТЕКТУРЫ ДОЛГОВРЕМЕННОЙ ПАМЯТИ С ВЫБОРОЧНЫМ ЗАБЫВАНИЕМ

LSTM представляет собой усовершенствованную версию RNN, созданную для устранения основных недостатков классических RNN, таких как исчезновение и взрыв градиентов. В отличие от стандартных рекуррентных сетей, LSTM обладает механизмом долговременной памяти благодаря использованию двух передаваемых состояний – скрытого состояния и состояния ячейки, а также системы управляющих фильтров. Эта архитектура позволяет эффективно работать с последовательностями, содержащими сложные нелинейные зависимости, что делает ее особенно полезной для задач вроде прогнозирования данных, получаемых с КИП и датчиков ПК.

Ключевой особенностью LSTM является комбинация трех типов слоев фильтрации: входной, забывания и выходной, которые регулируют поток информации внутри сети. Слой входного фильтра определяет, какие данные будут сохранены в ячейке памяти, слой фильтра забывания контролирует удаление ненужной информации, а слой выходного фильтра решает, какие сведения передаются на следующий временной шаг. Такая структура обеспечивает устойчивое обучение даже на длинных последовательностях, а благодаря своей вычислительной универсальности (полноте по Тьюрингу) LSTM способна моделировать широкий класс алгоритмических процессов. На рис. 1 показана

схема работы LSTM, демонстрирующая взаимодействие между состояниями и слоями фильтрации при обработке временных данных.

В архитектуре LSTM слой фильтра забывания играет ключевую роль, определяя, какая часть информации из предыдущего состояния ячейки должна быть сохранена или удалена. В отличие от других слоев, он напрямую влияет на долговременную память сети, регулируя сохранение или «забывание» данных. Сигнал на выходе этого фильтра формируется с помощью сигмоидной функции активации, которая выдает значение в диапазоне от 0 до 1. Чем ближе значение к 0, тем больше информации стирается, а чем ближе к 1, тем больше сохраняется. Таким образом, слой фильтра забывания обеспечивает гибкое управление памятью, позволяя LSTM адаптироваться к важным изменениям в последовательностях данных.

Сам вектор забывания определяется следующим образом:

$$f_t = \sigma(W_f x_t + U_f h_{t-1} + b_f), \quad (1)$$

где W_f и U_f – веса забывания старой информации; b_f – сдвиг забывания.

Слой входного фильтра LSTM обрабатывает два типа данных: скрытое состояние с предыдущего временного шага и текущий входной сигнал. Для этого используются две разные функции активации, что позволяет получить два независимых выхода. Первый выход i_t определяет, какая новая информация будет сохранена, а второй \tilde{c}_t формирует кандидата на обновление состояния ячейки

$$i_t = \sigma(W_i x_t + U_i h_{t-1} + b_i), \quad (2)$$

$$\tilde{c}_t = \tanh(W_c x_t + U_c h_{t-1} + b_c), \quad (3)$$

где W_i и U_i – веса входа; b_i – сдвиг входа;

\odot – поэлементное умножение (произведение Адамара); W_c и U_c – веса получения новой информации; b_c – сдвиг при получении новой информации.

Обновление состояния ячейки в текущий момент времени происходит путем комбинации информации, сохраненной слоем фильтра забывания и новой отобранной информации

$$c_t = c_{t-1} \odot f_t + i_t \odot \tilde{c}_t. \quad (4)$$

Вектор скрытого состояния на текущем шаге вычисляется в два этапа:

1) сначала определяется выходной вектор o_t ;

2) затем применяется активация текущего состояния ячейки

$$o_t = \sigma(W_o x_t + U_o h_{t-1} + b_o), \quad (5)$$

$$h_t = o_t \odot \tanh(c_t). \quad (6)$$

Для обучения LSTM используются алгоритмы прямого распространения для генерации прогнозов и обратного распространения ошибки, аналогичный обычным RNN.

ВАРИАЦИОННАЯ МОДОВАЯ ДЕКОМПОЗИЦИЯ

Анализ сигналов с КИП и датчиков ПК требует специальных методов декомпозиции, позволяющих представить сложный сигнал в виде совокупности более простых составляющих. Важно отметить, что сигнал, имеющий сложную структуру во временной области, часто демонстрирует четкое и простое частотное представление. Это свойство делает частотный анализ особенно ценным для задач кодирования и обработки данных.

Среди существующих методов разложения сигналов традиционно применяется преобразование Фурье, однако его эффективность ограничена при

работе с нестационарными сигналами. Альтернативный подход – вейвлет-преобразование – хотя и решает проблему нестационарности, но существенно зависит от правильного выбора базисной функции (материнского вейвлета). Еще один метод, эмпирическая модовая декомпозиция (EMD – *empirical mode decomposition*), позволяет эффективно разделять компоненты сигнала, но имеет проблемы модового смещения [11].

В данной работе для анализа сигналов с КИП и датчиков предлагается применять метод VMD, который сочетает преимущества указанных подходов и минимизирует их недостатки. Основу VMD составляет решение специальной вариационной задачи, где исходный сигнал представляется в виде набора мод с ограниченной полосой пропускания. Каждая мода характеризуется определенной центральной частотой, а оптимизационная задача формулируется как минимизация суммарной полосы пропускания всех мод при условии точно восстановления исходного сигнала.

Математически задача VMD формулируется как поиск минимума функционала, описывающего суммарную полосу пропускания при ограничении, гарантирующем точное восстановление исходного сигнала. Формально это выражается через оператор частотно-временного анализа с использованием функции Дирака и операции свертки. Решение данной вариационной задачи позволяет получить набор мод и соответствующих им центральных частот, которые оптимальным образом представляют исходный сигнал в частотной области.

Особое значение в методе VMD имеет правильный выбор количества мод, который существенно влияет на качество декомпозиции. Оптимальное значение этого параметра определяется путем анализа распределения центральных частот полученных модовых компонентов

$$\min_{\{u_k\}, \{\omega_k\}} \sum_{k=1}^K \left\| \int \left[\delta(t) + \frac{j}{\pi t} \right] * u_k(t) e^{-j\omega_k t} \right\|_2^2 \quad (7)$$

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 (7), можно получить формулы для моды u_k и центральной частоты ω_k

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

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

Качество разложения сигналов методом VMD критически зависит от правильного выбора количества модовых компонентов k . Этот параметр требует тщательного подбора, так как при его недостаточном значении VMD действует аналогично адаптивному фильтру, что приводит к потере существенных компонентов сигнала и снижению точности последующего прогнозирования. С другой стороны, завышение количества мод вызывает сближение центральных частот соседних компонентов, что проявляется в эффекте перекрытия мод и внесении дополнительных шумовых составляющих. Для оптимального выбора параметра k рекомендуется анализировать распределение центральных частот полученных мод при различных значениях этого параметра.

Особую сложность представляют сигналы с КИП и датчиков ПК, содержащие многоуровневую информацию о работе сложной механической системы. Метод VMD позволяет декомпозировать такие комплексные сигналы на набор более простых и интерпретируемых подсигналов. Это преобразование существенно облегчает выявление скрытых закономерностей и временных паттернов, которые трудно обнаружить в исходном сложном сигнале.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Предлагаемый в работе гибридный метод VMD-LSTM реализует следующий алгоритм обработки: сначала выполняется декомпозиция каждого исходного сигнала с КИП и датчиков на модовые компоненты с помощью VMD,

затем для анализа и прогнозирования каждого подсигнала применяется отдельная модель LSTM. Особое внимание уделяется остаточному сигналу, который традиционно игнорируется в стандартных реализациях VMD. В предлагаемом подходе этот компонент, содержащий информацию о погрешности декомпозиции и дополнительных характеристиках состояния ПК, также подвергается обработке моделью LSTM. Итоговый прогноз формируется путем композиции предсказанных значений всех модовых компонентов и остаточного сигнала, что позволяет сохранить максимальное количество полезной информации.

Для прогнозирования технического состояния ПК были выбраны два датчика КИП станции компрессорной автоматизированной СКА60/200: датчик температуры смазочного масла и датчик давления пресной воды. Данные с этих датчиков собирались с частотой 1 раз в секунду в течение двух часов, после чего разбивались на сегменты по 100 секунд. Эти сегменты случайным образом распределены между обучающей и тестовой выборками в пропорции 7:3 для последующего использования в процедуре машинного обучения.

Первым этапом обработки данных являлось их разложение с использованием VMD. Количество подсигналов, на которые разлагались исходные данные, определялись экспериментальным путем. В данном случае сигналы датчиков температуры смазочного масла и давления пресной воды были разложены на пять подсигналов. В результате для каждого датчика формировались шесть последовательностей данных:

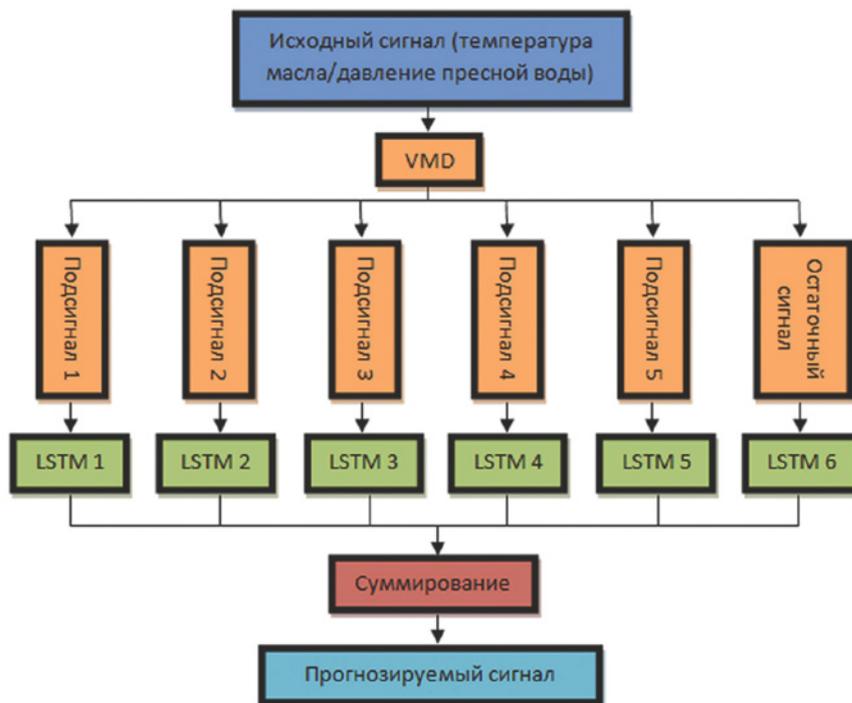


Рис. 2. Схема предлагаемой методики VMD-LSTM для прогнозирования технического состояния ПК

пять подсигналов и один остаточный сигнал.

Вторым этапом обработки этих последовательностей использовались шесть отдельных сетей LSTM, каждая из которых соответствует одной из полученных компонент (рис. 2).

Выбраны два других метода прогнозирования, которые сравниваются с методикой, предложенной в этой статье. Это метод ESN и алгоритм машинного обучения на основе опорных векторов (SVM – *support vector machines*). Относительная ошибка (RE – *relative error*) и средняя квадратичная ошибка (RMSE – *root mean squared error*) используются в качестве показателей для измерения эффективности различных методов прогнозирования. Они рассчитываются следующим образом:

$$RE = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^N (x(t) - \hat{x}(t))^2}}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (x(t))^2}}, \quad (10)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x(t) - \hat{x}(t))^2}{N}}, \quad (11)$$

где $x(t)$ – реальные данные; $\hat{x}(t)$ – прогнозируемые данные; N – номер выборки.

В ходе прогнозирования использовались исторические данные за 180 секунд для предсказания значений на 60 секунд вперед, при этом результаты получались путем последовательного прогнозирования. Как видно из таблицы, рис. 3 и рис. 4, предложенный метод демонстрирует значительно лучшие показатели RE и RMSE по сравнению с другими подходами. На рис. 5 и рис. 6 представлены результаты прогнозирования температуры смазочного масла и давления пресной воды, подтверждающие, что предложенный метод обеспечивает наименьшие значения RE и RMSE.

Метод LSTM решает проблему долгосрочных зависимостей, характерных для RNN, и демонстрирует более высокую эффективность при работе с нелинейными сигналами по сравнению с методами типа SVM. Применение VMD позволяет перевести процесс декомпозиции сигнала в вариационную постановку, обеспечивая более точное разложение сложных данных и устойчивость к помехам. Несмотря на нестационарную среду погружения исходных данных датчиков давления и температуры, после VMD-разложения подсигналы приобретают стабильные характеристики, что упрощает их анализ и прогнозирование. Важным преимуществом предложенного метода является прогнозирование не только подсигналов, но и остаточного сигнала ошибки VMD,

Таблица

Сравнение различных методов прогнозирования технического состояния ПК

Метод	Температура масла		Давление пресной воды	
	RE	RMSE	RE	RMSE
ESN	0,431	142,123	0,349	130,224
SVM	0,586	172,885	0,745	150,586
VMD-LSTM (предложенная методика)	0,221	85,567	0,141	79,134

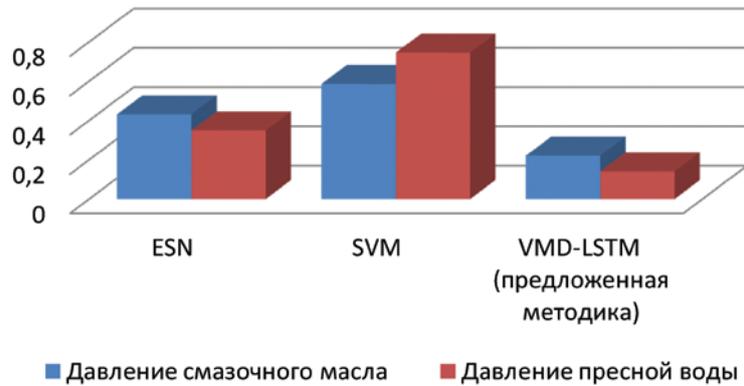


Рис. 3. Сравнение RE различных методов прогнозирования технического состояния ПК

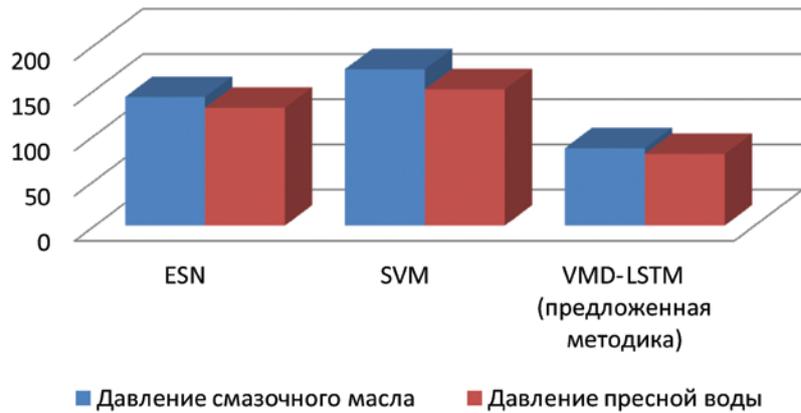


Рис. 4. Сравнение RMSE различных методов прогнозирования технического состояния ПК

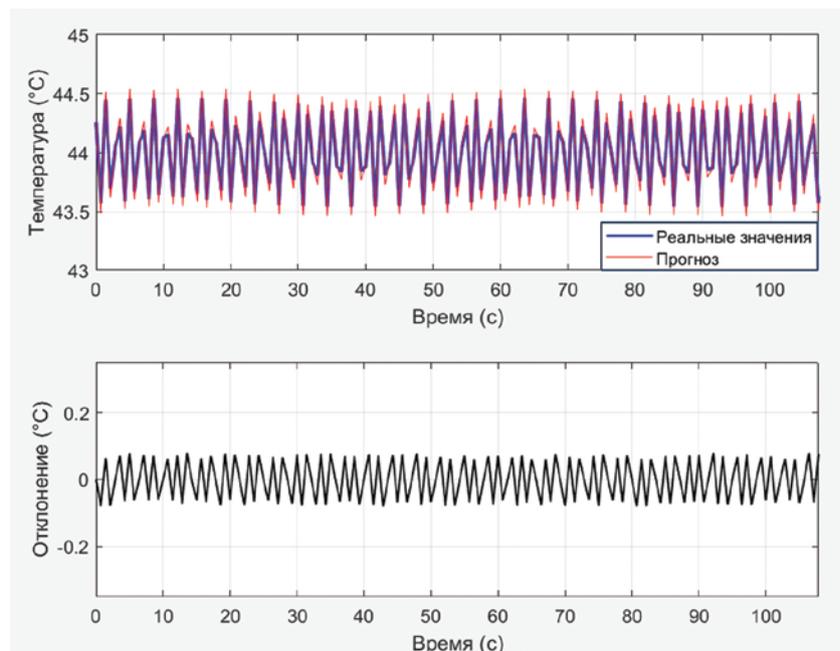


Рис. 5. Результаты прогнозирования температуры смазочного масла

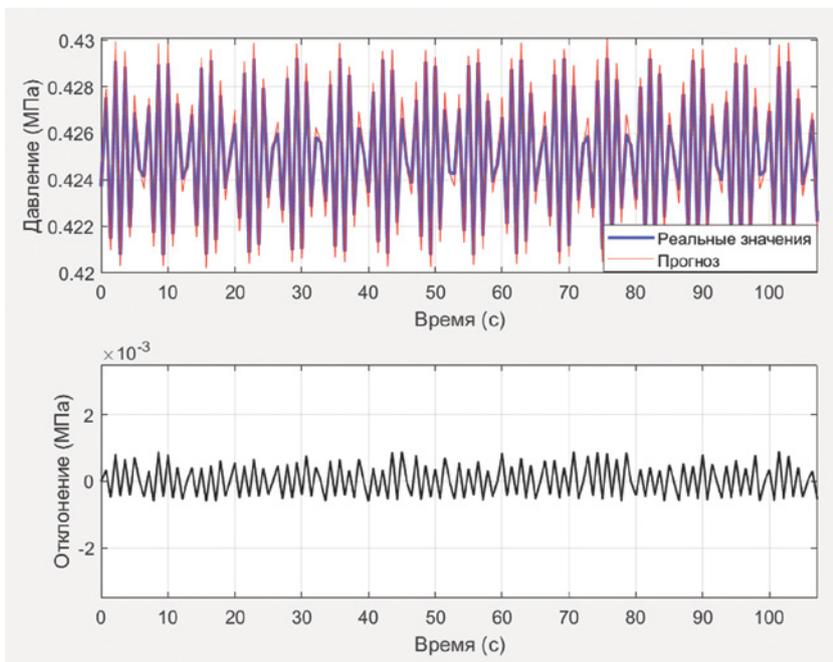


Рис. 6. Результаты прогнозирования давления пресной воды

что дополнительно снижает общую погрешность. Экспериментальные результаты подтверждают эффективность как VMD-разложения, так и предложенного подхода в целом.

ВЫВОДЫ

В данной статье представлена методика прогнозирования технического состояния ПК, сочетающая вариационную модовую декомпозицию и нейронную сеть долговременной памяти с выборочным забыванием. Суть метода заключается в разложении исходного сигнала на подсигналы с помощью VMD, последующем анализе и прогнозировании каждого подсигнала и остаточного сигнала сетями архитектуры LSTM и реконструкции итогового прогноза путем суммирования всех предсказанных компонентов. Сравнительный анализ с методами (ESN и SVM) демонстрирует значительное снижение погрешностей: для датчика температуры смазочного масла (RE) на 48,72% и 62,28%, (RMSE) на 39,72% и 50,51%, для датчика давления пресной воды (RE) на 59,6% и 81,07%, (RMSE) на 39,23% и 47,45%. Полученные результаты подтверждают, что предложенный подход превосходит существующие аналоги по точности и

надежности прогнозирования технического состояния оборудования и его элементов на 50–70%.

Проведенный эксперимент охватывал только номинальный режим работы ПК. В перспективе планируется расширить исследование, включив анализ переходных процессов и различных рабочих режимов, что позволит усовершенствовать метод для практического применения в реальных эксплуатационных условиях. Особое внимание будет уделено адаптации алгоритма к прогнозированию состояния ПК при изменяющихся внешних факторах и вводу основных характерных неисправностей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Указ Президента Российской Федерации от 31.07.2022 г. № 512 Об утверждении Морской доктрины Российской Федерации. – <http://www.kremlin.ru/acts/bank/48215>
2. Ковито М.А. Обнаружение неисправностей механического оборудования с использованием методов интеллектуального анализа данных // Информатика. Экономика. Управление. – 2022. – Т.1. – № 2. – С. 121–133. – DOI 10.47813/2782-5280-2022-1-2-0121-0133. – EDN OXGUWZ.

3. Хотский Р.Р., Бураков А.В. Разработка и внедрение устройства робастного экспоненциального прогнозирования технического состояния судовых поршневых компрессоров // Морской вестник. – 2024. – № 4(92). – С. 65–69. – EDN QTFZFN.
4. Бураков А.В., Хотский Р.Р., Зуев П.Ю., Абрамов А.И. Разработка систем управления, обеспечивающих диагностику с применением робастного метода для перспективных судовых поршневых компрессоров // Морской вестник. – 2024. – № 3(91). – С. 33–37. – EDN KCVSKY.
5. Mouhamad I, Zhang W. A Deep Neural Network Based UAV-assisted Wireless Network // International Journal of Open Information Technologies. – 2025. – Vol. 13. No. 1. – P. 75–82. – EDN MZDARM.
6. Lozhkin A. G., Maiorov K. N., Bozek P. Convolutional neural networks training for autonomous robotics // Management Systems in Production Engineering. – 2020. – Vol. 29. – No. 1. – P. 75–79. – DOI 10.2478/mspe-2021-0010. – EDN TYCRQO.
7. Akiyama T., Tanaka G. Analysis on Characteristics of Multi-Step Learning Echo State Networks for Nonlinear Time Series Prediction // Proceedings of the International Joint Conference on Neural Networks, Budapest, 14–19 июля 2019. – Budapest, 2019. – P. 8851876. – DOI 10.1109/IJCNN.2019.8851876. – EDN UXZDUT.
8. Тормозов В.С., Золкин А.Л., Василенко К.А. Настройка, обучение и тестирование нейронной сети долгой краткосрочной памяти для задачи распознавания образов // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2020. – № 3. – С. 52–57. – DOI 10.25791/asu.3.2020.1171. – EDN JJWSSG.
9. Глищевич А.В. Как прогнозировать будущее – обзор инструментов для анализа временных рядов. – Планирование, проведение и толкование результатов научных исследований: сб. статей Международ. науч.-практ. конфер. Волгоград, 25 января 2025 г. – Уфа: ООО «Аэтерна», 2025. – С. 28–30. – EDN JHOUZL.
10. Zosso D., Dragomiretskiy K. Variational Mode Decomposition // IEEE Transactions on Signal Processing. – 2014. – Vol. 62 (3). – P. 531–544.
11. Хотский Р.Р., Макианов А.В., Бураков А.В., Тьидыкарь Л.Н. Диагностика неисправностей судовых поршневых компрессоров с использованием преобразования Гильберта–Хуанга // Морской вестник. – 2025. – № 1(93). – С. 71–75. – EDN JVLHQR. ■

ВВЕДЕНИЕ

При проектировании системы погружения и всплытия (далее – П и В) подводной лодки (ПЛ) важное значение имеет расчет времени заполнения цистерн главного балласта (ЦГБ). Время заполнения ЦГБ – один из основных факторов, определяющих время погружения ПЛ, которое задается в тактико-техническом задании на создание ПЛ и является сдаточным параметром, который проверяется на испытаниях.

Время заполнения ЦГБ в общем случае определяется по формуле [1]

$$t = \frac{k \cdot V}{F_{\text{кг}} \cdot \mu \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H}}, \quad (1)$$

где t – время заполнения, с; $k = 1,5$ – поправочный коэффициент, учитывающий переменный гидростатический напор, а также геометрию цистерны; V – расчетный объем ЦГБ; $F_{\text{кг}}$ – площадь проходного сечения кингстонов, м²; μ – коэффициент расхода кингстона; $g = 9,8 \text{ м/с}^2$ – ускорение свободного падения; H – напор (заглубление нижней кромки кингстонов в надводном положении ПЛ), м.

Одним из показателей, определяющих время заполнения ЦГБ, является коэффициент расхода кингстона, который характеризует эффективную площадь проходного сечения кингстона и учитывает местные сопротивления, возникающие при заполнении ЦГБ через кингстон. При отсутствии экспериментальных данных его принимают равным в диапазоне от 0,4 до 0,6 [2]. Учитывая важность данного параметра, были организованы работы по экспериментальному определению фактического коэффициента расхода кингстона двухпозиционного, разработанного для оснащения современных ПЛ.

ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Эксперимент с моделью кингстона двухпозиционного проводился на базе НИЛ ГАК кафедры ГАММА Санкт-Петербургского государственного морского технического университета. В качестве экспериментальной установки использовался аэродинамический стенд (АС), представляющий собой стальную камеру размерами 1,780×1,500×1,050 м, в которой центробежным вентилятором с электроприводом создается избыточное давление до 1150 Па.

Модель кингстона двухпозиционного была изготовлена из дерева в масштабе 1:2,5 по отношению к натуре (рис. 1, а и б) с геометрически подобной проточной частью кингстона. Крышка модели кингстона крепилась на оси, обеспечивающей поворот на угол от 0° до 60°, и имела устройство для фиксации крышки в различных положениях с произвольным шагом.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСХОДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КИНГСТОНА ДВУХПОЗИЦИОННОГО

*Д.Л. Аверьянов, гл. конструктор специализации,
А.В. Сихимбаев, руководитель группы,
АО «СПМБМ «Малахит»,
контакт. тел. +7 (812) 242 8550, +7 (812) 242 1524*

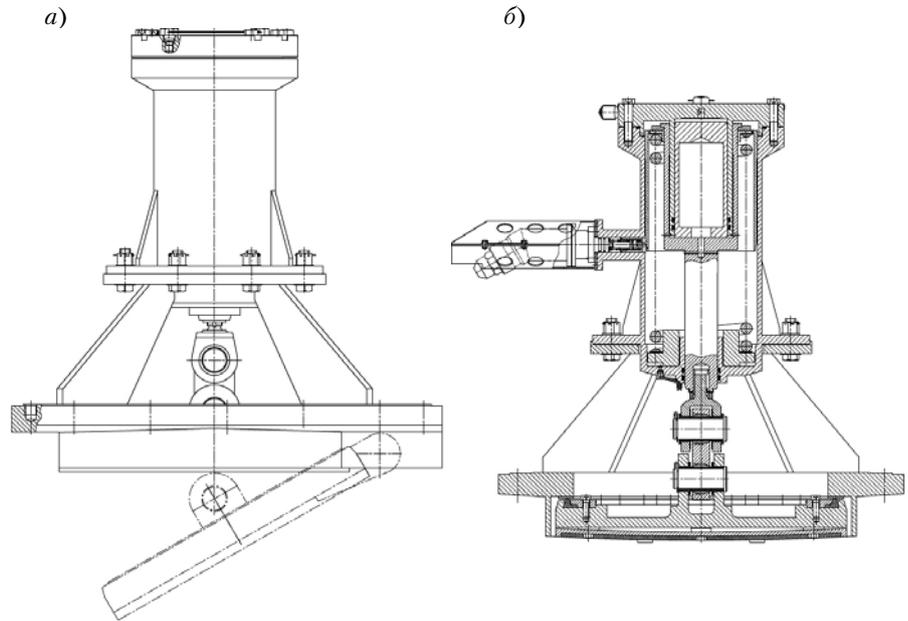


Рис. 1. Кингстон двухпозиционный: а – внешний вид, б – сечение

Экспериментальная установка (рис. 2–4) включала в себя, кроме стенда, модель кингстона, координатное устройство и насадок для измерения поля скорости.

Расход определялся по распределению скорости на срезе патрубка.

В качестве измерительного датчика для определения величины местной скорости была использована скоростная трубка, закрепленная на координатном устройстве. Это устройство

позволяло перемещать датчик вдоль вертикального и горизонтального диаметра патрубка и позиционировать его с точностью 0,5 мм. В процессе измерений датчик перемещался по диаметру с переменным шагом. Основной шаг составлял 20 мм. У краев патрубка и в центре шаг уменьшался до 5 мм. Измерения проводились в 30 точках по диаметру. Это позволило получить погрешность при определении расхода, не превышающую 2% [3, 4].



Рис. 2. Экспериментальный стенд (фото)



Рис. 3. Модель кингстона (фото)

Величина коэффициента расхода через кингстон двухпозиционный в зависимости от угла открытия крышки

№ замера	Угол открытия, град	Коэффициент расхода μ_s
1	0	0
2	5	0,077
3	10	0,232
4	15	0,333
5	20	0,557
6	30	0,566
7	40	0,602
8	50	0,618
9	60	0,621

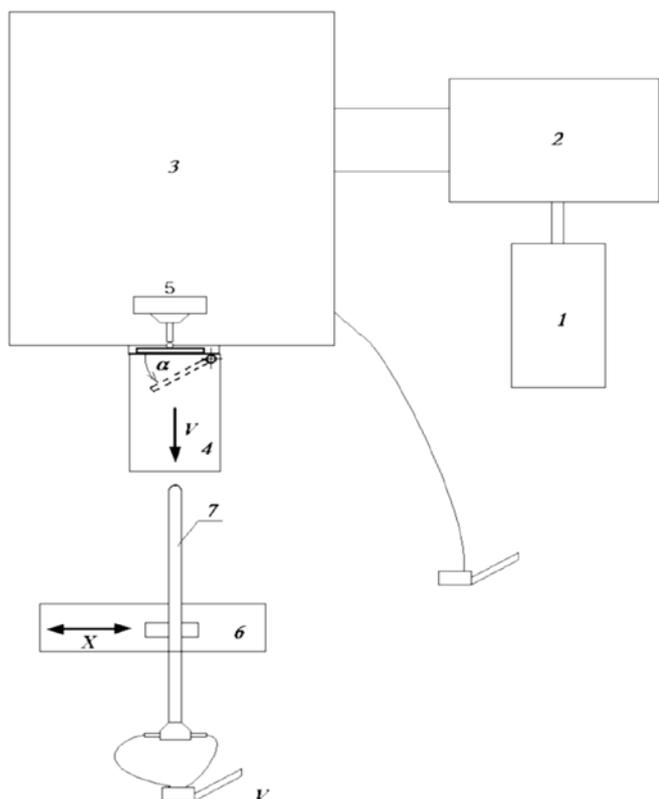


Рис. 4. Схема экспериментальной установки

1 – электродвигатель, 2 – центробежный вентилятор, 3 – воздушная камера, 4 – патрубок, 5 – кингстон с приводом, 6 – координатное устройство, 7 – зонд

Для вычисления местной скорости потока использовалась формула

$$V = A_v \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot k_v \cdot h_v \cdot g}{\rho}}, \quad (2)$$

где V – вектор скорости потока в данной точке, м/с; A_v – тарировочный коэффициент насадка; k_v – коэффициент чувствительности скоростного манометра; h_v – показания скоростного манометра, м; g – ускорение свободного падения, м/с²; ρ – плотность воздуха, кг/м³.

Расход определялся суммированием произведения среднего значения измеренной скорости на площадь кольца, что соответствует вычислению интеграла $Q = \int_s V dS$ по методу трапеций.

При суммировании использовалась формула

$$Q = \frac{\pi}{8} \sum_{i=0}^{n-1} (V_i + V_{i+1}) (D_i^2 - D_{i+1}^2), \quad (3)$$

где Q – величина расхода, м³/с; V – осредненная местная скорость, м/с; D – текущий диаметр, м; n – число точек по радиусу.

Коэффициент расхода через кингстон μ_s при различных углах открытия крышки определялся из (2) после подстановки в формулу площади крышки S_3 , давления в баке P и текущего расхода (3).

Продувки крышки на аэродинамическом стенде на всех режимах проводились в области автомодельности, начинающейся со значений 628 Па. Это позволило использовать полученные значения гидродинамических коэффициентов расхода и момента на больших числах Рейнольдса без пересчета.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Результаты, полученные в ходе эксперимента, приведены в таблице и показаны на рис. 5.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Коэффициент расхода для углов открытия крышки типа захлопки свыше 20° изменяется слабо.

На настоящий момент построены и прошли полный комплекс испытаний несколько подводных лодок, оснащенных в составе системы П и В кингстонами двухпозиционными. Натурные испытания с замером времени погружения ПЛ подтвердили правильность расчетов времени заполнения ЦГБ с учетом экспериментально определенного коэффициента расхода кингстона двухпозиционного.

ЛИТЕРАТУРА

1. РД5Р.5175–83 Система погружения и всплытия. Правила и нормы проектирования.
2. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. – М.: Машиностроение, 1975. – 560 с.
3. Герц Е.В. Динамика пневматических систем машин. – М.: Машиностроение, 1985. – 256 с.
4. Золотов С.С. Аэродинамика судовой вентиляции. – Л.: Судостроение, 1967. – 312 с. ■

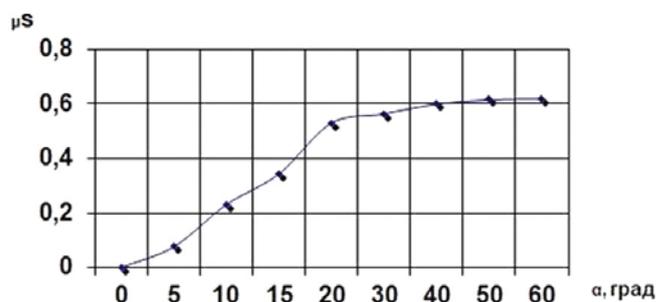


Рис. 5. Величина коэффициента расхода через кингстон в зависимости от угла α открытия крышки

Сохранение технического состояния и восстановление работоспособности судового дизеля во многом зависит от планомерного технического обслуживания и качества проведенного ремонта. В зависимости от времени организации и порядка выполнения работ существуют три вида технического обслуживания судового дизеля:

- *плановое по времени*, т. е. через определенное календарное время эксплуатации судового дизеля; это так называемое предупредительное или страховое техническое обслуживание на случай возникновения незакономерного износа;
- *плановое по наработке*, т. е. после израсходования определенного ресурса дизеля или между заводскими ремонтами; как правило, время проведения данного технического обслуживания назначается по рекомендациям завода изготовителя;
- *по необходимости*, т. е. при возникновении аварийной ситуации от случайных и не предусмотренных условиями эксплуатации нагрузок, когда из-за технического состояния судового дизеля его нельзя использовать по назначению, и дальнейшая его эксплуатация не представляется возможной.

Значимость технического обслуживания повышается в зависимости от интенсивности эксплуатации судового дизеля и от времени между ремонтными работами. Однако выполнение технического обслуживания в необходимое время не всегда оказывается возможным, и это зависит от множества факторов, в том числе:

- условий и продолжительности эксплуатации судового дизеля, которые связаны с режимом работы судна в целом (длительность нахождения судна в рейсе и др.);
- квалификации судового экипажа, которая не всегда позволяет выполнять определенные виды технического обслуживания;
- значения показателей надежности.

Необходимость выполнения технического обслуживания можно определить с помощью средств и правил технического диагностирования, которые позволяют прогнозировать техническое состояние дизеля, оценивать работоспособность и степень износа трущихся деталей цилиндропоршневой группы и кривошипно-шатунного механизма. Средства технической диагностики позволяют качественно и количественно оценить техническое состояние дизеля и прогнозировать наступление его предельного состояния. Наличие современной автоматизированной системы технического прогнозирования можно резко сократить затраты на эксплуатацию и существенно повысить показатели надежности [1].

К важным методам технической диагностики можно отнести определение количества продуктов изнашивания, попадающих в смазочное масло. Систематический контроль характеристики и показателей качества смазочного масла помогает во многих случаях быстро и достоверно обнаруживать дефекты в узлах дизеля (задиры, выкрашивания, износы и др.).

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СУДОВОГО ДИЗЕЛЯ ПО АНАЛИЗУ СМАЗОЧНОГО МАСЛА

Метод контроля технического состояния судового дизеля по анализу смазочного масла основан на обнаружении

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СУДОВОГО ДИЗЕЛЯ ПО АНАЛИЗУ МАСЛА

А. Саламех, канд. техн. наук, доцент,
А. А. Халывкин, канд. техн. наук, доцент,
 Каспийский институт морского и речного транспорта
 им. генерал-адмирала Ф. М. Апраксина – филиал
 ФГБОУ ВО «ВГУВТ им. адм. М. П. Лазарева», г. Астрахань,
Е. М. Хуссам, аспирант, Университет города Латакия, Сирия,
Ю. И. Матвеев, д-р техн. наук, проф.
 ФГБОУ ВО «ВГУВТ им. адм. М. П. Лазарева», г. Нижний Новгород,
 контакт. тел. +7 (962) 753 8692, a.salameh@mail.ru,
 sopromat112@mail.ru, mayhusameddin@gmail.com, matveeveseu@mail.ru

в ходе него продуктов износа, попадающих в циркулирующее масло в виде металлических частичек, размеры которых настолько малы (6–9 мкм), что в масле они находятся во взвешенном состоянии и не задерживаются фильтрующим элементом. Количественное содержание в масле металлических частиц, характеризующих износ тех или иных трущихся пар, возрастает по мере увеличения наработки дизеля. Наличие зависимости концентраций продуктов износа в масле от интенсивности износа соответствующей трущейся пары позволит использовать динамику изменения концентрации характерных металлов в качестве диагностического параметра при проверке технического состояния дизеля [2].

Следует отметить, что состав смазочного масла информирует о работе дизеля, о развивающихся дефектах износа трущихся пар. Причем для применения метода контроля состава смазочного масла необходимо определить, какой кинематической паре дизеля принадлежит находящийся в масле металл (табл. 1).

Наряду с этим надо установить предельную допустимую норму концентрации каждого характерного металла, превышение которой является признаком необходимости замены соответствующей детали.

Из изложенного можно сделать вывод, что система технического обслуживания и ремонта должна учитывать перечисленные выше факторы и иметь периодический плано-предупредительный характер, основной целью при этом является поддержание технического состояния судового дизеля на определенном уровне.

Таблица 1

Характерные дефекты, определяемые по содержанию металлов в масле

Элемент-индикатор	Дефект, характеризуемый появлением элемент-индикатора в масле
Железо	Износ шеек коленчатого вала, гильз цилиндров, подшипников качения, зубьев шестерен
Алюминий	Износ поршня, подшипников Попадание пыли из воздуха
Свинец-медь	Износ и выкрашивание вкладышей подшипников скольжения
Олово-серебро	Износ подшипников скольжения
Хром	Износ поршневых колец, зеркала цилиндра, шеек коленчатого вала
Кремний	Попадание пыли из атмосферы
Никель	Износ подшипников качения, клапанов, зубьев шестерен
Магний	Попадание воды в масло

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ПРОДУКТОВ ИЗНОСА В МАСЛЕ МЕТОДОМ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА

Помимо определения технического состояния судового дизеля по анализу смазочного масла на наличие продуктов износа, необходимо определять скорость изнашивания, а также установить связь между скоростями повышения концентрации продуктов износа и изнашиванием деталей судового дизеля.

Одним из основных методов анализа содержания продуктов износа в смазочном масле и определения скорости изнашивания в зависимости от повышения концентрации данных продуктов является спектральный анализ масла.

Под *спектральным анализом масла* понимается совокупность методов определения его элементного и молекулярного состава, основанных на изучении их спектров электромагнитного излучения. Спектральный анализ масла наиболее информативен для контроля изнашивания.

Преимущество спектрального анализа по сравнению с другими методами заключается в высокой точности и чувствительности к частицам продуктов изнашивания размером 1–20 мкм, а также в том, что практически все изнашивающиеся детали, которые получают смазку, находятся под контролем и диагностируются данным методом. Метод позволяет определить до 25 элементов продуктов изнашивания, а также элементов топлива, охлаждающей жидкости и присадок в масле. *Одним из недостатков метода* является низкая эффективность определения частиц размером свыше 20 мкм [3].

Применение спектрального анализа для определения технического состояния основано на том, что при длительной работе масла в двигателе, скорость изнашивания деталей двигателя характеризуется только концентрацией продуктов износа в масле.

В существующих системах технического диагностирования неисправность судового дизеля определяют по превышению концентрации продуктов износа заранее определенного порогового значения.

При использовании метода технического диагностирования, основанного на контроле содержания примесей в работающем смазочном масле, важное значение имеют скорости изнашивания деталей цилиндропоршневой группы (ЦПГ) и кривошипно-шатунного механизма (КШМ) судового дизеля. Завод-изготовитель при проведении стендовых испытаний оценивает эти скорости для установления ожидаемого ресурса. [4]

Предельные значения концентраций отдельных химических элементов в масле определяют путем предварительного анализа с учетом химического состава конструкционных материалов основных деталей двигателей, нормальной интенсивности их изнашивания и физико-химического состава масла или путем статистической обработки материала при наблюдении за представленной группой однотипных механизмов в одинаковых условиях эксплуатации. Анализ материалов позволяет установить характерные химические элементы, входящие преимущественно в состав отдельных изнашивающихся деталей. По концентрации и химическому составу металлических примесей в масле можно судить об интенсивности износа не только объекта в целом, но и его отдельных деталей или групп [5].

РЕЗУЛЬТАТЫ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА МАСЛА

Для оценки динамики изнашивания трущихся деталей судового дизеля по содержанию продуктов изнашивания в масле в ходе экспериментов был применен метод спектрального анализа масла на спектрофотометрической установке МФС-7М. Метод позволяет определить содержание основных металлов, представляющих интерес для оценки степени износа деталей ЦПГ и КШМ.

Эксперименты проводились на смазочном масле дизеля марки ЯМЗ-238V2, установленного на судне пр. 376 типа «Ярославец». Пробы масла отбирались в соответствующих точках системы смазки двигателя, периодичность и количество взятого для анализа масла позволяли дать достаточную оценку об изнашивании трущихся деталей двигателя.

Данные спектрального анализа смазочного масла в ходе проведенного эксперимента представлены в табл. 2.

Таблица 2
Результаты анализа смазочного масла

№ этапа	Содержание элементов продуктов износа, г						
	Fe	Pb	Ni	Cu	Cr	Al	Sn
1	0,000851	0,0001	0	0,00054	0,00012	0,00075	0,00006
2	0,000876	0,00017	0,00019	0,0006	0,00019	0,0008	0,00008
3	0,00089	0,00022	0,000243	0,00064	0,00024	0,00085	0,000088
4	0,000895	0,00025	0,00028	0,00066	0,00029	0,000875	0,000091
5	0,000897	0,000255	0,00029	0,00067	0,00031	0,00088	0,000092
6	0,000897	0,000256	0,00029	0,000672	0,00031	0,000884	0,000092

На основании полученных данных об изменении концентрации основных металлов в смазочном масле в зависимости от этапа эксперимента (степени износа и размеров зазора в зазорах поршневых колец) построены графические зависимости, приведенные на рис. 1–7. На этих рисунках показаны также доверительные интервалы.

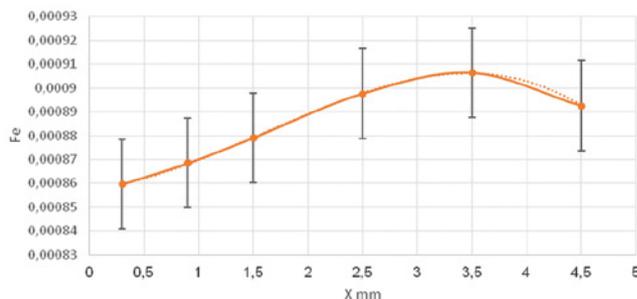


Рис. 1. Зависимость концентрации Fe от степени износа

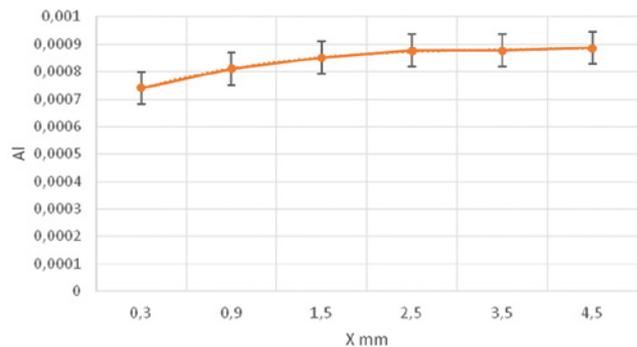


Рис. 2. Зависимость концентрации Al от степени износа ЦПГ

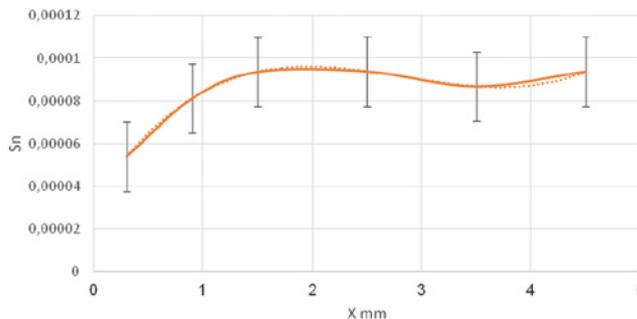


Рис. 3. Зависимость концентрации Sn от степени износа ЦПГ

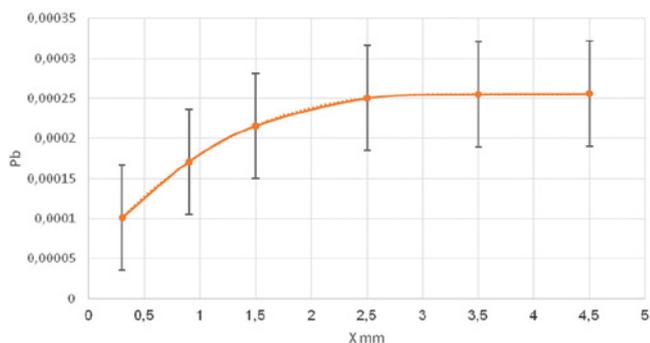


Рис. 4. Зависимость концентрации Pb от степени износа ЦПГ

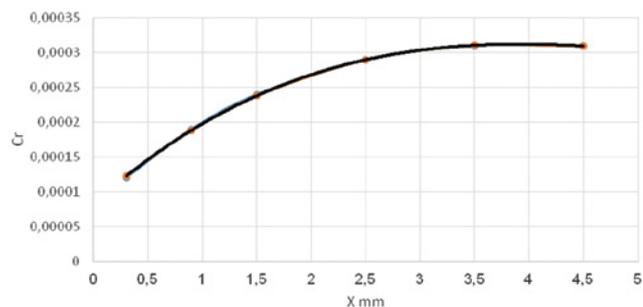


Рис. 5. Зависимость концентрации Cr от степени износа ЦПГ

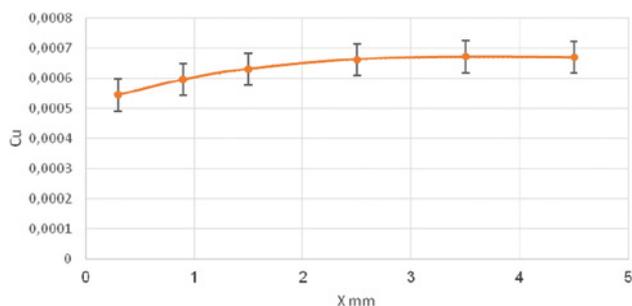


Рис. 6. Зависимость концентрации Si от степени износа ЦПГ

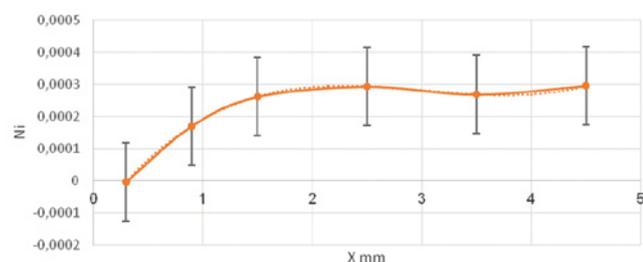


Рис. 7. Зависимость концентрации Ni от степени износа ЦПГ

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате обработки данных эксперимента можно сделать следующие выводы:

1) на первых двух этапах эксперимента наблюдался процесс повышения концентраций основных металлов – Cr, Sn, Ni, которые входят в состав поршневых колец, деталей КШМ. Отмечалось также повышение концентрации Si,

Pb – основных металлов вкладышей подшипников коленчатого вала и шатунов;

2) наблюдалось практически неизменное содержание железа в масле (в пределах погрешности измерения), что свидетельствует о постоянной скорости изнашивания и об относительно малом изнашивании втулки цилиндра;

3) на третьем и последующих этапах эксперимента существенный рост концентраций всех металлов не наблюдался, что свидетельствует об умеренной скорости изнашивания основных деталей двигателя и указывает на то, что аварийного изнашивания деталей ЦПГ не наступит даже при подходе технического состояния двигателя к предельному;

4) малая наработка двигателя на этапах (50 часов), разборка и сборка двигателя после каждого этапа проверки линейных размеров деталей накладывает значительные погрешности на результаты спектрального анализа.

Следует отметить, что выполненный объем экспериментальных исследований не позволяет учитывать влияние на процесс изнашивания эффектов срабатывания присадок и расхода масла на угар по концентрации основных металлов в масле.

Приведенные данные свидетельствуют о наличии устойчивой связи между интенсивностью изменения концентраций основных металлов и физико-химическими показателями работавших масел [6], однако в некоторых случаях эта связь нарушается из-за невозможности соблюдения одинаковых условий эксперимента на данном этапе, это связано с уменьшением объема смазочного масла из-за угара и других причин.

В целом проведенные исследования позволяют утверждать, что результаты спектрального анализа смазочного масла должны быть учтены при оценке технического состояния судового дизеля.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хуссам Е.М., Саламех А. Анализ технического состояния и техническое диагностирование судовых технических средств. – Развитие энергетики водного транспорта, информационных и энергосберегающих технологий: сб. мат-лов I Всеросс. конф., Астрахань, 12–13 декабря 2023 г. – Астрахань: Волжский государственный университет водного транспорта, 2023, с. 180–187.
2. Сергеев К. Анализ масла на содержание продуктов износа как метод диагностики технического состояния судового редуктора // Вестник Астраханского ГТУ. – Сер.: Морская техника и технология. – 2020. – № 1. – С. 13–21. DOI: <https://doi.org/10.24143/2073-1574-2020-1-13-21> (дата обращения: 03.03.2025).
3. Рябко К.А., Соломин А.П. Особенности изменения концентрации примесей в моторном масле при обкатке тепловозных дизелей // Сб. науч. тр. Донецкого института железнодорожного транспорта. – 2021. – № 61. – С. 73–79.
4. Головин С.И. Мониторинг изнашивания деталей дизеля как средство оптимизации системы технического обслуживания: дисс. ... канд. техн. наук, 5.20.03. – М., 2007. – 201 с.
5. Чанкин В.В., Пахомов Э.А. Динамика изменения концентрации примесей в дизельных маслах // Вестник ВНИИЖТа. – М.: ВНИИЖТ. – 1964. – № 6. – С. 31–34.
6. Рискин И.В. Определение скорости изнашивания двигателя внутреннего сгорания по содержанию металлов в масле // Тр. ВНИТИ (Коломна). – 1962. – № 17. – С. 75–86. ■

В настоящее время одним из проблемных вопросов является обеспечение дистанционного, бесперебойного электроснабжения потребителей, удаленных от источников электроэнергии, особенно в чрезвычайных ситуациях, в том числе и военного характера. Особенно актуально обеспечение дистанционного, бесперебойного электроснабжения автономных объектов, размещенных в полевых условиях, при ведении боевых действий.

Как показал анализ предшествующего уровня развития техники, известны такие способы электроснабжения потребителей от электромеханического источника электроэнергии, как, например, от электроагрегата постоянного тока с номинальным напряжением 28,5 В, мощностью до 500 Вт, и непосредственно от блока питания на основе аккумуляторных батарей в сочетании с другими источниками электроэнергии. При этом передача электроэнергии к потребителям осуществляется по силовым кабельным линиям ограниченной длины, поскольку с увеличением ее протяженности возрастают потери напряжения в кабельных линиях.

Кроме того, известны способы электроснабжения удаленных потребителей электроэнергии, основанные на преобразовании низковольтного напряжения переменного тока в высоковольтное напряжение переменного тока, передаче высоковольтного напряжения переменного тока по линии электропередачи, понижении на приемном конце напряжения переменного тока и преобразовании его в низковольтное постоянное напряжение с последующей передачей напряжения постоянного тока потребителю [1–3].

Эти способы имеют ограниченные функциональные возможности и области применения, обусловленные отсутствием возможностей организации бесперебойного электроснабжения потребителей при их нахождении в полевых условиях и удалении на значительные расстояния от основных источников электроэнергии.

Данных недостатков лишен способ электроснабжения низковольтных потребителей электроэнергии постоянного тока, удаленных от источников электроэнергии, который заключается в том, что на передающей стороне низковольтное напряжение постоянного тока от источника электроэнергии, размещаемого в подвижном объекте или на местности в полевых условиях, передают на преобразователь напряжения, который преобразует его в высоковольтное напряжение постоянного тока. Далее высоковольтное напряжение передают по двухпроводной

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДИСТАНЦИОННОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ, УДАЛЕННЫХ ОТ ЕЕ ИСТОЧНИКОВ

В.В. Камлюк, д-р техн. наук, проф. кафедры,
И.О. Прутчиков, д-р техн. наук, проф. кафедры,
А.В. Подгорный, канд. техн. наук, доцент кафедры,
Академия войск национальной гвардии РФ, Санкт-Петербург,
И.В. Гречушкин, канд. техн. наук, начальник отдела
ООО «НПО 122 УМР»,
контакт. тел. +7 (981) 885 4987

кабельной линии из легкого полевого кабеля к низковольтным потребителям электроэнергии, а на приемном конце этой кабельной линии осуществляют обратное преобразование высоковольтного напряжения постоянного тока в низковольтное напряжение постоянного тока, стабилизируют его и поддерживают бесперебойность электроснабжения постоянным током посредством подключения аккумуляторной батареи в буферном режиме при пропадании источника электроэнергии или снижении параметров кабельной линии ниже допустимого предела [4].

При несомненных достоинствах данный способ имеет низкую надежность электроснабжения, ограниченные функциональные возможности и область применения из-за отсутствия возможностей оперативной подачи потребителям электроэнергии требуемого вида, например, напряжения постоянного тока и/или переменного тока, и качества, особенно в местах, в которых для организации бесперебойного электроснабжения требуется оперативная прокладка полевого кабеля, например, в труднопроходимых местах или в местах ведения боевых действий, и дистанционное управление процессом обеспечения электрической энергией потребителей.

В целях повышения надежности электроснабжения, расширения его функциональных возможностей и области применения предлагается новый способ дистанционного электроснабжения потребителей электроэнергии, удаленных от ее источников. Сущность предлагаемого способа заключается в следующем.

На передающей стороне электроэнергию вырабатывают с использованием автономного источника, который может быть выполнен, например, в виде двигательно-генераторной установки, в которой двигатель внутреннего сгорания (ДВС) предназначен для преобразования энергии сжига-

ния топлива в механическую энергию и в своем составе имеет измерительные датчики параметров, определяющих режим его работы, например, датчики тока, напряжения и частоты, а синхронный генератор предназначен для преобразования механической энергии, которая поступает от ДВС посредством муфты, установленной на валах ДВС и синхронного генератора, в электрическую энергию, и также имеет в своем составе измерительные датчики, определяющие режим его работы, например, датчики тока, напряжения и частоты. Для обеспечения бесперебойности электроснабжения к дизель-генераторной установке может быть подключена в буферном режиме аккумуляторная батарея, которая предназначена для аккумуляции электрической энергии. В ее составе есть измерительные датчики, определяющие режим ее работы, например, датчики тока, напряжения, и может быть выполнена на базе известных стартерных батарей.

Электрическую энергию, полученную от автономного источника электроэнергии, преобразуют до требуемого для передачи вида, например, в напряжение постоянного или переменного тока, с использованием преобразователя напряжения, который может быть выполнен на базе известных статических преобразователей. При этом преобразование электроэнергии до требуемого для передачи вида осуществляют, исходя из требований оптимальной передачи электроэнергии.

Преобразованную электроэнергию передают по предварительно размотанному полемому кабелю с использованием мобильного средства доставки оборудования. При этом для размотки полевого кабеля используют тяговое усилие, которое создается мобильным средством доставки оборудования при его перемещении. Учитывая данное обстоятельство, мобильное средство доставки оборудования может быть

выполнено, например, в виде известных транспортных средств: машины, трактора [5] или в виде других средств: мобильного робототехнического комплекса [6], беспилотного летательного аппарата [7], снаряда, ракеты. Перемещение мобильного средства доставки оборудования может быть выполнено водителем или оператором с использованием устройств управления, в том числе и дистанционного пульта управления. В случае использования мобильного робототехнического комплекса или беспилотного летательного аппарата в качестве мобильного средства доставки оборудования дистанционное управление его движением может быть осуществлено с использованием известных средств [8,9]. В частных случаях функции водителя и оператора могут быть совмещены.

Полевой кабель может быть выполнен с несущим тросом на основе известных средств [10,11]. Данные кабели прикрепляют к поверхности или конструкции устройств при помощи крепежных приспособлений, используя несущий трос и перемычку как места крепления, а по токопроводящим жилам передают электроэнергию от источника к потребителю. Кабель может быть размотан либо из устройств его хранения, например, из катушки, либо бескатушечным способом при нахождении кабеля непосредственно в мобильном средстве доставки оборудования.

На приемной стороне размотанного полевого кабеля преобразуют и стабилизируют напряжение до требуемого для потребления вида, осуществляют его прием потребителями и обеспечивают их бесперебойное электроснабжение с использованием предварительно доставленного к месту нахождения съемного блока преобразования и стабилизации напряжения. Съемный блок преобразования и стабилизации напряжения доставляют одновременно с размоткой полевого кабеля с использованием мобильного средства доставки оборудования. При этом в съемный блок преобразования и стабилизации напряжения может входить преобразователь напряжения, устройство коммутации и аккумуляторная батарея, смонтированные конструктивно в едином корпусе.

Блоки преобразования и стабилизации напряжения как на стороне источника, так и на стороне потребителей электроэнергии, могут быть выполнены на базе элементов силовой электроники и микропроцессорной техники аналогично выпускаемым в настоящее время общепромышленным преобразователям частоты и напряжения систем гарантированного

электропитания, частотно-регулируемого электропривода, средств электротранспорта, связи и управления, а также специальным преобразователям электроэнергии из состава существующих образцов военной техники [12].

Управление дистанционным электроснабжением и движение мобильного средства доставки оборудования при необходимости осуществляют с использованием средств управления и связи.

Средства управления могут быть выполнены, например, на основе компьютера (процессора), дистанционного пульта управления и других известных средств. Возможности дистанционного управления электроснабжением могут быть реализованы известными способами и средствами [13].

Координация действий операторов на передающей и приемной стороне может быть осуществлена с использованием средств дальней связи.

Реализация предлагаемого способа схематично представлена на рис. 1, где 1 – устройство управления, 2 – автономный источник электроэнергии, 3 – преобразователь напряжения, 4 – устройство для хранения полевого кабеля, 5 – мобильное средство доставки оборудования, 6 – съемный блок преобразования и стабилизации напряжения, 7 – полевой кабель.

На передающей стороне водитель (оператор) мобильного средства доставки оборудования 5, например, выполненного в виде мобильного робототехнического комплекса, предварительно устанавливает на него съемный блок преобразования и стабилизации напряжения 6, которое включает в свой состав преобразователь напряжения, устройство коммутации и аккумуля-

торную батарею, смонтированные в едином корпусе, прикрепляет к его корпусу полевую кабель 7, а затем разматывает этот кабель из устройства его хранения 4, например, выполненного в виде катушки, путем перемещения мобильного средства доставки оборудования 5 до места нахождения потребителей электроэнергии.

При этом движение мобильного средства доставки оборудования 5 осуществляет водитель, а при необходимости – оператор с использованием устройства управления 1. По прибытии мобильного средства доставки оборудования 5 в назначенное место водитель (оператор) демонтирует и выгружает из него съемный блок преобразования и стабилизации напряжения 6, открепляет от его корпуса полевую кабель 7 и электрически соединяет этот кабель с потребителями электрической энергии через съемный блок преобразования и стабилизации напряжения 6. Затем водитель (оператор) мобильного средства доставки оборудования 5 сообщает оператору передающей стороны с использованием средств дальней связи (на рисунке не показаны) о готовности к приему потребителями электроэнергии.

После приема сообщения оператор передающей стороны приводит в действие устройство управления 1, по сигналам которого вырабатывают электроэнергию с использованием автономного источника электроэнергии 2, например, выполненного в виде дизель-генераторной установки, преобразуют ее до требуемого для передачи вида, например, в напряжение постоянного или переменного тока с использованием преобразователя напряжения 3, передают электроэнергию по размотанному полевому кабелю 7, пре-

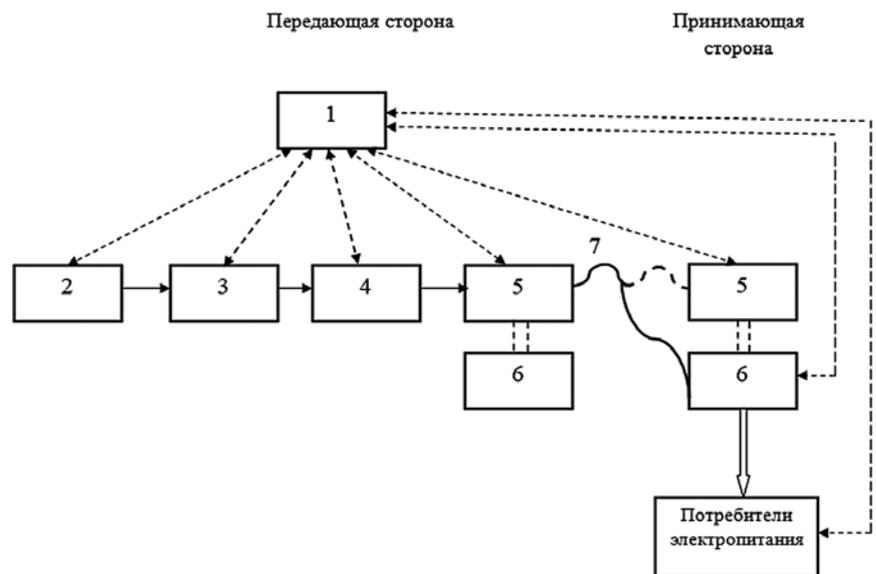


Рис. 1. Реализация способа дистанционного электроснабжения потребителей электроэнергией, удаленных от источников электроэнергии

образуют и стабилизируют напряжение до требуемого для потребления вида и обеспечивают их бесперебойное электроснабжение с использованием съемного блока б.

Отличительной особенностью предложенного способа является наличие новых взаимосвязанных действий, а именно:

1) выработка электроэнергии с использованием автономного источника, преобразование ее до требуемого для передачи вида, например, в напряжение постоянного или переменного тока;

2) передача электроэнергии к потребителям по предварительно размотанному полевому кабелю, преобразование и стабилизация напряжения до требуемого для потребления вида, его прием потребителями и обеспечение их бесперебойного электроснабжения с использованием предварительно доставленного к месту их нахождения съемного блока преобразования и стабилизации напряжения, при этом размотка полевого кабеля и доставка съемного блока преобразования электроэнергии осуществляются с использованием мобильного средства доставки оборудования;

3) управление дистанционным электроснабжением, а при необходимости и движением мобильного средства доставки оборудования осуществляются с использованием средств управления и связи.

Данная совокупность взаимосвязанных действий позволит обеспечить оперативную подачу потребителям электроэнергии требуемого вида, например напряжения постоянного и/или переменного тока, и качество, особенно в местах, в которых для организации бесперебойного электроснабжения потребителей требуется оперативная прокладка полевого кабеля, например, в труднопроходимых местах или в местах ведения боевых действий.

Кроме того, дистанционное управление процессом электроснабжения, в том числе движением мобильного средства доставки оборудования, позволяет автоматизировать и роботизировать процесс электроснабжения.

Таким образом, полученные технические решения, в том числе автоматизация и роботизация процесса элект-

роснабжения потребителей, удаленных от источников электроэнергии, способствуют повышению его надежности, расширению функциональных возможностей и области применения способа, что в целом приводит к повышению эффективности электроснабжения электроэнергией удаленных потребителей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Костиков В. Г., Никитин И. Е. Источники электропитания высокого напряжения РЭА. – М.: Радио и связь, 1986. – С. 10–22, 100–125.
 2. Патент 2027277, Российская Федерация, МПК H02J 3/02, H02 M 5/40 Устройство для электроснабжения подводного аппарата с судна-носителя/Кувшинов Г. Е., Коршунов В. Н. и др.; патентообладатель – «Дальневосточный ГТУ им. В. В. Куйбышева» (RU), № 4929186/07, заявл. 18.04.1991; опубл. 20.01.1995.
 3. Авт. св. «Устройство для поддержания постоянной скорости вращения генератора переменного тока»/Устинский А. П.; заявитель – Устинский А. П. – № 642273, заявл. 27.10.1959.
 4. Патент 2337450, Российская Федерация, МПК H02J 1/06. Способ электроснабжения низковольтных потребителей электроэнергии постоянного тока, удаленных от источников электроэнергии./Вергелис Н. И. и др. Заявитель и патентообладатель – ФГУ «16 Центральный научно-исследовательский испытательный институт Министерства обороны РФ им. маршала войска А. И. Белова» (RU), № 2007141253/09; заявл. 09.11.2007; опубл. 27.10.2008//Бюлл. № 30.
 5. Устройство для размотки кабеля в бухтах//Онлайн журнал «Толковый электрик». – [Электронный ресурс] URL: <http://electric-tolk.ru/razmotka-kabelya-s-barabana-buxty/?ysclid=Izqtvft4hc476154846> (Дата обращения: 20.02.2025 г.).
 6. Патент 2716050, Российская Федерация, МПК B251 5/00, F41H 7/00. Мобильный робототехнический комплекс/Виттенберг С. А., Гречушкин И. В. и др. Заявитель и патентообладатель – Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего образования «Военная академия материально-технического обеспечения им. генерала армии А. В. Хрулева» (RU), № 2018135013; заявл. 03.10.2018; опубл. 05.03.2020//Бюлл. № 7.
 7. Патент 2776617, Российская Федерация, МПК B64D 9/00, B64C 39/00, B64C 1/22. Транспортный грузовой беспилотный летательный аппарат/Мальшиев В. Н., Мальшиев А. В. и др. Патенто-
- обладатель – ООО «Аэрокон» (RU), № 2021139938, заявл. 30.12.2021; опубл. 22.07.2022.//Бюлл. № 21.
8. Патент 2714785, Российская Федерация, МПК B251 5/00, F41H 7/00. Способ доставки грузов в места ведения боевых действий и система для его осуществления/Гречушкин И. В., Прутчиков И. О. и др. Заявитель и патентообладатель – Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего образования «Военная академия материально-технического обеспечения им. генерала армии А. В. Хрулева» (RU), № 2019115494; заявл. 21.05.2019; опубл. 19.02.2020.//Бюлл. № 5.
 9. Патент 2749540, Российская Федерация, МПК B25J 5/00, F41H 11/00, F41H 13/00. Способ проведения технической разведки поврежденных образцов вооружения и военной техники/Гречушкин И. В., Прутчиков И. О., Репин А. В. Заявитель и патентообладатель – Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего образования «Военная академия материально-технического обеспечения им. генерала армии А. В. Хрулева» (RU), № 2020133606; заявл. 12.10.2020; опубл. 15.06.2021.//Бюлл. № 17.
 10. Патент 83609, Российская Федерация, МПК H01 B 11/02, F41H 7/00. Кабель малопарный в монолитной оболочке с несущим тросом/Ключников В. Ф., Банинов В. В. и др. Патентообладатель – АО «Самарская кабельная линия» (RU), № 2018100750; заявл. 10.01.2018; опубл. 27.09.2018.//Бюлл. № 27.
 11. Патент 2476944, Российская Федерация, МПК H01 OOO «Научно-производственное предприятие «Информсистема» (RU), № 2011139064/07; заявл. 23.09.2011; опубл. 27.02.2013.//Бюлл. № 6.
 12. Патент 2791376, Российская Федерация, МПК F02 B 63/04, F02 D 29/06. Энергоустановка/Камлюк В. В., Гречушкин И. В., Прутчиков И. О. Заявитель и патентообладатель – ООО «Научно-производственное объединение 122 Управление монтажных работ» (RU), № 2022132767; заявл. 13.12.2022; опубл. 07.03.2023.//Бюлл. № 7.
 13. Патент 2797328, Российская Федерация, МПК F02 B 63/04, F02 D 29/06. Способ работы силовой энергоустановки на электропотребителей и устройство для его осуществления/Камлюк В. В., Гречушкин И. В., Прутчиков И. О. Заявитель и патентообладатель – ООО «Научно-производственное объединение 122 Управление монтажных работ» (RU), № 2022134836; заявл. 27.12.2022; опубл. 02.06.2023.//Бюлл. № 16. ■

Аейдвудное устройство судна предназначено для вывода за пределы корпуса гребного вала с расположенным на нем гребным винтом (движителем). Гребной вал входит в систему валовой линии валопровода. Он является конечной частью валопровода речного или морского судна и самым нагружаемым внешними нагрузками [1–3]. Общая длина такой валовой линии может достигать более 10 м.

В состав дейдвудного устройства входят [4,5]: дейдвудная труба, жестко соединенная с корпусом судна и служащая для размещения самих дейдвудных подшипников; гребной вал с облицовочным покрытием из бронзы или нержавеющей стали; уплотнения гребного вала; система охлаждения и смазки самих дейдвудных подшипников.

Дейдвудные подшипники по своим конструктивным и технологическим особенностям представляют собой подшипники скольжения, на которые опирается гребной вал через облицовочное покрытие. Они представляют собой цилиндрическую втулку, внутри которой располагается антифрикционный материал (баббит, чугун, бакаут, капрон, капролон, углепластик ФУТ, резина, полиуретан и т.д.). В зависимости от применяемого антифрикционного материала дейдвудные подшипники подразделяются на два вида: металлические и неметаллические [6]. В настоящее время широкое применение в отечественном судостроении находят именно дейдвудные подшипники из неметаллического антифрикционного материала, а в качестве смазки и в системе охлаждения дейдвудного устройства гребного вала используется забортная вода (речная или морская).

Для прочного соединения дейдвудные подшипники могут быть использованы как во фланцевом, так и без фланцевого исполнения. Внешняя нагрузка в виде удельного давления q , которая действует на нижнюю часть дейдвудного подшипника, определяется согласно нижеприведенному выражению [4,7]:

$$q = \frac{R}{dL} \text{ Н/м}, \quad (1)$$

где R – возникающая реакция в шарнирно-подвижной опоре, моделирующая в расчетной схеме сам дейдвудный подшипник; d – внутренний диаметр дейдвудного подшипника; L – общая длина дейдвудного подшипника.

Как правило, оценить рабочее состояние дейдвудных подшипников в процессе эксплуатации невозможно, только после установки самого судна в док. Поэтому задать высокую надежность и прочность дейдвудных подшипников и

ТЕХНОЛОГИЯ РЕМОНТА ДЕЙДВУДНЫХ ПОДШИПНИКОВ ВАЛОПРОВОДОВ СУДОВ

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

В.В. Бондаренко, гл. инженер ООО «Река 21»,

В.В. Куц, д-р техн. наук, проф.,

ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет»,

Ю.И. Матвеев, д-р техн. наук, проф.,

ФГБОУ ВО «ВГУВТ им. адм. М.П. Лазарева», г. Нижний Новгород

sopromat112@mail.ru, reka21@mail.ru, kuc-vadim@yandex.ru, matveevseu@mail.ru

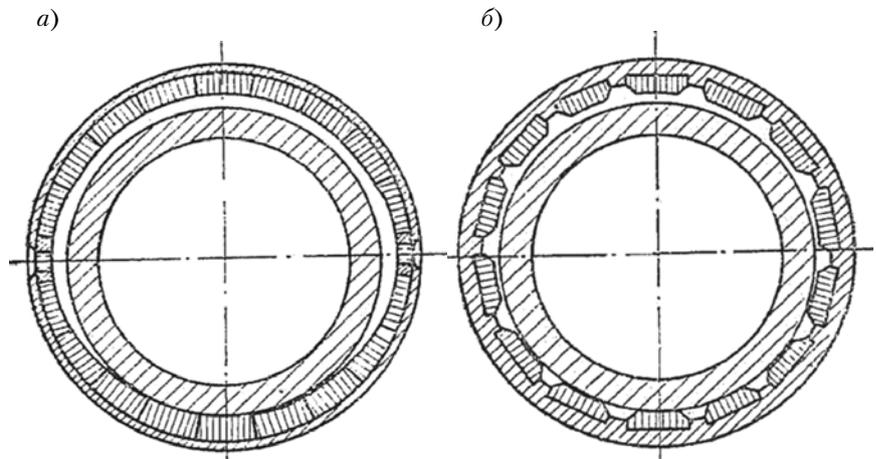


Рис. 1. Схемы набора вкладышей внутри дейдвудных подшипников: а – по схеме «бочка»; б – по схеме «ласточкин хвост»

всего валопровода необходимо в процессе только проектирования [8, 9].

В большинстве случаев судовой валопровод в расчетных схемах рассматривается как многопролетная неразрезная балка, которая опирается на защемленную и шарнирно-подвижные опоры, и нагруженная сосредоточенной нагрузкой на конце и распределенной нагрузкой по всей длине самой балки. Шарнирно-подвижные опоры моделируют дейдвудные и промежуточные подшипники. Именно при статическом расчете неразрезных балок проводят проверку подшипников на величину среднего удельного давления (1). Среднее удельное давление, действующее на нижнюю часть дейдвудного подшипника, определяют по величинам опорных реакций R на валы от весовой нагрузки.

Общая длина дейдвудных подшипников определяется относительно диаметра гребного вала $d_{гв}$ судового валопровода согласно выражению

$$L = (1...4)d_{гв}. \quad (2)$$

Из-за численного ограничения действующей допускаемой внешней удельной нагрузки (q – не более 0,3 МПа) для используемых в настоящее время антифрикционных материалов общая длина дейдвудных подшипников получается значительных размеров, что предотвра-

щает ускоренный износ и образование дефектов в зоне дейдвудного устройства и гребного вала [10, 11]. Поэтому на многих судах (речных или морских) общая длина кормовых дейдвудных подшипников превышает четырехкратно диаметр самого гребного вала (2).

Антифрикционный материал при диаметре гребного вала с учетом облицовочного покрытия свыше 250 мм устанавливается в дейдвудном подшипнике в виде вкладышей по схеме «бочка» или «ласточкин хвост» [4]. Общий вид расположения вкладышей по вышеуказанным схемам представлен на рис. 1. Как отмечается в работе [4], набор по схеме «ласточкин хвост» более прочнее набора по схеме «бочка».

Как видно из рис. 1, вкладыши располагаются в специальных пазах типа «ласточкин хвост», сечение которых носит трапецеидальную форму. Пространство между вкладышами используется для подвода воды, а также абразивных частиц (песок, ил), заносимых водой. Изготовление, монтаж и ремонт подобных дейдвудных подшипников гребных валов сложен и требует применения специального станочного оборудования. Особенно это касается обработки пазов после проведения сварочных (наплавочных) работ с использованием ручной, полуавтоматической или автоматической сварки.

а)



б)



Рис. 2. Дейдвудный подшипник ледокола

На рис. 2 представлен общий вид кормовых дейдвудных подшипников ледокола с вкладышами из антифрикционного материала капролон [6–8]. Материал цилиндрической втулки – латунь. Как видно и рис. 2, б, все вкладыши располагаются в пазах в виде «ласточкина хвоста».

Основные размеры, характеризующие пазы типа «ласточкин хвост», – это ширина нижнего основания A , глубина (высота) H и углы наклона α боковых сторон паза, как показано на рис. 3 [12, 13].

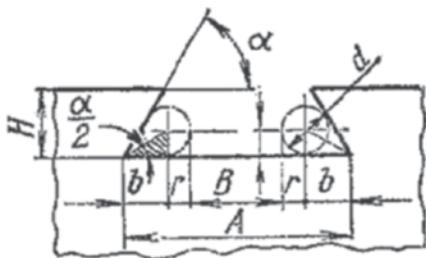


Рис. 3. Сечения паза «ласточкин хвост» с расположенными калиброванными роликами диаметром d

Особыми требованиями, предъявляемыми к точности обработки пазов типа «ласточкин хвост», являются обеспечение именно одинаковых углов α , неизменной глубины паза по всей длине втулки (рис. 2) и параллельности боковым сторонам ее согласно техническим условиям рабочего чертежа дейдвудного подшипника судового валопровода.

Вышеуказанные требования могут быть свободно выдержаны правильным выбором режима резания, используемых режущих инструментов, применением вспомогательных станочных приспособлений и оправок, правильного расположения обрабатываемой втулки на станке [12, 13]. Именно качество работы вкладышей и самого дейдвудного подшипника в целом зависит от точности угловых размеров фрезеруемых пазов.

Одним из нормативных и регламентированных документов, диктующих размеры типа «ласточкин хвост», является ОСТ 5.5154–74 «Подшипники скольжения и сальники гребных валов. Типы, основные размеры и технические требования» [14].

ТЕХНОЛОГИЯ ФРЕЗЕРОВАНИЯ ВКЛАДЫШЕЙ ДЕЙДВУДНЫХ ПОДШИПНИКОВ

Изготовление самих вкладышей в процессе ремонта дейдвудных подшипников на сегодняшний день – несложный технологический процесс, который выполняется на стандартных режущих станках (например, строгальный станок) с использованием специальных приспособлений и режущих инструментов. Одно такое приспособление представлено на рис. 4, которое может устанавливаться на рабочем столе горизонтально-фрезерного станка или шпингге (поперечно-строгальный станок). Данное станочное приспособление позволяет выполнить фрезеровку боковых поверхностей вкладышей под определенным углом.

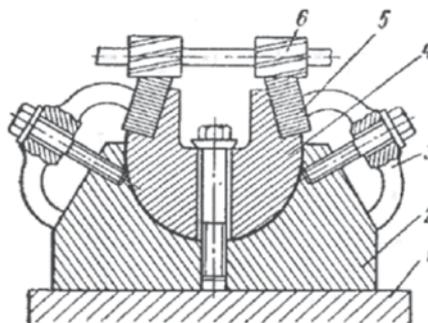


Рис. 4. Фрезерования боковых поверхностей вкладышей

1 – стол фрезерного станка; 2 – корпус приспособления; 3 – скоба; 4 – кондуктор; 5 – вкладыш; 6 – фреза

Помимо вспомогательных приспособлений для станочного оборудования, для изготовления вкладышей и пазов используют специальные (фа-

сонные) режущие инструменты в виде фасонных резцов и фрез. По сравнению с обычными стандартными режущими инструментами фасонные обеспечивают [12, 13, 16]: точность размеров обрабатываемых деталей, так как они в основном зависят от точности изготовления используемого режущего инструмента; полную идентичность формы; высокую производительность благодаря большой экономии машинного времени, связанной с сокращением пути резания (операций); вспомогательного времени, требуемого на установку и наладку режущего инструмента при его смене; меньшее количество брака.

Так, в работах [1, 4] представлен специальный режущий инструмент, который используется при изготовлении пазов в виде «ласточкина хвоста» и состоит из комплекта фрез (рис. 5). Он состоит из фрез 1 и 2, закрепляемых контргайкой 3, и оправки 4.

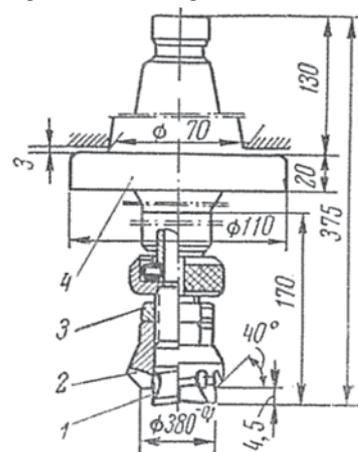


Рис. 5. Общий вид специального режущего инструмента

Вышеприведенный режущий инструмент позволяет обрабатывать пазы на вертикально-фрезерном станке без дополнительных слесарных операций, таких как пригонка и припиловка, а также исключает разметку.

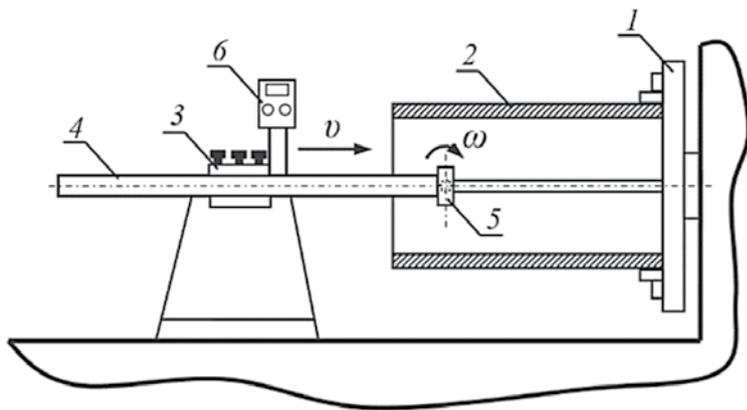


Рис. 6. Общий вид обработки нарезания пазов на токарно-винторезном станке

Довольно непростую задачу представляет собой нарезание пазов в виде «ласточкина хвоста» по диаметру внутри корпуса дейдвудного подшипника большой длины, что подразумевает использование вспомогательных приспособлений, инструментов или оправок.

ТЕХНОЛОГИЯ ФРЕЗЕРОВАНИЯ ПАЗОВ ДЕЙДВУДНЫХ ПОДШИПНИКОВ

В данной работе предлагается технология фрезерования (нарезания) пазов трапецеидальной формы внутри втулки дейдвудного подшипника на токарно-винторезном станке с использованием специально разработанной оправки с регулируемой частотой вращения режущего инструмента (рис. 6).

В патроне 1 токарно-винторезного станка (например, ДИП-500) располагается сама втулка подшипника 2 (см. рис. 6). В данном случае втулка не вращается в процессе обработки, а устанавливается в нужном положении по одной оси с режущим элементом (фрезой) 5, так как получаемые пазы располагаются с шагом по диаметру внутри самой втулки. В резцедержатель 3 устанавливается станина 4 оправки. На конце самой станины через специальный кронштейн устанавливается электрошпиндель 5, в котором совмещены вал, электрический двигатель и патрон для зажима режущего инструмента. Установка оправки в резцедержатель позволяет задать движение со скоростью v по всей длине обрабатываемой втулки 2. Охлаждение шпинделей принудительное - жидкостное или воздушное. Электрошпиндель подключается к преобразователю частот 6, посредством

которого двигатель раскручивается до необходимой частоты ω (рис. 6) и, соответственно, нужных оборотов вала. В патрон электрошпинделя может устанавливаться как фасонная фреза (рис. 4), так и стандартные, например, фреза согласно ГОСТ 29118–91 «Фрезы для обработки пазов типа «ласточкин хвост». Типы и размеры» [15,16]. Станина, обладая достаточной жесткостью и длиной, позволяет изготовлять пазы путем реза внутри втулки подшипника диаметром d свыше 250 мм и длиной L (2) свыше 1000 мм. Предлагаемый механический способ обработки может быть свободно использован для нарезания фрезой внутренних пазов высотой t и шириной B , расположенных по диаметру втулок самих дейдвудных подшипников.

Следует отметить, что в процессе фрезерования пазов втулка подшипника 2 должна быть надежно закреплена в патроне самого станка. Закрепление должно быть достаточно прочным и жестким, чтобы противостоять тем механическим силам резания, которые возникают при обработке самой втулки (см. рис. 6).

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ФРЕЗЕРОВАНИЯ

Первоначально обработка паза типа «ласточкин хвост» выполняется концевой или дисковой фрезой, фрезеруется прямоугольный паз общей шириной B и глубиной H (см. рис. 3), причем для дальнейшей обработки на станке необходимо оставить припуск по основанию паза A в диапазоне 1...2 мм, т. е. $t_1 = t - (1...2)$ мм, и по ширине паза [2]:

$$B = A - \frac{t}{\text{tg}\alpha} - (1...2) \text{ мм}, \quad (3)$$

где α – угол скоса боковых стенок трапецеидального паза (рис. 3); A – ширина фрезерования (глубина уступа по основанию), мм.

Далее концевой одноугловой фрезой поочередно обрабатывают боковые стороны, выдерживая размер A .

Угловые фрезы диаметром в диапазоне $D = 10...25$ мм, как правило, изготавливают цельными, диаметром в диапазоне $D = 40...80$ мм – насадными. Следует отметить, что диаметр насадных фрез выбирают из условия, что в работе по обработке клинового паза будет участвовать не более 0,75 ширины фрезы и не более 0,3 ее диаметра [15, 16].

Подача на зуб S_z фрезы может быть вычислена по нижеприведенному выражению в [15,16]:

$$S_z = \frac{0,03D^{0,8}K_{M2}K_{H3}K_{\alpha}}{B^{1,43}} \text{ мм/зуб}, \quad (4)$$

где D – диаметр самой фрезы, мм; K_{M2} – параметр, который характеризует материал втулки 2 (см. рис. 6): для сталей $K_{M2} = 1,0$, для чугуна $K_{M2} = 1,3$; K_{H3} – параметр, характеризующий твердость материала самой втулки 2:

$$K_{H3} = \frac{190}{HB}, \quad (5)$$

K – параметр, характеризующий угол скоса паза «ласточкиного хвоста» α , град: для $D \leq 25$ мм $K_{\alpha} = 0,032\alpha^{1,35}$; для $D > 25$ мм $K_{\alpha} = 0,012\alpha^{1,13}$ [16].

В целом подача на зуб при фрезеровании представляет собой расстояние, которое проходит сама фреза за время работы одного зуба.

Скорость фрезерования паза определяется по формуле [16]

$$V = \frac{C_{V2}D^{z2}K_{H4}K_tK_{T2}}{S_z^{y2}}, \text{ м/мин}, \quad (6)$$

где K_{H4} – параметр, характеризующий твердость материала втулки:

$$K_{H4} = \frac{C_{H3}}{HB^{n3}}; \quad (7)$$

K_t – параметр, характеризующий саму высоту уступа t паза:

$$K_t = \frac{C_t}{t^x} \text{ мм}; \quad (8)$$

K_{T2} – параметр, характеризующий выbranную стойкость фрезы T при обработке на станке:

$$K_{T2} = \frac{C_T}{T^m} \text{ мин}. \quad (9)$$

Таблица 1

Численные значения параметров выражения (6)

Материал втулки дейдвудного подшипника	C_{V2}	z_2	y_2	C_{H3}	n_3	C_t	x	C_T	m
Сталь	4,60	0,31	0,22	1140	1,32	1,30	0,27	6,3	0,45
Чугун	4,54	0,40	0,19	1234	1,31	1,71	0,49	3,0	0,27

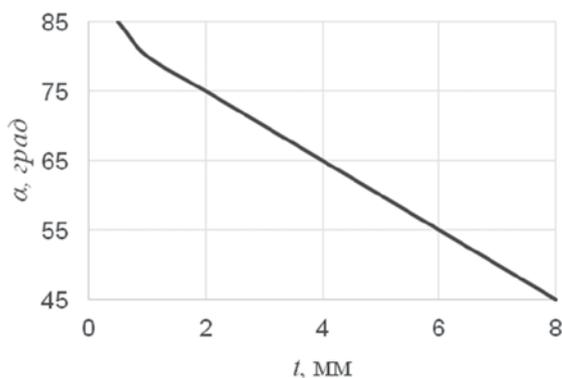


Рис. 7. График $\alpha = f(t)$

Численные значения параметров C_{v2} , $z_2, y_2, C_{H3}, n_3, C_r, x, C_T, t$ в зависимости от обрабатываемого материала, входящие в выражение (6), приведены в табл. 1.

Наиболее часто встречающиеся соотношения величин t и α приведены на рис. 7 в виде графика.

Как отмечается в работе [12], с учетом тяжелых условий и режимов резания при фрезеровании внутренних пазов типа «ласточкин хвост» угловыми фрезами подачу (2) на станке для них несколько занижают. А это позволяет достичь точной обработки. Так, например, при обработке детали (втулки) из стали подача не должна превышать 0,05 мм/зуб, а при обработке детали (втулки) из чугуна – 0,15 мм/зуб. Скорость резания принимают в пределах 20 – 25 м/мин.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предлагаемая технология позволяет качественно нарезать пазы внутри дейдвудного подшипника во время их изготовления или ремонта в соответствии нормативной и регламентирующей документацией, используя для этого стандартный станочный парк самого завода. Потребность в приобретении дорогого станочного оборудования отсутствует. Разработанная оправка позволяет изготовить пазы в виде «ласточкин хвост» по всей длине корпуса дейдвудного подшипника с использованием стандартных и фасонных резцов для установки вкладышей из разного антифрикционного материала [17–19]. В зависимости от материала самого кор-

пуса можно регулировать параметры фрезерования.

Использование предлагаемой технологии фрезерования на токарно-винторезном дейдвудных подшипниках требует проведения ряд экспериментальных исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рубин М.Б., Бахарева В.Е. Подшипники в судовой технике: Справ. – Л.: Судостроение, 1987. – 344 с.
2. Румб В.К. Основы проектирования и расчета судового валопровода: учеб. пособие. – СПб.: Изд. центр СПбГМТУ, 1996. – 106 с.
3. Румб В.К. Прогнозирование долговечности дейдвудных подшипников // Морской вестник. – 2008. – № 2 (26). – С. 30–31.
4. Балацкий Л.Т., Бегагоен Т.Н. Эксплуатация и ремонт дейдвудных устройств морских судов. – М.: Транспорт, 1975. – 160 с.
5. Ручкин Ю.Н. Судовые энергетические установки и их элементы: учеб. пособие. – Н. Новгород: Изд-во Нижегород. ГТУ, 2008. – 158 с.
6. Соков Е.В. Оптимизация состава и конструкции дейдвудных подшипников из композиции ФУТ-7 // Вопросы материаловедения. – 2002. – № 3 (31). – С. 92–104.
7. Халывкин А.А., Макеев С.А., Мамонтов В.А., Шацков Д.О. Исследование влияния механических и упругих свойств дейдвудных подшипников на численное значение коэффициента жесткости // Вестник Астраханского ГТУ. – Серия: Морская техника и технология. – 2019. – № 2. – С. 71–79.
8. Повышение надежности дейдвудных подшипников путем лазерной наплавки гребного вала / Халывкин А.А., Санжапов А.Р., Матвеев Ю.И., Ениеватов В.В., Ивановская

А.В. // Вестник Керченского ГМТУ. – Серия: Морские технологии. – 2024. – №3. – С. 42–48.

9. Халывкин А.А., Матвеев Ю.И., Саламех Али, Слиман Саусан. Повышение надежности механизмов судовой энергетической установки // Судостроение. – 2024. – №5. – С. 62–65.
10. Чура М.Н., Файвисович А.В. Эксплуатационные повреждения гребных валов // Транспортное дело России. – 2011. – №11. – С. 110–112.
11. Матвеев Ю.А., Орехов В.А., Храмов М.Ю., Орехов А.В. Особенности напрессовки облицовок гребных валов // Вестник Волж. гос. академии водного транспорта – 2019. – № (60). – С. 232–237.
12. Диревук Е.П. Фрезерные работы: пособие к лабораторным работам для студентов специальности 1-08 01 01-01 «Профессиональное обучение (по направлениям)», направления специальности 1-08 01 01-01 «Профессиональное обучение (машиностроение)». – Минск: БНТУ, 2018. – 105 с.
13. Дорошенко П.А. Технология производства судовых энергетических установок: Учебник / Дорошенко П.А., Рохлин А.Г., Булатов В.П. и др. – Л.: Судостроение, 1988. – 440 с.
14. ОСТ 5.5154–74. Подшипники скольжения и сальники гребных валов. Типы, основные размеры и технические требования. Введ. 1989-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 1974. – 43 с.
15. Маталин А.А. Технология машиностроения: учеб. – 3-е изд., стереотип. – СПб.: «Лань», 2010. – 512 с.
16. Даниленко Б.Д., Зубков, Н.Н. Выбор режимов резания (продольное точение, сверление спиральными сверлами, фрезерование концевыми фрезами): учеб. пособие / Под ред. В.С. Булошников. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. – 52 с.
17. Halyavkin A., Razov I., Mamontov V., Kushner G. Determination of stiffness coefficient of stern shaft bearing // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – IOP Publishing, 2017. – Vol. 90. – Is. 1. – P. 012078. DOI: 10.1088/1755-1315/90/1/012078.
18. Han Q., Chu F. Dynamic instability and steady-state response of an elliptical cracked shaft // Archive of Applied Mechanics. – 2012. – Vol. 82. – № 5. – P. 709–722.
19. Liu Z., Li W., Ouyang H. Structural Modifications for Torsional Vibration Control of Shafting Systems Based on Torsional Receptances // Shock and Vibration. – 2016. – Vol. 2016. – P. 1–8. ■

Система дистанционного управления арматурой предназначена для дистанционного изменения состояния (открытия или закрытия) дистанционно-управляемых клапанов в различных режимах работы главной энергетической установки.

При проектировании подводных лодок (далее – ПЛ) на выбор параметров, ее форму влияют конструктивные факторы и компоновка оборудования [1].

Расположение технических средств на ПЛ должно обеспечивать:

- удобство и оперативность управления, контроля и обслуживания в корабельных условиях;
- технологичность монтажа;
- свободный доступ ко всему оборудованию для устранения неисправностей, а также для его технического обслуживания.

В настоящее время на проектах ПЛ в системах главной энергетической установки используется большое количество дистанционно-управляемых клапанов (более 100 штук), подвод управляющей среды (для изменения состояния дистанционно-управляемых клапанов) к которым осуществляется при помощи распределителей с электромагнитными приводами.

Оптимальное размещение оборудования системы дистанционного управления в крайне насыщенных различными техническими средствами энергетических отсеках ПЛ является актуальной и нетривиальной задачей при проектировании и эксплуатации ПЛ.

ОПИСАНИЕ СУЩЕСТВУЮЩИХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЕЙ

Распределители классифицируются:

- а) по типу конструкции:
 - трехходовые,
 - четырехходовые,
- б) по проводимой рабочей среде:
 - пневматические,
 - гидравлические;
- в) по количеству электромагнитных приводов:
 - с одним электромагнитным приводом,
 - с двумя электромагнитными приводами.

В данной статье рассматриваются четырехходовые пневматические (гидравлические) распределители с двумя электромагнитными приводами. Скомпонованы распределители в блоки рамной конструкции (более 20 штук). Блок распределителей в общем случае состоит из следующих элементов (рис. 1):

- 1) рамы, сваренной из материалов (ребер, книц, платиков, уголков, планок и т. п.) в цехе на заводе-строителе, на которую крепится основное оборудование;
- 2) шести распределителей с электромагнитным приводом, предназначен-

ПРИМЕНЕНИЕ БЛОКОВ СЕКЦИОННЫХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЕЙ В СИСТЕМАХ ДИСТАНЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ АРМАТУРОЙ НА ПОДВОДНОЙ ЛОДКЕ

В.Ш. Вахитов, инженер-конструктор 1-й категории,
Е.В. Сальников, гл. конструктор специализации – руководитель отделения,
 АО «СПМБМ «Малахит»,
 контакт. тел. +7 (911) 830 9695, +7 (931) 207 0069

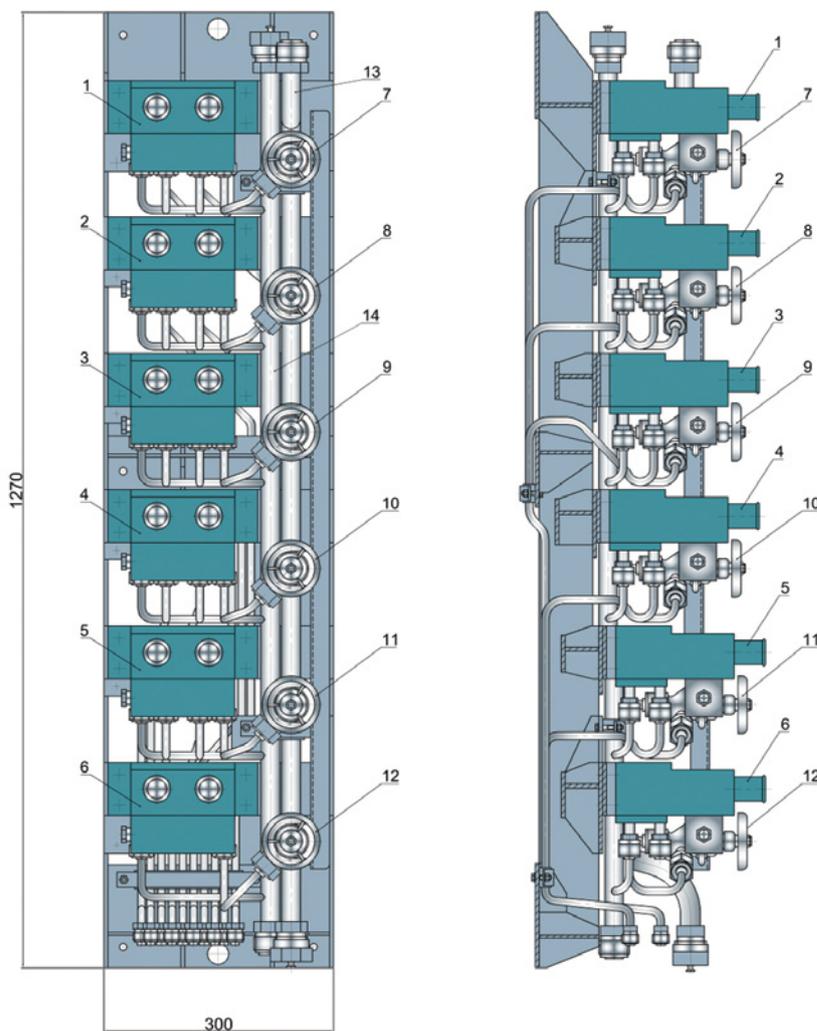


Рис. 1. Блок распределителей

1–6 – распределители с электромагнитным приводом, 7–12 – клапаны запорные угловые штуцерные, 13 – трубопровод напорный, 14 – трубопровод стравливающий

ных для дистанционного управления арматурой двустороннего и одностороннего действия;

- 3) шести угловых запорных клапанов, подводящих рабочую среду к распределителям;
- 4) напорного и стравливающего коллекторов (трубопроводов), изготовленных в цехе на заводе-строителе;
- 5) трубопроводной обвязки, изготовленной в цехе на заводе-строителе.

Принцип действия распределителей, входящих в данный блок, заключается в следующем: при подаче напряжения на один из электромагнитов распределителя элементы, входящие в конструкцию распределителя, перемещаются, перераспределяя поток рабочей среды для переключения (открытия или закрытия) дистанционно-управляемых клапанов.

После изготовления, очистки, промывки, контроля качества сварных соединений, покрытия трубопроводов, армату-

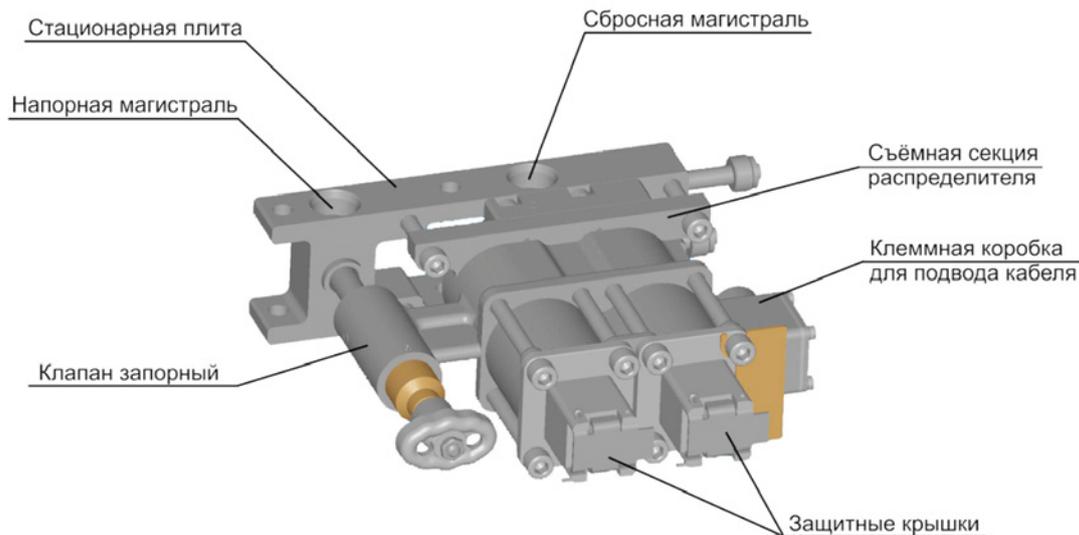


Рис. 2. Распределитель секционный

ры и крепежных изделий, маркировки и проведения гидравлических испытаний в условиях цеха на заводе-строителе блоки устанавливаются на фундаменты для последующего монтажа в системе.

На ПЛ различных проектов, как правило, применяются четырехходовые, трехходовые пневматические или гидравлические распределители с одним или двумя электромагнитными приводами производства АО «ЗМС «Знамя труда», ЗАО «НПФ «ЦКБА», ООО «НПП «Орион», АО «Аскольд», АО «ЦТСС» КБ «Армас», ЗАО «ЦНИИ СМ».

Все применяемые распределители однотипны по конструкции, принципу действия, массогабаритным характеристикам и условиям монтажа.

В результате основным направлением совершенствования системы дистанционного управления арматурой является сокращение номенклатуры элементов системы за счет упрощения конструкции блоков распределителей, что позволит:

- сократить сроки сборки и проверки работоспособности системы;
- снизить трудоемкость монтажных работ;
- оптимизировать размещение оборудования за счет уменьшения его массогабаритных характеристик.

ПРИМЕНЕНИЕ СЕКЦИОННЫХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЕЙ

В качестве альтернативы предлагается к применению конструкция в моноблочном исполнении с секционными распределителями, которая включает (рис. 2):

- 1) стационарную плиту;
- 2) съемную секцию, на которой смонтированы:
 - распределитель с электромагнитным приводом;
 - запорный клапан.

3) напорную и сливную магистрали.

По принципу действия секционные распределители аналогичны существующим и применяемым на проектах ПЛ.

Секционные распределители komponуются в блоки при помощи соединительных втулок и шпилек (рис. 3).

Основные преимущества при применении блоков секционных распределителей:

- 1) упрощение конструкции за счет:
 - исключения сварной рамы;
 - вмонтированного в конструкцию распределителя ручного клапана;
 - исключения сложной трубопроводной обвязки.
- 2) уменьшение массогабаритных ха-

рактеристик (сравнение представлено в таблице);

- 3) повышение качества монтажа, так как блоки изготавливаются и испытываются по отработанной конструкторской и технологической документации под контролем ВП МО РФ на специализированном предприятии-изготовителе, что в свою очередь приведет к сокращению сроков сборки и проверки работоспособности системы;
- 4) снижение трудоемкости монтажных работ за счет:
 - исключения из производственной цепочки затрат на закупку материалов (для изготовления трубопровод-

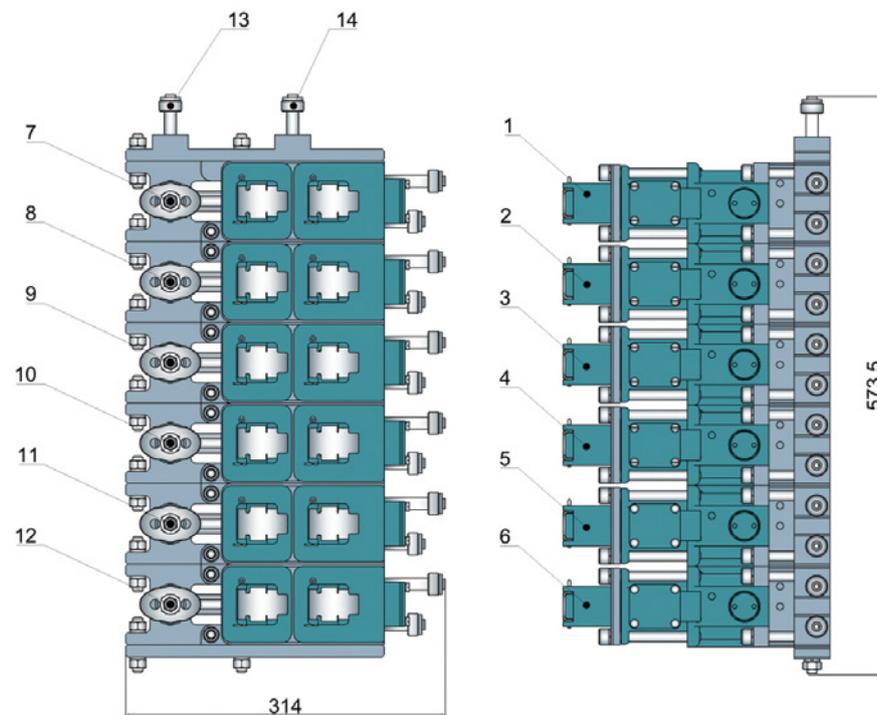


Рис. 3. Блок секционных распределителей

1–6 – распределители секционные, 7–12 – клапаны запорные угловые штуцерные, 13 – трубопровод напорный, 14 – трубопровод стравливающий

Сравнение массогабаритных характеристик блоков

Блок	Длина, мм	Ширина, мм	Высота, мм	Масса, кг
Существующий блок распределителей	300	316	1270	112,200
Блок секционных распределителей	314	262	573,5	102

ной обвязки и элементов крепления, входящих в блок);

- исключения низкоавтоматизированных технологических процессов по изготовлению и монтажу трубопроводной обвязки, сварной рамы, а также сборочных работ.

5) повышения ремонтпригодности системы за счет применения съемных секций распределителя;

6) оптимизации размещения оборудования за счет уменьшения габаритных характеристик блока и возможности реализации различных вариантов комплектации распределителей в блоках (по 8, 10, 12 или любым дру-

гим количеством распределителей). Это позволит оптимально использовать пространство отсека.

ВЫВОДЫ

В статье описано устройство блоков распределителей, применяемых на проектах ПЛ.

Проведен сравнительный анализ существующих блоков и предлагаемых к применению блоков секционных распределителей.

Определены основные преимущества использования секционных распределителей, среди которых можно выделить значительное упрощение конструкции

блока вследствие исключения сварной рамной конструкции и применения вмонтированного в секцию распределителя ручного клапана с соответствующим исключением сложной трубопроводной обвязки.

Следует отметить качественные изменения, которые приведут к существенной экономии и сокращению сроков сборки и проверки работоспособности системы.

Весьма важно, что уменьшение габаритных характеристик оборудования дистанционного управления дает возможность в целом оптимизировать компоновку энергетических отсеков.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дронов Б.Ф. Тенденции развития архитектуры подводных лодок – [Электронный ресурс] URL: <http://fotprom.ru/publications/science/hull/subsarchitecturetrends> (дата обращения: 10.10.2024). ■

Рудольф Дизель, выдающийся инженер и изобретатель, стал известен благодаря разработкам в области двигателей внутреннего сгорания (ДВС) и его стремлению создать «совершенный» двигатель. Несмотря на амбициозность идей и инновационные подходы, его мечта о вечном двигателе не увенчалась успехом. В данной статье рассмотрим основные концепции, связанные с идеальным двигателем Дизеля, его попытки реализовать цикл Карно и препятствия, с которыми он столкнулся на пути к своей цели.

Р. Дизель (1858–1913), обучавшийся в Политехнической школе, разработал принцип работы ДВС и опубликовал книгу «Теория и конструкция рационального теплого двигателя» в 1893 г. Он получил патент на свой двигатель 23 февраля 1893 г., который включал сжатие воздуха до температуры самовоспламенения топлива и постепенное его впрыскивание. Дизель предложил двигатель с тремя цилиндрами и отмечал, что в тепловых двигателях 70–80% энергии теряется в окружающую среду. Он поставил цель улучшить экономичность, следуя идеальному циклу Карно и выдвинул три условия для «совершенного» двигателя:

- предварительное сжатие воздуха до температуры самовоспламенения топлива;
- длительное впрыскивание топлива в нагретый воздух;
- оптимальное соотношение между воздухом и топливом, позволяю-

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СОВЕРШЕННОГО ЦИКЛА Р. ДИЗЕЛЯ

Д. И. Дымов, студент,

Д. О. Глазырина, ассистент,

Е. Н. Алексин, канд. техн. наук, доцент,

СПбГМТУ

dymov1007@yandex.ru, d_glazyrina@bk.ru, aleksinevg@yandex.ru

щее избежать необходимости в искусственном охлаждении.

Дизель стремился адаптировать идеальный цикл Карно, который в то время был единственным доступным циклом, обладающим высоким КПД. Однако это стремление натолкнулось на серьезные практические трудности.

Цикл Карно, хотя и имеет огромные теоретические преимущества и одновременно совокупность практических ограничений. Одной из ключевых проблем является то, что линия сжатия в этом цикле ведет к колоссальному давлению, которое может достигать сотен атмосфер. Это создает серьезные ограничения для конструкции двигателя. Согласно идее Дизеля, первым этапом в его четырехтактном «совершенном» двигателе должно было стать изотермическое сжатие воздуха с добавлением воды. Вода испарялась, снижая температуру сжимаемого воздуха и, по мнению автора, обеспечивая постоянство температуры. Далее следовало адиабатное сжатие смеси

воздуха и водяного пара до момента, когда температура достигнет точки самовоспламенения угольной пыли при давлении 250 атм. Как только требуемая температура достигнута, в сжатую смесь подавалась угольная пыль, которая самовоспламенялась, но давление и температура образовавшихся газов значительно не увеличивались, так как поршень начинал движение назад. Подача угольной пыли происходила постепенно на определенном участке хода поршня, что, по мнению Дизеля, позволяло достигать изотермического подведения теплоты. Затем происходил адиабатный процесс расширения до исходных условий, и цикл завершался. Дизель наивно рассчитывал, что благодаря его идеям удастся повысить КПД двигателя до 73%, что оказывалось недостижимым. Главная проблема заключалась в том, что для успешной реализации цикла Карно необходимо обеспечить отвод тепла к внешнему охладителю, что изобретатель не учел в своем идеальном цикле.

Предполагая, что осуществить изотермический отвод теплоты затруднительно, Дизель в своей книге предлагает цикл двигателя «уклоняющегося», т. е. отклоняющегося от «совершенного» двигателя. Для этого он исключает изотермическое сжатие и заменяет его адиабатным. В этом случае действительно температура продуктов сгорания топлива на выходе из двигателя будет больше температуры окружающей среды и, следовательно, произойдет передача теплоты внешнему охладителю, т. е. в «уклоняющемся» цикле двигателя второй закон термодинамики уже выдерживается. В соответствии с расчетами Р. Дизеля максимальное рабочее давление в цикле его двигателя должно составлять 250 атм. Осознавая высокие значения этого давления, он представил отклоняющийся от «совершенного» цикла, где максимальное давление снижается до 90 атм при температуре сжатого воздуха 800 °С. Дизель предполагал, что максимальная температура рабочего тела достигается только при механическом сжатии и не увеличивается при сгорании топлива, что позволило бы отказаться от водяной рубашки для охлаждения двигателя. Он также подчеркивал важность правильного определения избытка воздуха в цилиндре в зависимости от типа топлива. Для минимизации теплотеря и приближения к изотермическому процессу Дизель предложил использовать фарфоровую изоляцию внутри цилиндра. Он стремился к реализации изотермического процесса через порционную подачу топлива во время обратного движения поршня, что увеличивало время сгорания. Хотя Дизель не был первым, кто применял этот подход, его идеи обеспечивали безопасную и равномерную работу двигателя, предотвращая разрушение конструкции из-за быстрого сгорания топлива. Благодаря своим разработкам Дизель смог реализовать подвод теплоты при постоянном давлении, хотя температура оставалась нестабильной. Он полагал, что температура газа будет стабильной, если расширение продуктов сгорания начнется одновременно с горением топлива, что должно было привести к снижению температуры газа во время выполнения полезной работы.

Р. Дизель, реализуя свои идеи, организовал подвод теплоты при постоянном давлении, но не при стабильной температуре. Он полагал, что отсутствие необходимости в водяном охлаждении двигателя возможно благодаря стабильной температуре рабочего тела, если расширение продуктов сгорания начнется одновременно с горением топлива. Это должно было привести к снижению температуры газа во время выполнения полезной работы. В то время стремление к изотермическому подведению теплоты не было распространено, что приводило к постоянному увеличению температуры при сжигании топлива и необходимости охлаждения. Дизель был уверен, что достижение изотермического процесса позволит создать эффективный двигатель, однако для этого требовалось использование двухатомных газов вместо продуктов сгорания органического топлива.

Дизель обосновывал свои идеи расчетами для двигателя мощностью 100 л. с., используя угольную пыль в качестве топлива, также упоминая возможность применения жидкого топлива. В условиях Германии, где запасы угля были значительными, это предложение вызывало интерес у владельцев угольных компаний. Работа Дизеля вызвала критику ученых, особенно касающуюся заявленного рабочего давления в 250 атм, что ставило под сомнение эффективность и возможность работы двигателя под нагрузкой. Несмотря на критику, Дизель оставался уверен в своих расчетах и начал обращаться к заводам с предложением наладить выпуск своего двигателя, получив поддержку лишь механического завода в Аугсбурге и компании Фридриха Альфреда Круппа.

Первый двигатель, построенный в Аугсбурге, оказался неработоспособным. Это побудило Дизеля пересмотреть свои идеи и новые патенты. В 1894 г. вторичный двигатель с использованием керосина выявил значительные проблемы: он работал на холостом ходу, но не мог сохранять работоспособность под нагрузкой, что снова подрывало попытки создать идеальный двигатель.

Наконец, его третий двигатель, построенный в 1895 г., оказался ус-

пешнее, но не все параметры соответствовали оригинальным идеям Дизеля. Многие из улучшений были достигнуты благодаря усилиям инженеров аугсбургского завода. Был создан двигатель с эффективным КПД, равным примерно 26%, работающий на керосине с горением топлива при почти постоянном давлении. Этот четырехтактный крейцкопфный двигатель имел один цилиндр диаметром 250 мм, ход поршня 400 мм, мощность 19,8 л. с., 172 об/мин и расход керосина 0,240 кг/л. с. в час.

Идеальный цикл Р. Дизеля стал основой для разработки высокоэффективных дизельных ДВС. Однако его практическая реализация столкнулась с рядом сложностей и ограничений. Сравнение с циклом Карно выявляет как сходства, так и различия в термодинамических принципах этих циклов. Несмотря на то, что идеальный двигатель не был создан, достижения Р. Дизеля оказали значительное влияние на эволюцию двигателя.

ЛИТЕРАТУРА

1. Интерактивный сайт о Рудольфе Дизеле. – <https://perevozka24.ru/pages/rudolf-dizel-izobretatel-i-inzhener> [Электронный Ресурс] (Дата обращения: 06.01.2025)
2. Интерактивный сайт о Рудольфе Дизеле – <https://habr.com/ru/companies/first/articles/759722/> [Электронный Ресурс] (Дата обращения: 06.01.2025)
3. Интерактивный сайт о ДВС – <https://studfile.net/preview/9805595/> [Электронный Ресурс] (Дата обращения: 06.01.2025)
4. Интерактивный сайт о термодинамических циклах – https://rep.bntu.by/bitstream/handle/data/5283/Teoriya_rabochih_processov_dvigatlej_vnutrennego_sgoraniya.pdf?sequence=7&isAllowed=y [Электронный Ресурс] (Дата обращения: 06.01.2025)
5. Интерактивный сайт о истории создания дизельного двигателя – <https://aer-spb.ru/novosti/istoriya-poyavleniya-i-razvitiya-dizelnogo-dvigatelya/> [Электронный Ресурс] (Дата обращения: 07.01.2025)
6. Интерактивный сайт о термодинамический цикл ДВС – цикл Дизеля <https://studfile.net/preview/9514719/page:3/> [Электронный Ресурс] (Дата обращения: 07.01.2025) ■

Основной показатель обнаруживающей способности опτικο-электронного средства (ОЭС) – максимальная дальность обнаружения и идентификация визуального ориентира при заданных вероятности и его размерах.

Помимо размера профиля визуального ориентира в реальных условиях на возможность различения влияет множество параметров, относящихся к контролируемой области, самого ориентира и оператора:

1. Контрольная область (сектор наблюдения):

- размер контрольной области (сектора наблюдения),
- количество, размер, распределение зон, в которых может находиться визуальный ориентир, в контрольной области (секторе наблюдения),
- объекты в контрольной области (секторе наблюдения): их количество, форма, яркость и цветовой контраст, четкость, количество различных деталей и т. д.,
- распределение объектов по контрольной области (сектору наблюдения),
- зернистость, шум,
- общий объем доступной информации,
- среднее значение яркости или освещенности изображения,
- функции интерфейса, указывающие на расположение визуального ориентира.

2. Визуальный ориентир:

- расположение на изображении,
- расположение в контрольной области (секторе наблюдения),
- форма и профиль,
- размер, цвет, четкость, яркость цели,
- степень отделения от фона и прочих объектов.

3. Оператор:

- общая подготовка по специальности,
- опыт,
- профессиональные качества,
- инструктаж и постановка задачи,
- профессиональные навыки,
- мотивация,
- компромисс между скоростью поиска и точностью.

Основные задачи, которые решаются с помощью ОЭС, можно классифицировать по степени повышения сложности на следующие уровни: обнаружение, идентификация, целеуказание. Обычно последующий уровень задач автоматически включает в себя предыдущие, и для решения задач каждого последующего уровня требуется в общем случае аппаратура с лучшими характеристиками, большими функциональными возможностями и большей вычислительной мощностью.

ИССЛЕДОВАНИЕ, РАЗРАБОТКА И ПРИМЕНЕНИЕ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ В ЦЕЛЯХ НАБЛЮДЕНИЯ И СОПРОВОЖДЕНИЯ ВИЗУАЛЬНЫХ ОРИЕНТИРОВ

*Л. С. Хабаров, специалист, начальник отдела программного обеспечения,
А. П. Ларин, специалист, вед. программист, АО «МНС»,
контакт. тел. (812) 320 3840*

Основой всех ОЭС являются камеры тех или иных типов, которые в первую очередь отличаются рабочими спектральными диапазонами. На них ложится задача обнаружения и идентификации объекта. Для решения задачи целеуказания в систему вводятся измерительные и навигационные компоненты, позволяющие определить собственное положение оператора и положение обнаруженного объекта относительно оператора. В случае распределенной конфигурации средств наблюдения и/или разнесения в пространстве наблюдательного комплекса и средств реагирования требуется обеспечение оперативной и точной передачи информации, как правило, по беспроводным каналам связи.

Видеокамеры, работающие в видимом и ближнем инфракрасном диапазоне, применяются в светлое время суток, в темное время суток требуется дополнительная подсветка. Визуальный ориентир обнаруживается на изображении за счет цветового или яркостного контраста относительно фона. Идентификация видимого берегового ориентира осуществляется за счет выделения характерных особенностей формы проекции элементов объекта в плоскости, перпендикулярной оси наблюдения. Необходимым условием идентификации является контраст характерных элементов – внешний (по отношению к фону) для краевых элементов и/или внутренний (по отношению к другим элементам объекта) для элементов, находящихся внутри видимой проекции объекта.

Тепловизоры как круглосуточное всепогодное наблюдательное средство в настоящее время широко распространены, это или отдельные наблюдательные приборы, или в составе ОЭС благодаря основным достоинствам, в числе которых – низкое влияние на качество изображения различных атмосферных помех, возможность работы в полной темноте, сложность тепловой маскировки объектов.

Заслуживают упоминания такие ОЭС, как камеры коротковолнового

инфракрасного диапазона, ультрафиолетовые камеры, низкоуровневые камеры на базе высокочувствительного сенсора, совмещенного с усилителем изображения, и различные варианты лазерных локационных систем, хотя все они и менее распространены в качестве компонентов наблюдательных систем.

Для решения задачи целеуказания в состав ОЭС включают набор датчиков для определения собственных координат наблюдателя, а также относительных и абсолютных координат обнаруженного объекта. Обычными компонентами навигационной системы наблюдательного комплекса являются:

- GPS/ГЛОНАСС приемник для определения собственных координат наблюдателя;
- лазерный дальномер для определения дистанции до видимого берегового ориентира;
- магнитный компас или гироскоп для определения азимута на цель;
- акселерометр для определения угла оси наблюдения относительно горизонта.

Как показывает анализ существующих многоканальных наблюдательных комплексов, большинство из них содержит следующий набор основных компонентов: тепловизор, видеокамеру и полный набор датчиков навигационной системы.

ОЭС «Окулист» производства компании АО «МНС» содержит тепловизор с объективом, имеющим переключаемое поле зрения с тремя режимами, видеокамеру с переменным полем зрения, а также навигационное оборудование – лазерный дальномер, электронный компас и GPS-приемник для определения собственных координат.

Обработка данных включает в себя возможность наложения изображений и запись видео или отдельных кадров.

При разработке многофункциональной ОЭС наблюдения и определения места по визуальным ориентирам следует учитывать существующие ограничения и начальные условия применения прибора:

Сравнение особенностей тепловизионного и телевизионного каналов

Критерий оценки	Тепловизор	Видеокамера
Предпочтительное время суток	Ночь	День
Тип регистрируемого излучения	Собственное	Отраженное
Рабочая длина волны	7–14 мкм	0,4–0,9 мкм
Способность обнаружения замаскированных целей	Высокая	Низкая
Способность идентификации целей	Низкая	Высокая
Невосприимчивость к атмосферным помехам	Высокая	Низкая

- необходимость работы в любое время суток, любое время года, при широком диапазоне погодных условий;
- характер визуальных ориентиров. Объектами обнаружения являются маяки и створы, водонапорные башни, находящиеся в неподвижном состоянии;
- характер местности. Предполагается применение комплекса в условиях открытой и полузакрытой местности с различными вариантами рельефа от равнинной до горной.

При указанных условиях целесообразно объединение в ОЭС двух наблюдательных каналов: тепловизионного и телевизионного (табл. 1). Тепловизионный обеспечивает работоспособность комплекса в темное время суток и при ограниченной из-за атмосферных помех видимости, а также высокую эффективность в плане обнаружения активных теплоизлучающих целей. Телевизионный канал обеспечивает работоспособность ОЭС в дневное время, когда тепловизионный канал может оказаться менее эффективным из-за тепловых помех, обусловленных нагревом фоновых объектов солнечным излучением, а также обеспечивает распознавание и идентификацию визуальных ориентиров.

Применение дополнительных наблюдательных каналов нецелесообразно, поскольку они будут либо функционально дублировать основные, либо эффект от их использования будет несопоставим с издержками от их введения в систему.

Степень интеграции различных источников информации и соответствующих функций взаимодействия могут различаться от полностью автономной работы, когда нет ни физического, ни функционального объединения, ни объединения на уровне получаемых данных, до полностью

взаимосвязанной системы, объединяющей различные датчики (контроллеры), потоки данных, режимы работы и обработки информации.

Преимущества интеграции датчиков (контроллеров) на физическом и информационном уровне выражаются в уменьшении габаритов, снижении энергопотребления и стоимости за счет совместного использования отдельных модулей, повышении отказоустойчивости и надежности системы. Совместная обработка информации от разных датчиков (контроллеров) также позволяет повысить обнаруживающие способности системы по сравнению с отдельным использованием дискретных приборов на тех же датчиках (контроллерах) (рис. 1).

Одно из перспективных направлений повышения эффективности ОЭС состоит в комплексном подходе к сбору и обработке данных от разных источников.

Потребность в интеграции нескольких информационных каналов возникает по следующим причинам:

1. Отдельные датчики (контроллеры) не обладают всеми необходимыми функциями во всем диапазоне условий, а достижение требуемого функционала сопряжено с чрезмерным увели-

чением стоимости, массы, снижением надежности, необходимостью обслуживания и т. п. Например, эффективность некоторых датчиков (контроллеров) снижается при низком освещении, атмосферных помехах и т. д.

2. Многоканальная система достаточно эффективна в случае отказа отдельных компонентов, меньше подвержена влиянию средств противодействия.

3. Несколько датчиков (контроллеров), обладающих одинаковыми функциями, показывают большую эффективность за счет взаимной компенсации случайных ошибок.

Обычно целью интеграции датчиков (контроллеров) в многоканальную систему является повышение способности обнаружения, идентификации и отслеживания визуальных ориентиров за счет комбинации данных, полученных от разных датчиков. Часто многоканальные системы строятся по принципу разделения функций между каналами, при котором разные датчики (контроллеры) используются для разных этапов различения визуальных ориентиров: обнаружения, идентификации, локализации и т. п. Так, для обнаружения используются датчики (контроллеры) с широким ра-



Рис. 1. Структура интеграции датчиков (контроллеров)

Частные задачи по разработке многоканальной ОЭС

Задача	Эффект
Оптимизация состава системы	– Исключение избыточных функций – Упрощение конструкции – Снижение стоимости
Разработка специального программного обеспечения для совместной обработки данных от разных каналов	– Улучшение обнаруживающих характеристик системы – Снижение нагрузки на оператора
Разработка единой навигационной системы	– Реализация функции целеуказания
Повышение точности навигационной системы за счет измерений с помощью датчиков (контроллеров)	– Повышение точности целеуказания
Создание сетевой структуры обмена данными между разнесенными устройствами в пространстве	– Повышение достоверности обнаружения и идентификации визуальных ориентиров – Повышение скоординированности действий

бочим полем и низкой специфичностью, а для идентификации – с узким рабочим полем и высоким разрешением. При этом выходные данные от одного датчика (контроллера) используются как наводящая информация для другого.

Интеграция данных с разных каналов может проводиться на разных этапах обработки информации:

- во-первых, на этапе регистрации (pixel level fusion). В этом случае необработанные данные от датчиков (контроллеров) сразу поступают в процессор с помощью специального программного обеспечения для совместной обработки, обнаружения визуальных ориентиров, выделения характерных особенностей и классификации. Таким образом удается избежать любых потерь информации, возникающих при последующей обработке;
- во-вторых, после выделения характерных особенностей, определяющих параметры визуального ориентира (feature level fusion). На этом этапе из данных каждого датчика (контроллера) предварительно выделена информация об обнаружении и характерных особенностях визуального ориентира. Информация об особенностях визуального ориентира от каждого датчика (контроллера) поступает в процессор с помощью специального программного обеспечения для совместной обработки и классификации цели.
- в-третьих, на этапе принятия решений (decision level fusion). На уровне отдельных каналов проведена обработка по обнаружению, выделению особенностей визуального

ориентира и его первичная классификация. Предварительные данные о типе визуального ориентира от каждого канала поступают в процессор с помощью специального программного обеспечения для совместной обработки, принятия окончательного решения по идентификации цели.

Интеграция на уровне характерных особенностей рекомендована для схожих информационных каналов, объединенных физически в одном приборе. Интеграция на уровне принятия решений больше подходит для представлению данных датчиков (контроллеров) и/или разнесенных датчиков (контроллеров) в пространстве.

В ОЭС часто используется комбинация тепловизионного, телевизионного и видимого каналов. Эти каналы,

являясь по многим параметрам взаимодополняющими, при объединении в согласованную наблюдательную систему позволяют повысить ее эффективность и расширить границы применимости (табл. 2).

ЛИТЕРАТУРА

1. Якушенков Ю.Г. Теория и расчет оптико-электронных приборов: учебник для вузов. – 6-е изд., перераб. и доп. – М.: Логос, 2012. – 568 с.
2. Козирацкий Ю.Л. и др. Обнаружение и координатометрия оптико-электронных средств, оценка параметров их сигналов: монография/Под ред. Ю.Л. Козирацкого. – М.: Радиотехника, 2015. – 456 с.
3. Козирацкий А.Ю., Гревцев А.И., Капитанов В.В., Алабовский А.В. Оптико-электронные устройства: учебное пособие. – Воронеж: ВУНЦ ВВС «ВВА», 2017. – 144 с. ■

ВВЕДЕНИЕ

Развитие безэкипажных надводных платформ (Unmanned Surface Vehicles, USV) существенно изменило подход к морским операциям в последнее десятилетие. Малогабаритные беспилотные катера активно применяются для патрулирования, экологического мониторинга, гидрографической съемки и других специальных миссий. Ключевым элементом, обеспечивающим автономность и точность навигации таких аппаратов, являются инерциальные измерительные модули (IMU) и построенные на их основе инерциальные навигационные системы (INS).

ПРИНЦИП РАБОТЫ И СОСТАВ IMU

Инерциальный измерительный модуль представляет собой электронное устройство, объединяющее набор датчиков для измерения параметров движения и ориентации объекта в пространстве. Типичный IMU включает в себя:

- акселерометры – измеряют линейные ускорения;
- гироскопы – регистрируют угловые скорости вращения;
- магнитометры (электронные компасы) – определяют направление магнитного поля Земли;
- вычислительное устройство для обработки измерений;
- устройства ввода-вывода информации.

Современные IMU для малогабаритных морских платформ строятся преимущественно на основе МЭМС-технологии (микроэлектромеханические системы), что позволяет значительно уменьшить размеры, вес и энергопотребление устройств при сохранении приемлемых характеристик точности. INS, использующие данные от IMU, обеспечивают вычисление положения, скорости и ориентации катера в реальном времени [1]. Точность системы в значительной степени определяется качеством используемых датчиков.

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ IMU В МОРСКОЙ СРЕДЕ

Морская среда создает ряд специфических вызовов для работы инерциальных систем:

- *волнение и качка* – вызывают постоянные колебания корпуса, поэтому требуются IMU с высокой частотой опроса и широким динамическим диапазоном;
- *воздействие соленой воды и влажности* – предъявляет особые требования к герметичности корпусов;
- *электромагнитные помехи от судовых систем* – требуют специальных методов экранирования

ИНЕРЦИАЛЬНЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ МОДУЛИ НА МАЛОГАБАРИТНЫХ БЕЗЭКИПАЖНЫХ КАТЕРАХ: СОВРЕМЕННЫЕ РЕШЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ

М. А. Еремеев,

*руководитель направления навигационных систем ООО «ДиЭлКом»,
контакт. тел. (812) 339 4597*

- *температурная нестабильность* – широкий диапазон рабочих температур приводит к необходимости температурной компенсации показаний датчиков.

Согласно некоторым исследованиям [2], погрешности определения ориентации из-за волнения при использовании IMU могут достигать 2–5° при высоте волн 0,5–1,5 м, что требует дополнительных алгоритмов фильтрации и компенсации.

КЛАССИФИКАЦИЯ IMU ДЛЯ МАЛОГАБАРИТНЫХ БЕЗЭКИПАЖНЫХ КАТЕРОВ

В зависимости от требуемой точности и условий эксплуатации на безэкипажных катерах применяются IMU различных классов (табл. 1).

ИНТЕГРАЦИЯ IMU С ДРУГИМИ НАВИГАЦИОННЫМИ СИСТЕМАМИ

Для компенсации ограничений инерциальных систем, в частности накопления ошибки с течением времени, на безэкипажных катерах реализуется комплексирование IMU с другими навигационными системами:

- GNSS (GPS/ГЛОНАСС) – основной источник коррекции накопленной ошибки;
- DVL (Доплеровский лаг) – обеспечивает измерение скорости относительно дна;
- компас/магнитометр – дополнительный источник информации о курсе;
- барометрические датчики – для уточнения высоты над уровнем моря.

Наиболее распространенный метод комплексирования данных – применение различных вариаций фильтра Калмана. Исследование, проведенное специалистами Института океанографии Вудс-Хоул [3], показало, что использование расширенного фильтра Калмана (EKF) для интеграции данных IMU и GPS позволяет снизить ошибку определения координат в 3–5 раз по сравнению с использованием только IMU (табл. 2, рис. 1).

СОВРЕМЕННЫЕ РЕШЕНИЯ И РАЗРАБОТКИ

В последние годы наблюдается значительный прогресс в области разработки IMU для морских приложений. Это стало возможным благодаря применению:

1) *миниатюризации и снижению энергопотребления*. Компания SBG Systems предлагает линейку морских IMU Ellipse серии, специально адаптированных для малогабаритных морских платформ. Модель Ellipse-N весит менее 50 г и потребляет всего 0,5 Вт, при этом обеспечивая точность определения курса 0,2° (с поддержкой GPS) [4];

2) *улучшению алгоритмов фильтрации*. Современные алгоритмы, такие как адаптивные версии фильтра Калмана и алгоритмы на основе искусственного интеллекта, позволяют существенно улучшить характеристики даже недорогих МЭМС-сенсоров. Например, алгоритмы коррекции дрейфа нуля, разработанные в Гонконгском политехническом университете, позволили снизить накопление ошибки от недорогих IMU на 40–60% [5];

Таблица 1

Классификация IMU, применяемые на морских платформах

Класс ИНС	Дрейф гироскопа, °/ч	Смещение акселерометра, мкг	Типовая область применения
Навигационный	<0,01	<10	Подводные лодки, военные корабли
Тактический	0,01–1,0	10–100	Коммерческие суда, исследовательские суда
Промышленный	1,0–100	100–1000	Малотоннажные суда, системы стабилизации
Потребительский	>10,0	>1000	Вспомогательные системы, любительские суда

Таблица 2

Накопление ошибки определения позиции для IMU различных классов

Время работы, ч	Ошибка IMU навигационного класса, м	Ошибка IMU тактического класса, м	Ошибка IMU промышленного класса, м	Ошибка IMU потребительского класса, м
0	0	0	0	0
1	8	40	200	1000
2	16	115	570	2800
3	25	200	1000	5000
4	35	320	1700	8500
5	45	450	2600	13000
6	55	650	3700	18500
8	80	1150	6500	33000
10	125	1800	10000	52000
12	170	2600	14500	75000

Накопление ошибки определения позиции для различных классов IMU

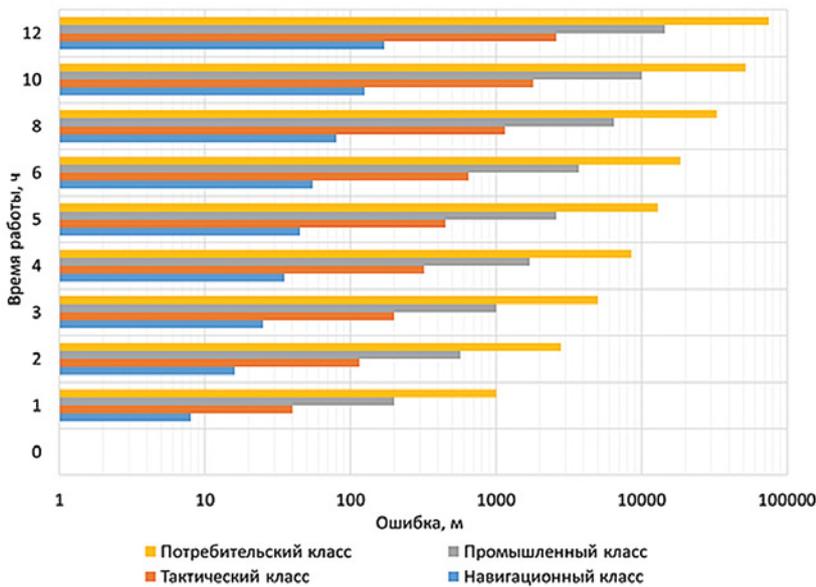


Рис. 1. Сравнение накопления ошибки определения позиции для различных классов IMU

3) интегрированным решениям для малогабаритных платформ. Появляются комплексные решения, объединяющие в компактном корпусе IMU, вычислительный модуль и приемник сигналов GNSS. Например, система VectorNav VN-300 представляет собой миниатюрное (23×23×6.5 мм) решение, обеспечивающее точность определения ориентации до 0,3° и интегрирующее GPS/ГЛОНАСС приемник [6].

ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Несмотря на значительный прогресс, существует ряд нерешенных проблем в области применения IMU на малогабаритных катерах:

- долговременный дрейф показаний – требует периодической коррекции от внешних источников;
- калибровка в полевых условиях – необходимы простые и надежные

методы калибровки;

- устойчивость в экстремальных условиях – требуется повышенная надежность при воздействии вибраций и ударов.

Перспективные направления развития включают:

- разработку самокалибрующихся IMU на основе избыточного набора датчиков;
- применение квантовых гироскопов для повышения точности;
- интеграцию алгоритмов машинного обучения для адаптивной фильтрации и самодиагностики.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Инерциальные измерительные модули являются критически важным компонентом навигационных систем современных малогабаритных безэкипажных катеров. Благодаря развитию МЭМС-технологий и алгоритмов обработки данных, эти устройства становятся компактнее, точнее и энергоэффективнее, что открывает новые возможности для автономной навигации в морской среде. Тенденция к комплексированию с другими источниками навигационной информации позволяет компенсировать индивидуальные недостатки каждой отдельной системы и обеспечить надежное определение положения и ориентации в сложных условиях эксплуатации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Groves P.D. Principles of GNSS, Inertial, and Multisensor Integrated Navigation Systems. – 3rd Ed. – Artech House. – 2023.
2. Arkesteijn M., Rottevee E., van Walree P.A. Performance evaluation of MEMS-based INS in rough sea conditions for small unmanned surface vehicles//Ocean Engineering. – 2022. – Vol. 245. – P. 110378.
3. Manley J., Smith S. Advances in Sensor Fusion for Unmanned Surface Vehicles Navigation//Woods Hole Oceanographic Institution Technical Report (WHOI-2022). – 2022. – Vol. 3.
4. SBG Systems. – Ellipse Series: Miniature Inertial Sensors: Технический документ, 2023. – <https://www.sbg-systems.com/products/ellipse-series/>
5. Zhang L., Wu Z., Chen X. An adaptive zero-drift correction method for low-cost MEMS inertial sensors in marine applications//IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement. – 2022. – Vol. 71. – P. 1–12.
6. VectorNav Technologies. VN-300 Dual Antenna GNSS/INS: Технический документ, 2024. – <https://www.vectornav.com/products/vn-300>

Высокая загруженность портовых территорий обуславливает проблемы организации устойчивой и достоверной связи между мобильными абонентами, обслуживающими суда, стоящие на рейде и традиционно использующие обычные транкинговые радиосистемы [1, 2]. Основные проблемы, как правило, связаны со сложностью организации прямых каналов связи вследствие загроможденной территории портовых доков и разгрузочных площадок. В результате в каналах связи возникают сильные интерференционные замирания, приводящие к снижению качества связи [3].

Вместе с тем развитие систем беспроводной связи, основанное на технологии MIMO (англ. Multiple Input Multiple Output), позволяет успешно бороться с указанным негативным явлением [4, 5], в том числе за счет пространственного разнесения каналов радиолиний с применением многоантенных систем (МАС) [6].

С учетом указанных обстоятельств предлагается оценить пропускную способность линий радиосвязи, использующих МАС в условиях интерференционных замираний, в интересах развертывания на их основе сетей связи с мобильными абонентами на припортовых территориях.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ТЕХНОЛОГИИ MIMO

Применение технологии MIMO позволяет увеличить пропускную способность радиосвязи за счет одновременного использования нескольких передающих и несколько приемных антенн при многолучевом распространении радиоволн (рис. 1) [7].

В настоящее время технология MIMO активно применяется в таких стандартах беспроводной связи, как IEEE 802.11n (Wi-Fi 4), IEEE 802.11ac (Wi-Fi 5), HSPA+ (3G), WiMAX и Long Term Evolution (LTE) [8], и постоянно совершенствуется. И если в первоначальном варианте данный термин означал только одновременное использование нескольких антенн на прием и передачу, то в современном понимании MIMO – это метод одновременной передачи и приема нескольких сигналов по одному и тому же радиоканалу за счет пространственных различий их маршрутов, обусловленных многолучевостью распространения [8–10].

Такой подход не исключает одновременную передачу нескольких сигналов на приемники различных абонентов. Он получил название «многопользовательский прием с несколькими входами и одним выходом» (англ. MU-MISO) [11].

ПРОПУСКНАЯ СПОСОБНОСТЬ РАДИОЛИНИЙ С МНОГОАНТЕННЫМИ СИСТЕМАМИ В УСЛОВИЯХ ЗАМИРАНИЙ

*С.А. Якушенко, д-р техн. наук, доцент, проф.,
А.А. Ларионов, аспирант,
С.В. Дворников, д-р техн. наук, проф., ГУАП и ВАС им. С.М. Будённого,
А.А. Маслова, аспирант ПГУПС императора Александра I,
контакт. тел. (812) 247 9400*

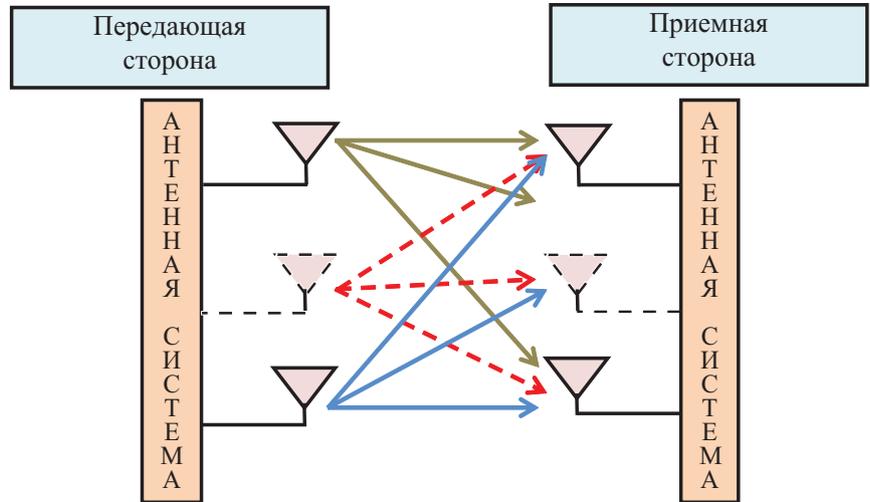


Рис. 1. Принцип реализации технологии MIMO

Первоначально технология MIMO была стандартизирована для беспроводных локальных сетей, а также сетей мобильной связи 3G и 4G. Так, 802.11n основан на методе MIMO-OFDM с вариантами каналов 20 и 40 МГц [12], который обеспечивает скорость передачи данных до 600 Мбит/с.

В стандарте WiMAX 802.16e, разработанном как альтернатива сотовой связи, метод MIMO-OFDM позволил достичь скорости 138 Мбит/с, а переход на спецификацию 802.16m, повысить скорость передачи до 1 Гбит/с [13].

Стандарт сотовой связи 4G, основанный на методе MIMO-OFDM, обеспечивает скорость передачи данных по нисходящей линии до 300 Мбит/с, а по восходящей линии – до 75 Мбит/с [14]. Дальнейшее развитие LTE Advanced, связанное с переходом к пико- и фемтосетам, обеспечило возможность организации многоканальных передач в полосе частот шириной до 100 МГц. В настоящее время данную технологию разделяют на однопользовательскую MIMO и многопользовательскую.

Однопользовательские MIMO (англ. от single-user MIMO) ориентированы на использование нескольких антенн и, как правило, применяются в стандарте 802.11n. К таким технологиям относят антенные системы, которые имеют :

- много выходов и один вход (англ. Multiple-input single-output – MISO);
- один выход и много входов (англ. Single-input multiple-output – SIMO);
- один выход и один вход (Single-input single-output – SISO)[11].

Основным требованием, предъявляемым к однопользовательским MIMO, является необходимость разнесения антенн на расстояние нескольких длин волн.

Многопользовательские MIMO (англ. Multi-user MIMO – MU-MIMO) получили развитие, благодаря дальнейшему совершенствованию стандартов 3GPP и WiMAX. К многопользовательским типам MIMO относят [14]:

- системы, у которых один терминал с несколькими антеннами объединяет данные от нескольких пользователей и взаимодействует с аналогичным терминалом (англ. single-user – SU-MIMO). Такой подход аналогичен технологии множественного доступа OFDMA. Разновидностью SU-MIMO является SDMA, который представляет собой либо множественный доступ с разделением по пространству, либо множественный доступ с суперразделением, где под понятием супер понимают тот факт, что в этом случае не используется

ортогональное разделение (частотное или временное разделение), а применяются неортогональные подходы, такие как суперпозиционное кодирование;

– системы кооперативного MIMO (англ. Cooperative MIMO – CO-MIMO), которые используют несколько соседних базовых станций для организации совместной передачи/приема данных различными пользователями. Такой подход фактически исключает создание межсетевых помех соседним базовым станциям, типичных для обычных систем MIMO.

Под макроразнообразием MIMO (англ. Macrodiversity MIMO) понимаются наличие вариантов пространственного разнесения, при котором используют несколько передающих или принимающих базовых станций без согласованной привязки к пользователям, находящимся в зоне покрытия.

Маршрутизация MIMO (англ. MIMO routing) отличается от обычной SISO маршрутизации тем, что допускает наличие в каждом кластере размещение нескольких узлов.

Реализация технологии *массивной mMIMO* (англ. Massive MIMO) предполагает, что количество терминалов намного меньше, чем антенн у базовой станции (мобильной станции) [15]. Это позволяет в условиях глубоких замираний формировать оптимальную стратегию прохождения луча с учетом избыточности каналов.

В основе концепции *голографической MIMO* (англ. Holographic MIMO) лежит использование субволновых металлических или диэлектрических рассеивающих частиц, способных изменять свойства электромагнитных волн в соответствии формируемым каналом [8].

Таким образом, разнообразные архитектуры беспроводной связи на основе технологий MIMO и методов обработки данных могут применяться для решения самых различных задач, начиная от стандартов сотовой связи поколения 3G (CDMA и UMTS), где реализуются простейшие схемы пространственно-временного разнесения в сочетании с формированием луча при передаче на базовых станциях, до стандартов поколения 4G (LTE и LTE Advanced), ориентированных на использование одноканальной MIMO с пространственным мультиплексированием и пространственно-временным кодированием. При этом в стандартах LTE-Advanced используется технология многопользовательского MIMO [15].

В беспроводных локальных сетях (WLAN) стандарта IEEE 802.11n (Wi-Fi) технология MIMO, как правило, ре-

ализована с использованием следующих трех методов: выбора антенны, пространственно-временного кодирования и формирования луча [14, 16].

Поскольку методы пространственного мультиплексирования предполагают наличие приемников сложных конструкций, их, как правило, комбинируют с реализацией технологии ортогонального мультиплексирования и разделением по частоте (OFDM) или с ортогональным множественным доступом с разделением по частоте (OFDMA) [17]. Поэтому стандарт IEEE 802.16e ориентирован на технологию MIMO-OFDMA, а в стандарте IEEE 802.11n рекомендовано использование метода MIMO-OFDM [15]. В дальнейшем планируется в стандартах 3GPP при предоставлении высокоскоростного пакетного доступа (HSPA+) при применении технологии многопользовательского MIMO (MU-MIMO) [11].

Следует отметить, что сетевой стандарт ITU-T G.9963, который определяет требования к системам связи, использующих линии электропередачи, также предполагает применение технологии MIMO, в которой передача сигналов осуществляется по нескольким проводам переменного тока (фаза, нейтраль и земля) [15].

ОЦЕНКА ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ РАДИОЛИНИЙ С МНОГОАНТЕННЫМИ СИСТЕМАМИ В УСЛОВИЯХ ЗАМИРАНИЙ

Поскольку территория портов насыщена большими металлоконструкциями, для радиотрасс, организуемых в их пределах, будут характерны замирания [8, 18]. Поэтому необходимо оценить пропускную способность MAC, реализующих технологии MIMO в условиях многолучевых каналов.

В общем случае потенциальную пропускную способность многопоточковой системы передачи информации на основе технологии MIMO в многолучевом канале можно оценить с использованием модифицированного уравнения Шеннона [19]:

$$C_{\text{MIMO}+q} = K_n \Delta F_k \log_2 \left\{ 1 + \frac{M}{K_n} \left(\frac{q^2 h^2}{h^2 + q^2} \right) \right\}, \quad (1)$$

где K_n – количество параллельных разнесенных в пространстве потоков данных с одинаковой полосой пропускания частот ΔF , которые удовлетворяют условию максимального мультиплексирования $K_n = \min\{M, N\}$; M – общее количество приемных антенн; N – общее количество передающих антенн; $P_c/P_n = h^2$ – отношение средних мощностей сигнала/канальных шумов; $P_c/P_n = q^2$ – отношение средних мощностей сигнала/интерференционной помехи.

Таким образом, в формуле (1) M характеризует общее количество разнесенных каналов приема.

Формула (1) позволяет определить пропускную способность в радиолиниях с комбинированием схем MAC, использующих технологии MIMO в условиях многолучевости канала. Следует понимать, что каждый из субканалов будет характеризоваться своими уникальными условиями распространения радиоволн [20], которые сложно учесть на практике, в то время как выражение (1) позволяет получить обобщенный результат. При этом интерференционные помехи будут снижать предельную скорость передачи информации в каналах.

Для оценки потерь производительности систем MAC в таких условиях вследствие влияния интерференционной помехи целесообразно сравнить их пропускную способность в гауссовом и многолучевом каналах. С этой целью предлагается использовать показатель, характеризующий отношение реальной пропускной способности, обусловленной замираниями и влияниями интерференционных помех, к максимальной производительности, реализуемой в гауссовом канале. Тогда для расчета относительного снижения скорости передачи информации вследствие влияния интерференционной помехи, воспользуемся следующим выражением

$$\Delta C = \frac{C_{\text{MIMO}} - C_{\text{MIMO}+q}}{C_{\text{MIMO}}}, \quad (2)$$

где C_{MIMO} – пропускная способность системы MAC в гауссовом канале; $C_{\text{MIMO}+q}$ – пропускная способность системы MAC в многолучевом канале с учетом величины интерференционных замираний q .

Для выражения (2) будем полагать, что рассматривается одна и та же MAC.

Выражение для расчета производительности системы MAC в гауссовом канале можно также получить из общего уравнения Шеннона при следующих допущениях [21]: распространения радиоволн в каждом из пространственно-разнесенных каналах одинаково, а сами каналы ортогональны. Тогда искомое выражение принимает вид

$$C = K_n \Delta F_k \log_2 \left(1 + \frac{h^2}{K_n} \right). \quad (3)$$

Формула (3) определяет предельную пропускную способность радиолинии MAC с технологией MIMO без вычисления собственных значений канальной матрицы, поскольку в качестве допущения принято условие равенства каналов.

Для несимметричных MAC, реализующих технологии MISO и SIMO, в соответствии с формулой Шеннона повышение пропускной способности

радиолинии возможно только за счет увеличения ее энергетика. Поэтому для них предельное значение пропускной способности будет, соответственно, определяться как [19]

$$\begin{aligned} C_{\text{MISO}} &= \Delta F_k \log_2(1 + Nh^2); \\ C_{\text{SIMO}} &= \Delta F_k \log_2(1 + Mh^2), \end{aligned} \quad (4)$$

где N, M – соответственно, количество приемных и передающих каналов.

При комплексном использовании МАС с мультиплексированием разнесенной передачи и разнесенного приема обобщенная модель производительности системы МАС с учетом формул (3) и (4) будет иметь вид

$$\begin{aligned} C_{\text{MIMO}} &= \\ &= K_{\Pi} \Delta F_k \log_2 \left(1 + h^2 \frac{M}{K_{\Pi}} \right). \end{aligned} \quad (5)$$

Следует понимать, что применение полученных выражений связано с определенными ограничениями, которые однако не будут сказываться на выборе схемы ММО-системы.

В общем случае представленный подход справедлив только для сравнительного анализа различных способов формирования структуры МАС. Разнесенный прием дает максимальное приращение пропускной способности радиолинии в условиях глубоких замираний и относительно высоких показателях отношения сигнал/шум (ОСШ) на входе приемника. Расчетные значения относительного снижения скорости передачи информации в МАС $\Delta C = (C_{\text{MIMO}} - C_{\text{MIMO}+q})/C_{\text{MIMO}}$, вследствие влияния интерференционной помехи в

соответствии с выражениями (1), (2) и (5) приведены в табл. 1.

Анализ полученных результатов, представленных в табл. 1 и табл. 2, позволяет сделать следующее заключение: интерференционные помехи приводят к существенным потерям производительности МАС по сравнению с каналами с аддитивным белым гауссовым шумом.

В частности, при значений ОСШ в диапазоне 5–15 дБ при глубоких уровнях замираний схема на основе технологии SISO оказывается на 5–10% эффективней схемы МАС с использованием технологий ММО. При изменении ОСШ от 15 до 25 дБ и средних уровнях замираний схемы МАС на основе ММО оказываются на 2–3% эффек-

Таблица 1

Относительное снижение скорости передачи информации за счет влияния интерференционных помех в радиолинии с технологией SISO

q ² , дБ	Разнесение	Значение ОСШ h ² , дБ									
		-5	0	5	10	15	20	25	30	35	40
0	M = 1	0,22	0,42	0,60	0,73	0,81	0,85	0,88	0,90	0,91	0,92
	M = 2	0,20	0,37	0,54	0,66	0,74	0,79	0,83	0,86	0,87	0,89
	M = 3	0,19	0,34	0,49	0,62	0,70	0,76	0,80	0,83	0,85	0,87
	M = 4	0,18	0,32	0,47	0,59	0,67	0,73	0,78	0,81	0,83	0,85
10	M = 1	0,027	0,067	0,14	0,25	0,38	0,50	0,59	0,65	0,70	0,74
	M = 2	0,024	0,057	0,117	0,21	0,33	0,44	0,53	0,60	0,65	0,69
	M = 3	0,023	0,051	0,104	0,19	0,31	0,41	0,50	0,57	0,63	0,67
	M = 4	0,021	0,047	0,096	0,180	0,289	0,396	0,484	0,554	0,61	0,65
40	M = 1	0,0000	0,0001	0,0002	0,0004	0,0009	0,0021	0,0054	0,014	0,034	0,075
	M = 2	0,0000	0,0001	0,0001	0,0003	0,0007	0,0019	0,0048	0,013	0,031	0,070
	M = 3	0,0000	0,0001	0,0001	0,0003	0,0007	0,0017	0,0045	0,0119	0,0300	0,0672
	M = 4	0,0000	0,0000	0,0001	0,0003	0,0006	0,0017	0,0044	0,0115	0,0291	0,0654

Таблица 2

Относительное снижение скорости передачи информации за счет влияния интерференционных помех в радиолинии с технологией ММО (4×4)

q, дБ	Разнесение	ОСШ, дБ									
		-5	0	5	10	15	20	25	30	35	40
0	M = 1	0,23	0,47	0,70	0,84	0,90	0,93	0,95	0,96	0,97	0,97
	M = 2	0,23	0,45	0,66	0,79	0,86	0,90	0,92	0,93	0,94	0,95
	M = 3	0,22	0,43	0,63	0,76	0,83	0,87	0,90	0,92	0,93	0,94
	M = 4	0,22	0,42	0,60	0,73	0,81	0,85	0,88	0,90	0,91	0,92
10	M = 1	0,023	0,082	0,193	0,35	0,51	0,64	0,72	0,77	0,81	0,84
	M = 2	0,029	0,08	0,17	0,30	0,44	0,564	0,65	0,71	0,76	0,79
	M = 3	0,028	0,07	0,15	0,27	0,41	0,53	0,61	0,68	0,73	0,76
	M = 4	0,027	0,067	0,14	0,25	0,383	0,50	0,59	0,654	0,70	0,74
40	M = 1	0,0000	0,0001	0,0002	0,0006	0,0013	0,0029	0,007	0,017	0,041	0,089
	M = 2	0,0000	0,0001	0,0002	0,0005	0,0011	0,0025	0,006	0,015	0,037	0,081
	M = 3	0,0000	0,0001	0,0002	0,0004	0,0009	0,0023	0,0057	0,0144	0,0353	0,078
	M = 4	0,0000	0,0001	0,0002	0,0004	0,0009	0,0021	0,0054	0,0138	0,034	0,075

тивной схемы, реализующих SISO. А в диапазоне значений ОСШ порядка 30–40 дБ влияние разнесенного приема на пропускную способность становится незначительным.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам проведенного исследования можно сделать следующие выводы. Наибольшую эффективность МАС на основе технологий ММО в условиях глубоких замираний обеспечивают при относительно небольшом уровне канальных шумов, когда значение ОСШ лежит в пределах 15–25 дБ. Как правило, такие условия обеспечиваются при коротких дистанциях связи – в пределах 2000 м [21, 22]. При этом выбор МАС с четырьмя каналами позволяет в полной мере решать задачи по обеспечению мобильных абонентов на территории порта надежной и достоверной связью. В частности, коэффициент усиления стандартных антенных модулей базовых станций LTE достигает порядка 27 дБ, что обеспечивает требуемый уровень сигнала в пределах всей зоны обслуживания.

Таким образом, можно заключить о целесообразности внедрения технологий ММО в транкинговые системы связи, развертываемые на территории портов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дорошенко В.И., Ильин А.А., Искандеров Ю.М. Проблемы автоматизации управления корпоративной сетью связи морского порта // Эксплуатация морского транспорта. – 2009. – № 3(57). – С. 9–14. – EDN KXIRQZ.
2. Скварник И. С. Современные технологии в системе управления движением судов в рамках концепции e-Навигации: мировой опыт и региональные особенности (обзор) // Вестник Инженерной школы Дальневосточного федер. ун-та. – 2021. – № 2(47). – С. 50–65. – DOI 10.24866/2227-6858/2021-2-6. – EDN EHDDWA.
3. Анализ влияния электромагнитного излучения от энергетических объектов морских торговых портов на системы связи судов /Клоков В.В., Акмайкин Д. А., Антонов А.А. [и др.] // Эксплуатация морского транспорта. – 2018. – № 4(89). – С. 133–136. – EDN YVKDGX.
4. Бакулин М.Г., Крейнделин В.Б., Панкратов Д.Ю. Применение технологии ММО в современных системах беспроводной связи разных поколений // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2021. – Т. 15. – № 4. – С. 4–12. – DOI 10.36724/2072-8735-2021-15-4-4-12. – EDN FPZEGW.
5. Dvornikov S.S., Zhiglov K.D., Dvornikov S.V. SSB signals with controlled pilot level / S. S. Dvornikov, // Т-Comm. – 2023. – Vol. 17. – No.3. – P. 41–47. – DOI 10.36724/2072-8735-2023-17-3-41-47. – EDN VUZDRH.
6. Шеремет Н.В., Фокин Г.А. Экспериментальная апробация технологии ММО стандарта LTE средствами программно-конфигурируемого радио // Вестник СПбГУТ. – 2024. – Т. 2. – № 3. – EDN SCUWLY.
7. Бен Резеб, Т.Б. Комбинирование технологий многоантенных систем ММО и неортогонального доступа на основе разреженных последовательностей SCMA // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2024. – Т. 18. – № 7. – С. 37–43. – DOI 10.36724/2072-8735-2024-18-7-37-43. – EDN URQ5IS.
8. Шеремет Н.В., Фокин Г.А. Экспериментальная апробация технологии ММО стандарта LTE средствами программно-конфигурируемого радио // Вестник СПбГУТ. – 2024. – Т. 2. – № 3. – EDN SCUWLY.
9. Якушенко С.А., Мальшев А.К. Прогнозирование точности позиционирования в сложных физико-географических условиях. – В сб. докл.: Науч. сессия ГУАП. – В 3 ч. – 2017, с.154–160.
10. Дворников С.В., Крячко А.Ф., Пшеничников А.В. Моделирование радиотехнических систем в конфликтных ситуациях когнитивного характера. – Волновая электроника и инфокоммуникационные системы: Сб. ст. XXII Международ. науч. конфер. – В 2-х ч. – Ч.2, Санкт-Петербург, 3–7 июня 2019 г. – Изд. СПбГУ аэрокосмического приборостроения, 201, с. 84–89. – EDN GLQVYA.
11. Li X., Dang J., Zhang Z. ADMM Based Symbol-Level Precoding for MU-MISO Downlink With Low-Resolution DACs // IEEE Communications Letters. – 2022. – Vol. 26. – No. 12. – P. 2974–2978. – DOI 10.1109/lcomm.2022.3209999. – EDN YGLRJA.
12. Cox John. 802.11n update: TGn Sync vs WWiSE. – 8 February 2005. Network World. IDG. – Retrieved 28 October 2013.
13. WiMAX and the IEEE 802.16m Air Interface Standard (PDF). WiMAXforum.org. WiMAX Forum, April 2010. – Archived from the original (PDF) on 7 December 2013. – Retrieved 28 October 2013.
14. Nohrborg Magdalena. LT. 3GPP.org. 3rd Generation Partnership Project. – Retrieved 29 October 2013.
15. Marzetta Thomas L. Noncooperative Cellular Wireless with Unlimited Numbers of Base Station Antennas // IEEE Transactions on Wireless Communications. – 2010. – Vol.9 (11). – P. 3590–3600. doi:10.1109/TWC.2010.092810.091092.
16. Влияние локально-плоских искажений излучающего раскрытия на диаграмму направленности фазированной антенной решетки / Бибарсов М.Р. Бибарсова Г.Ш., Габриэльян Д.Д. [и др.] // Изв. вузов России. – Сер.: Радиоэлектроника. – 2023. – Т. 26. – № 1. – С. 17–25. – DOI 10.32603/1993-8985-2023-26-1-17-25. – EDN EDKAPC.
17. Исследование субканальных шумов сигналов, сформированных по технологии ортогонального частотного мультиплексирования / Бестугин А.Р., Дворников С.В., Крячко А.Ф. [и др.] // Вопросы радиоэлектроники. – Сер.: Техника телевидения. – 2018. – № 3. – С. 123–129. – EDN VAIBLL.
18. Дворников С.В., Дворников С.С., Пшеничников А.В. Аппарат анализа частотного ресурса для режима псевдослучайной перестройки рабочей частоты // Информационно-управляющие системы. – 2019. – № 4(101). – С. 62–68. – DOI 10.31799/1684-8853-2019-4-62-68. – EDN VUYF0.
19. Крейнделин В. Б., Панкратов Д.Ю. Анализ пропускной способности радиоканала системы ММО в условиях пространственно коррелированных замираний // Информационные процессы. – 2017. – Т. 17, № 3. – С. 188–198. – EDN ZGWHLN.
20. Дворников С.В., Фокин Г.А., Аль-Одхари А.Х., Федоренко И.В. Оценка влияния свойств сигнала PRS LTE на точность позиционирования // Вопросы радиоэлектроники. – Сер.: Техника телевидения. – 2017. – № 4. – С. 94–103. – EDN YQWNLJ.
21. Эмпирический подход к расчету зон покрытия цифровых телевизионных передатчиков / Дворников С.В., Литкевич Г.Ю., Романенко П.Г. [и др.] // Вопросы радиоэлектроники. – Сер.: Техника телевидения. – 2017. – № 3. – С. 70–75. – EDN ZTCABH.
22. Дворников С.В., Марков Е.В., Маноши Э.А. Повышение помехозащищенности передач дециметровых радиоканалов в условиях непреднамеренных помех // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2021. – Т. 15. – № 6. – С. 4–9. – DOI 10.36724/2072-8735-2021-15-6-4-9. – EDN KHPWMU. ■

А для обеспечения необходимой дальности (качества) радиосвязи на действующих радиолиниях зачастую требуется существенное увеличение излученной радиопередающими устройствами мощности до уровня 80 кВт и выше. Для этого, как правило, в передающем центре устанавливается передатчик с выходной мощностью 100 кВт, например «Пурга-2». Усилители мощности подобного рода радиопередающего устройства строятся по резонансной схеме на электровакуумных генераторных приборах. Время перестройки с частоты на частоту у таких передатчиков доходит до нескольких минут при наличии системы автоматической перестройки. Это первое направление. Однако такие радиопередающие устройства, используемые для связи, обладают рядом недостатков:

- в радиоцентре появляется дополнительное устройство, эксплуатация которого существенно отличается от эксплуатации менее мощных передатчиков, т. е. налицо нарушение унификации передающего центра;
- скорость перестройки может доходить до нескольких минут;
- невозможно работать в радиолиниях с быстрой перестройкой частоты (режим ППРЧ);
- недостаточно высокая надежность такого передатчика, поскольку его выходной каскад выполнен на электровакуумном приборе, имеющем небольшие значения наработки на отказ и ресурс, и где используются высокие постоянные и высокочастотные напряжения (до 30 кВ). Преимуществом первого направления является более компактное размещение элементов в корпусе передатчика и отсутствие специального суммирующего устройства. Недостаток этого направления проявляется при эксплуатации передатчика, когда выход из строя одного из элементов схемы приводит к остановке всего передатчика и прекращению связи, что в современных условиях неприемлемо.

Второе направление – создание широкополосного передатчика требуемой мощности путем сложения мощностей нескольких менее мощных унифицированных широкополосных передающих модулей в суммирующем устройстве. Оно более приемлемо, поскольку обеспечивается непрерывность работы, так как выход из строя одного из суммируемых передатчиков не приводит к прекращению связи. Кроме этого, может быть обеспечена скорость перестройки на произвольную рабочую частоту порядка 5 мс при довольно высокой надежности, особенно при использовании твердотельных передающих модулей.

ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ ШИРОКОПОЛОСНЫХ ПЕРЕДАЮЩИХ АНТЕННО-АППАРАТУРНЫХ КОМПЛЕКСОВ ПОВЫШЕННОЙ МОЩНОСТИ НА БАЗЕ УНИФИЦИРОВАННЫХ 5-КИЛОВАТТНЫХ МОДУЛЕЙ

*П. И. Хибенков, канд. техн. наук, гл. науч. сотрудник,
П. В. Прошин, вед. инженер,
АО «НТИ «Радиосвязь»,
hibenkov@mail.ru, proshin_pv@ntiradio.ru*

Существуют два типа устройств синфазного сложения мощностей:

- с непосредственным подключением передатчиков (последовательно либо параллельно) к нагрузке;
- мостовые устройства.

Устройства первого типа отличаются большой простотой и отсутствием балластных нагрузок. Их основным недостатком – отсутствие развязки между суммируемыми передатчиками, что в ряде случаев при выходе из строя одного из передатчиков парализует работу остальных. Поэтому вышедший из строя передатчик необходимо отключать от нагрузки и, следовательно, останавливать работу всей системы в целом.

Устройства второго типа сложения – мостовые – хорошо развязывают передатчики и позволяют сохранить работоспособность даже при выходе из строя одного из них.

По этой причине в схеме сложения мощностей до 80 кВт используются оба перечисленных выше типа устройств сложения. На входе мощности четверок 5-киловаттных модулей складываются с помощью мостовых устройств, обра-

зуя на выходе 20-киловаттные модули с хорошей развязкой. Далее мощности четырех 20-киловаттных модулей складываются с использованием параллельного и последовательного их включения в тракт с необходимой трансформацией сопротивлений. Такая схема сложения выбрана по следующим причинам:

- во-первых, мостовые устройства достаточно хорошо реализуются на коаксиальных кабелях и ферритовых кольцах до мощностей 20 кВт на их выходе;
- во-вторых, при дальнейшем увеличении мощности резко возрастают размеры коаксиальных линий и ферритовых изделий, что приводит к невозможности физической реализации таких устройств с приемлемыми характеристиками.

Как раз по этой причине на выходе тракта сложения используется принцип параллельно-последовательного сложения, где развязка первичных 5-киловаттных модулей обеспечивается мостовыми устройствами.

В целом предлагаемая система сложения мощностей представлена на рис. 1.

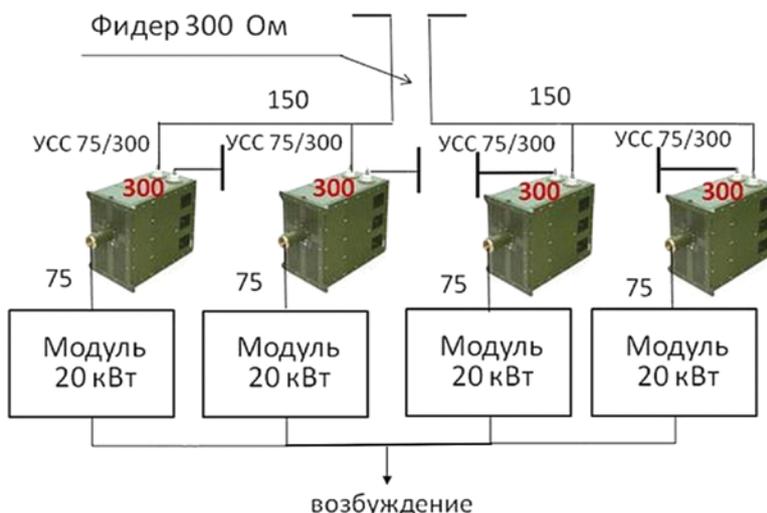


Рис. 1. Предлагаемая схема сложения мощностей

В этой схеме на входе имеются четыре устройства мостового сложения мощностей 5-киловаттных модулей, образующих четыре модуля по 20 кВт.

Из двух пар 20-киловаттных модулей, включенных через согласующие трансформаторы УСС 75/300, образуются два плеча с сопротивлениями по 150 Ом, которые подключаются к плечам симметричного фидера со стандартным сопротивлением

300 Ом. Для обеспечения противофазности возбуждения плеч фидера инвертируются выходы УСС 75/300 (на рис. 1 – справа).

Представленная на рис. 1 схема позволяет осуществлять сложение мощностей ряда унифицированных 5-киловаттных модулей до уровня мощностей 80 кВт и выше. Внедрение в схему устройств коммутации ВЧ сигналов позволяет построить передающий комплекс

с несколькими независимо работающими радиоканалами с возможностью широкого варьирования их выходных мощностей.

Построение комплекса, представленного на рис. 1, в принципе, может быть выполнено с использованием серийных 5-киловаттных широкополосных модулей с использованием устройства мостового сложения и трансформаторов типа УСС 75/300 (например, из состава изделия АРПС-20). ■

ВВЕДЕНИЕ

Сегодня отечественное судоходство невозможно представить без новейших систем радиосвязи, радиолокации и радионавигации [1–4]. На практике во многих задачах статистической радиотехники и радиофизики, которые решаются в таких радиотехнических системах, обрабатываются аддитивные смеси модулированного гармонического колебания и гауссовского шума [4–7].

Несмотря на то, что вероятностные характеристики таких процессов известны, однако автокорреляционные функции аддитивных компонент, составляющих случайный процесс, либо не учитываются вообще, либо учитываются лишь только для модулированной компоненты.

Найдем двумерную плотность распределения вероятностей (ПРВ) двухкомпонентного случайного процесса (ДСП) с учетом автокорреляции парциальных компонент. Определим выражения для смешанных моментов.

Математическая модель. Представим ДСП как

$$y(t) = x(t) + n(t), \quad (1)$$

где $x(t) = a(t)\cos[\omega_0 t + \Phi(t) + \theta]$ – гармоническая составляющая с частотой ω_0 и случайной фазой θ , равномерно распределенной на интервале $[0, 2\pi]$; $a(t)$, $\Phi(t)$ – нормальные случайные процессы, характеризующие амплитудную и фазовую модуляции; $n(t)$ – гауссовский шум с дисперсией σ_m^2 и коэффициентом автокорреляции $R(\tau)$. Случайные процессы $x(t)$ и $n(t)$ считаем стационарными и взаимно независимыми.

Вначале рассмотрим случай, когда $a(t) = A_0 = \text{const}$.

Воспользовавшись [8], запишем совместную ПРВ случайных величин $y_1 = y(t_1)/A_0$, $y_2 = y(t_2)/A_0$ в виде

$$W(y_1, y_2) = \sum_{k,m=0}^{\infty} \epsilon_k \epsilon_m (\tau) \cos(\omega_0 \tau) \frac{R^m(\tau)}{m!} J_k(\omega_0 \tau) J_m(\omega_0 \tau), \quad (2)$$

где $\epsilon_0 = 1$, $\epsilon_k = 2$ при $k \geq 1$; $F_k(\tau) = [F_1(\tau)]^{k^2}$, $\tau = t_2 - t_1$; $F_1(\tau)$ – огибающая коэффициента корреляции процесса $x(t)$.

В (2) введено следующее обозначение:

$$D_{km}(y) = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\alpha}{\pi}} \int_{-\pi}^{\pi} \exp\{-\alpha(y - \cos\varphi)^2\} \cos k\varphi H_m[\sqrt{2\alpha}(y - \cos\varphi)] d\varphi, \quad (3)$$

где $\alpha = A_0^2 / 2\sigma_m^2$ – отношение мощности модулированной составляющей к мощности гауссовского шума; $H_m(y)$ – полиномы Эрмита.

Формула (2) является решением поставленной задачи при отсутствии амплитудной модуляции в составляющей $x(t)$. Эта формула обобщает результаты [8] на случай автокорреляции компоненты $n(t)$.

ДВУМЕРНАЯ ПЛОТНОСТЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕРОЯТНОСТЕЙ ДВУХКОМПОНЕНТНОГО СЛУЧАЙНОГО ПРОЦЕССА С УЧЕТОМ АВТОКОРРЕЛЯЦИИ ПАРЦИАЛЬНЫХ КОМПОНЕНТ

Е.К. Самаров, д-р техн. наук,
декан факультета естественных наук СПбГМТУ,
контакт. тел. +7 (926) 294 6744, omega511@mail.ru

Согласно [6], выражение для одномерной ПРВ процесса (1) может быть представлено в виде

$$W_1(y) = \sqrt{\frac{\alpha}{\pi}} \exp\{-\alpha y^2\} \exp\left\{-\frac{\alpha}{2} \sum_{k=1}^{\infty} \epsilon_k (-1)^k I_k\left(\frac{\alpha}{2}\right) I_{2k}(2\alpha y)\right\}, \quad (4)$$

где $I_k(z)$ – модифицированная функция Бесселя порядка k . Формула (4) совпадает с приведенной в [6].

Частные результаты. Рассмотрим некоторые частные результаты, вытекающие из (2).

При $R(\tau) = 0$ получаем

$$W(y_1, y_2) = \sum_{k=0}^{\infty} \epsilon_k \epsilon_k (\tau) \cos(\omega_0 \tau) J_k(\omega_0 \tau) J_k(\omega_0 \tau).$$

Это выражение с точностью до обозначений совпадает с выражением, приведенным в [8].

При $F_k(\tau) = 1$ выражение (2) позволяет получить двумерную ПРВ суммы квазидетерминированного гармонического колебания амплитуды A_0 , частоты ω_0 , случайной фазой θ и коррелированного гауссовского шума. В этом случае, согласно [9], возможна другая запись выражения (2):

$$W(y_1, y_2) = \frac{\alpha}{\pi \sqrt{1-R^2}} \exp\left\{-\frac{\alpha}{1-R^2}(y_1^2 + y_2^2 - 2Ry_1y_2)\right\} \times \exp\left\{-\frac{\alpha}{1-R^2}(1-2R\cos\omega_0\tau)\right\} \sum_{k=0}^{\infty} \epsilon_k (-1)^k I_k\left[\frac{\alpha}{1-R^2}(1-2R\cos\omega_0\tau)\right] \times \left\{ 2\alpha \sqrt{\left[\frac{(y_1 - y_2) \sin \frac{\omega_0 \tau}{2}}{1-R}\right]^2 + \left[\frac{(y_1 + y_2) \cos \frac{\omega_0 \tau}{2}}{1+R}\right]^2} \right\} \times \cos\left\{2 \arctg \left[\frac{y_1 - y_2}{y_1 + y_2} \frac{1+R}{1-R} \operatorname{tg} \frac{\omega_0 \tau}{2} \right]\right\}. \quad (5)$$

Заметим, что (5) совпадает с аналогичным выражением, приведенным в [10], одномерная ПРВ, вытекающая из (5), совпадает с (4).

Общее выражение для смешанного момента. Найдем общее выражение для смешанного момента порядка (p, q) , определяемого как

$$M_{p,q} = \int \int_{-\infty}^{\infty} y_1^p y_2^q W(y_1, y_2) dy_1 dy_2, \quad p, q = 0, 1, 2, \dots \quad (6)$$

Подставляя (2) в (6), получаем

$$M_{p,q} = \sum_{k,m=0}^{\infty} \epsilon_k F_k(\tau) \cos(k\omega_0 \tau) \frac{R^m(\tau)}{m!} \gamma_p(k, m) \gamma_q(k, m), \quad (7)$$

где

$$\gamma_n(k, m) = \int_{-\infty}^{\infty} y^n D_{km}(y) dy, \quad n = 0, 1, 2, \dots \quad (8)$$

Подставляя (3) в (8), после вычисления интегралов с помощью [9] находим

$$\gamma_n(k, 2p) = \frac{n!}{2^{n-p}} \sum_{l=p}^{(n-k)/2} \frac{\alpha^{-l}}{(l-p)! \left(\frac{n-k-l}{2}\right)! \left(\frac{n+k-l}{2}\right)!}, \quad (9)$$

$$n \geq k, \quad n \geq 2p;$$

$$\gamma_n(k, 2p+1) = \sqrt{\frac{2}{\alpha}} \frac{n!}{2^{n-p}} \sum_{l=p}^{(n-k-1)/2} \frac{\alpha^{-l}}{(l-p)! \left(\frac{n-k-l}{2}\right)! \left(\frac{n+k-l}{2}\right)!}, \quad (10)$$

$$n \geq k, \quad n \geq 2p+1.$$

Отметим, что формула (9) отлична от нуля лишь в том случае, когда индексы k, n имеют одинаковую четность, а формула (10) – при разной четности. Это вытекает из свойства четности функции $\cos kf$ и y^n , входящих в выражения (3) и (8).

Как показывают непосредственные вычисления, формулы (9), (10) отличны от нуля при $(k+m) \leq n$.

Вычисления по (9), (10) удобно представить в форме матрицы $T_n = \|\gamma_n(k, m)\|$, порядок которой равен $(n+1)$. Например, для матриц T_1, T_2 имеем

$$T_1 = \begin{bmatrix} 0 & (2\alpha)^{-1/2} \\ 2^{-1} & 0 \end{bmatrix}, \quad (11)$$

$$T_2 = \begin{bmatrix} 2^{-1} & 0 & \alpha^{-1} \\ 0 & (2\alpha)^{-1/2} & 0 \\ 2^{-2} & 0 & 0 \end{bmatrix}. \quad (12)$$

Как видно из приведенных примеров, в матрице T_n отличны от нуля только члены побочной диагонали и члены наддиагоналей, расположенных через одну от побочных. Осевые члены матрицы равны нулю.

Примеры применения формул. Рассмотрим некоторые примеры применения формул (9), (10). Заметим, что при $k=m=0$ выражения (8), (9) определяют начальные моменты порядка $2n$ колебания (1):

$$m_{2n}(\alpha) = \frac{(2n)!}{2^{2n}} \sum_{l=0}^n \frac{\alpha^{-l}}{l!(n-l)!^2}.$$

Вычислим корреляционную функцию процесса (1), определяемую как смешанный момент вида (6) при $p=q=1$: $B_y(\tau) = M_{11}$.

С помощью формул (7), (11) получим выражение

$$B_y(\tau) = \frac{F_1(\tau) \cos(\omega_0 \tau)}{2} + \frac{R(\tau)}{2\alpha},$$

которое отличается от аналогичного [10] лишь способом нормировки.

Модификация полученных выражений при наличии амплитудной модуляции. Рассмотрим модификацию полученных выражений при наличии амплитудной модуляции в модулированной составляющей. Выражение для двумерной ПРВ при модуляции по амплитуде в соответствии с нормальным законом приведено в [8]. Если же амплитудная модуляция проводится в соответствии с обобщенным законом Релея [10] с параметрами (A_0, σ_a) , то в одномерном случае приведенные выше соотношения сохраняют силу при замене α на параметр α_M , определяемый как

$$\alpha_M = \frac{\alpha}{2\alpha m_a^2 + 1}, \quad (13)$$

где $m_a = \sigma_a / A_0$ – коэффициент амплитудной модуляции. Заметим, что обобщенный закон Релея приближенно описывается нормальным распределением, когда $\sigma_a \ll A_0$, т. е. для неглубокой амплитудной модуляции ($m_a \ll 1$).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, рассмотрена и проанализирована задача нахождения двумерной ПРВ двухкомпонентного случайного процесса с учетом автокорреляции парциальных компонент. Получены выражения для определения расчетов смешанных моментов. Показано, что эти соотношения обобщают известные результаты и позволяют определять энергетические характеристики радиосистем без использования формальных операций, связанных с наличием белого гауссовского шума.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Никитин В.С., Моисеев Н.И.* Перспективные корабельные системы прямой радиосвязи. – СПб.; Элмор, 2004. – 224 с.
2. Судовая радиоэлектроника и радионавигационные приборы/ *Байрашевский А.М., Жерлаков А.В., Ильин А.А., Ничипоренко Н.Т., Сапегин В.В.* – М.: Транспорт, 1988. – 271 с.
3. *Дуров А.А., Кан В.С., Ничипоренко Н.Т., Устинов Ю.М.* Судовые радиолокационные системы и САПП: учебник для вузов. – П. Камчатский. КамчатГТУ, 2005. – 280 с.
4. *Амиантов И.Н.* Избранные вопросы статистической теории связи. – М.: Сов. радио, 1971. – 416 с.
5. *Кеннеди Р.* Каналы связи с замираниями и рассеянием. – М.: Советское радио, 1973. – 304 с.
6. *Ширман Я.Д., Манжос В.Н.* Теория и техника обработки радиолокационной информации на фоне помех. – М.: Радио и связь, 1981. – 416 с.
7. *Кук Ч., Бернфельд М.* Радиолокационные сигналы/ Пер. с англ. под ред. В. С. Кельзона. – М.: Советское радио, 1971. – 568 с.
8. *Валеев В.Г., Данилов В.А.* Оптимальное обнаружение сигналов на фоне негауссовских коррелированных радиопомех // Изв. высших учебных заведений. – Сер.: Радиоэлектроника, 1991. – №7. – С. 30–34.
9. *Градштейн И.С., Рыжик И.М.* Таблицы интегралов, сумм, рядов и произведений. – М.: Наука, 1971. – 1100 с.
10. *Левин Б.Р.* Теоретические основы статистической радиотехники. – М.: Сов. радио, 1989. – 656 с. ■

Современное интенсивное развитие автономных необитаемых подводных аппаратов (АНПА) значительно расширило области их применения и спектр решаемых при этом задач [1, 2]. С помощью современных АНПА уже сейчас возможно решение сложных комплексных задач, связанных с проведением глубоководных работ различной сложности. При этом особую важность приобретают задачи, связанные с необходимостью оснащения подводных аппаратов современными системами скоростной подводной связи.

Согласно экспертным оценкам [1, 3] для оперативной передачи команд управления и данных телеметрии при управлении одиночным АНПА требуется организация подводного приемопередающего гидроакустического канала, обеспечивающего обмен данными на скоростях до десятка Кб/с с относительно малым числом ошибок (BER – Bit Error Rate) от 10^{-4} – 10^{-5} . Существующие гидроакустические модемы, представленные на рынке гидроакустической аппаратуры, позволяют обмениваться данными на скоростях порядка 20–62 Кб/с на расстояниях до 1–2 км (модемы фирм EvoLogics (Германия), LinkQuest (США) и др.) и порядка 1,5–9,2 Кб/с на расстояниях 5–10 км (модемы Aquasent (США), DSPComm (Великобритания) и др.) [1, 3].

В современных гидроакустических модемах наиболее часто применяются методы фазовой (PSK) и частотной манипуляции (FSK) [1, 3, 4]. Данные методы модуляции в равной степени используются более чем в 40% представленных на рынке гидроакустических модемов. Метод модуляции S2C (Sweep Spread Carrier, EvoLogics, Германия) и BASS (Broadband Acoustic Spread Spectrum, LinkQuest, США) использован в чуть более 11% и 17% моделей промышленных гидроакустических модемов, соответственно [1, 2]. Наряду с указанными методами модуляции широко применяются технологии мультиплексирования с ортогональным частотным разделением каналов (OFDM – Orthogonal frequency-division multiplexing). Доля гидроакустических модемов, разработанных с применением этой технологии, на сегодняшний день составляет более 11%, что сопоставимо с долей гидроакустических модемов, использующих модуляцию S2C [1, 3].

Востребованность OFDM определяется тем, что, несмотря на ряд присущих методу недостатков, таких как повышенная требовательность к синхронизации режима приема/передачи, высокое влияние пик-фактора, а также

ТЕХНИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МОДЕМА ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ ГИДРОАКУСТИЧЕСКОЙ СВЯЗИ

А.В. Дранников, науч. руководитель по направлению
ФГУП «ВНИИА им. Н.Л. Духова»,
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

зашумленность смежных частотных диапазонов, данная технология обеспечивает максимальную пропускную способность и значительную устойчивость к многолучевому распространению. Технология OFDM применяется преимущественно в условиях глубокого моря, с заглублением гидроакустических приемопередающих антенн ниже уровня «температурного скачка».

В данной работе представлены результаты разработки модема высокоскоростной гидроакустической связи (МВСГАС) и натурных испытаний его опытного образца. В основе реализованного в модеме режима связи лежит технология OFDM, дополненная предложенными авторами методами формирования помехоустойчивого кодирования и математической обработки гидроакустического сигнала. Ближайшим аналогом разработанному МВСГАС, согласно сравнительным оценкам технических характеристик [1], является подводный акустический модем UWM2000 компании LinkQuest, США. Данный модем позволяет обеспечивать информационный обмен со скоростью 19,2 кбит/с в частотном диапазоне 26,77–44,62 кГц на удалении до 1500 м.

Реализованный в МВСГАС режим связи позволяет обеспечивать максимальную скорость информационного обмена без применения помехоустойчивого кодирования на уровне 34,8 кбит/с (частотный диапазон – 18,75–45,75 кГц), а при применении помехоустойчивого кодирования на уровне 17,4 кбит/с с вероятностью ошибки приема информации (BER) не ниже 10^{-6} . Достижимой при использовании турбокода, является оценка BER на уровне не ниже 10^{-9} [2, 5]. Приведенные характеристики были подтверждены в ходе проведенных натурных испытаний опытного образца МВСГАС.

Модем изготовлен в двух вариантах – в корабельном исполнении и в варианте с низким энергопотреблением.

Корабельный вариант исполнения МВСГАС является более производительным, поддерживающим информационный обмен в одном из пяти заданных частотных диапазонов.

Вариант исполнения модема с низким энергопотреблением разработан с учетом его эксплуатации на малоразмерных АНПА, донных станций наблюдения, сбора информации и мониторинга радиоактивного загрязнения среды, и др.). Данный вариант исполнения обеспечивает обмен данными по двум диапазонам частот. В режиме приема мощность потребления данного модема не превышает 5 Вт.

Оба варианта модема высокоскоростной гидроакустической связи имеют полную информационно-сигнальную совместимость и обеспечивают взаимный прием/передачу цифровой информации. Частотные диапазоны могут быть программно перенастроены с учетом реальных условий эксплуатации.

Подробнее информация о технических характеристиках разработанного модема приведена в далее, в разделе «Опытный образец модема высокоскоростной гидроакустической связи».

В настоящее время изготовлен опытный образец гидроакустической приемопередающей аппаратуры, включающий корабельный вариант МВСГАС и вариант с низким энергопотреблением. Данный образец успешно прошел натурные испытания в условиях Черного моря в районах городов Сочи и Севастополя и был представлен в составе объединенной выставочной экспозиции Госкорпорации «Росатом» на Международном военно-техническом форуме «Армия-2024». В ходе натурных испытаний заявленные характеристики разработанного гидроакустического модема были подтверждены. Тем самым была подтверждена его высокая конкурентоспособность по отношению к разработкам ведущих иностранных производителей, таких, как LinkQuest (США), EvoLogics (Германия), IXSEA (Бельгия), Kongsberg Maritime (Норвегия) и др.

Потенциальными заказчиками разработанного МВСГАС рассматриваются предприятия морского флота, гидрографические службы и предприятия по эксплуатации морских подводных объектов, в том числе работающие в Арктической зоне.

МОДЕМ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ ГИДРОАКУСТИЧЕСКОЙ СВЯЗИ

Важнейшими эксплуатационными показателями гидроакустических систем связи, определяющими условия и области их применения, являются помехоустойчивость, средняя скорость передачи информации и дальность устойчивого приема/передачи. К одним из основных технических характеристик гидроакустических систем связи относится коэффициент битовых ошибок, применяемый для оценки точности принятой информации.

Коэффициент битовых ошибок BER – коэффициент, определяемый соотношением количества бит, принятых с ошибкой N_E , и количество переданных бит [3] ($BER=N_E/N_T$). Уровень ошибок существенно снижается за счет применения помехоустойчивого кодирования. Так, применение сверточного кодирования позволяет улучшить показатель BER до значения 10^{-8} со значения 10^{-3} , полученного по результатам приема пакета данных при соотношении сигнал/шум больше или равным 6 дБ. Для современных гидроакустических модемов, например компании Oceania (США), занимающей около 2% соответствующего сегмента рынка, показатель BER соответствует 10^{-4} . Для более распространенных моделей, например компании EvoLogics (Германия), занимающей более 21% рынка, показатель BER значительно лучше и составляет порядка 10^{-10} [1, 2].

Технические характеристики гидроакустических модемов, определяющих дальность подводной связи, можно оценить, исходя из общего уравнения, согласно которому дальность связи r определяется соотношением мощностей сигнала в точка излучения $P_{изл}$ и в точке приема $P_{вх}$, параметров передающей антенны:

$$r = \sqrt{\frac{1}{4\pi} \cdot \frac{P_{изл}}{P_{вх}} \cdot G \cdot S_0 \cdot \gamma_E},$$

где G – коэффициент направленного действия передающей антенны; S_0 – эффективная площадь приемной антенны; γ_E – коэффициент потерь энергии гидроакустического сигнала, равный $\gamma_E \approx e^{-0,23\beta \cdot r}$, где β – коэффициент затухания акустических колебаний в морской среде, условно аппроксимируемый выражением $\beta \approx 0,036 \cdot f^{1,5}$.

Анализ приведенных выражений показывает высокую зависимость дальности подводной связи r при прочих равных параметрах от соотношения мощностей в точках излучения и приема гидроакустического сигнала $P_{изл}/P_{вх}$ и центральной частоты f_0 диапазона рабочих частот $\Delta f_{пр}$ гидроакустического сигнала.

На рис. 1 представлен график зависимости дальности осуществления приема/передачи от выбора оптимальной центральной частоты гидроакустического сигнала. График построен, исходя из оценочного эмпирического соотношения $f_{опт} \approx 62/r^{2/3}$, где $f_{опт}$ – оптимальная частота, кГц, r – дальность осуществления устойчивой связи [3].

С данной зависимостью хорошо согласуются линии трендов (отмечены пунктирными линиями) соотношений дальность/частота гидроакустических модемов компании LinkQuest (США) и компании EvoLogics (Германия) (рис. 1) [1,2]. На диаграмме выделен диапазон частот, в пределах которого реализованы режимы связи разработанного МВСГАС. Согласно результатам натурных испытаний заявленные при разработке характеристики приема МВСГАС были подтверждены на удалениях до 10 500 м.

Для оценки пропускной способности гидроакустических модемов воспользуемся теоремой Шеннона, согласно которой пропускная способность гид-

роакустического канала определяется шириной диапазона рабочих частот и соотношения сигнал-шум:

$$R_b = \Delta f_{пр} \cdot \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right),$$

$$R_b \approx \Delta f_{пр} \cdot 1,44 S/N,$$

где R_b – пропускная способность канала, бит/с, $\Delta f_{пр}$ – полоса пропускания, Гц, S/N – соотношение сигнал/шум, дБ, где S и N – полные мощности сигнала и шума в полосе пропускания, Вт.

На рис. 2 представлен график соотношения дальности осуществления устойчивого приема/передачи и достижимой при этом скорости передачи данных. Он построен по результатам аппроксимации заявленных характеристик моделей промышленных модемов компании LinkQuest и компании EvoLogics [2]. Для сравнительной оценки на графике приведены процентные соотношения количества представленных на рынке моделей гидроакустических модемов.

Результаты натурных испытаний МВСГАС подтвердили возможность устойчивого информационного обмена на скоростях от 1,392 кбит/с в полосе частот 4,875 – 10,875 кГц на удалении 10,5 км и до 2,2 кбит/с в полосе частот 15,0 – 27,0 кГц на удалении до 1,5 км при применении однократной относительной фазовой манипуляции. При этом оценки BER режимов связи составляют 10^{-2} на дистанциях связи 10,5 км и 10^{-5} на дистанциях 1,5 км. Применение метода трехкратной относительной фазовой манипуляции позволило повысить на горизонтальных дальностях до 10,5 км скорость обмена передачей информации до 4,160 кбит/с с вероятностью битовой ошибки не более $3,02 \cdot 10^{-3}$ [2].

Формирование OFDM-сигналов реализуется с помощью дискретного обратного преобразования Фурье. Для этого исходный бинарный поток данных преобразуется в некоторое число параллельных потоков, каждый из которых передается на отдельной поднесущей

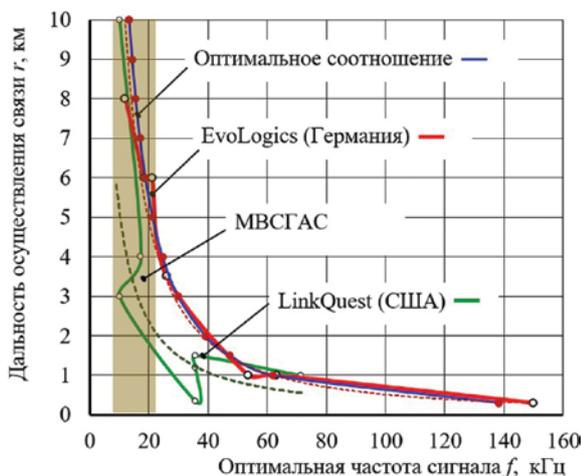


Рис. 1. График зависимости дальности осуществления подводной связи от оптимальной частоты гидроакустического сигнала

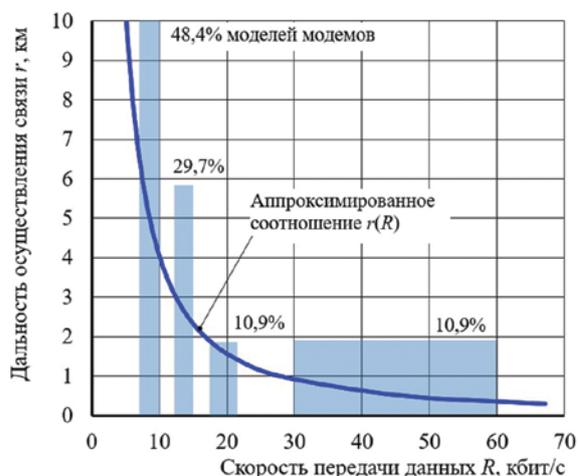


Рис. 2. График соотношения дальности осуществления устойчивых приема/передачи и достижимой для нее скорости передачи данных

частоте. Группа поднесущих частот определяется как символ OFDM.

При приеме сигналов OFDM ключевой проблемой остается задача установления точной временной и частотной синхронизации приемника и передатчика во всем диапазоне доплеровских скоростей, поскольку ошибки синхронизации приводят к потере ортогональности поднесущих при демодуляции, что, в конечном счете, приводит к росту числа ошибок в принимаемой информации.

Длительность OFDM-символа – длительность одновременной передачи бит информации параллельных потоков данных по различным поднесущим – определяется временем передачи бита и временем защитного интервала или циклического префикса (cyclic prefix). Введение префикса, несмотря на увеличение времени передачи символа и занижения вследствие этого скорости обмена данными, позволяет существенно нивелировать межсимвольные искажения сигналов, вызванных свойством многолучевости гидроакустического канала.

В представленном МВСГАС реализован алгоритм коррекции параметров режима связи в зависимости от реальных условий гидроакустического канала. В числе корректируемых параметров режима связи есть и коэффициент длительности защитного интервала символа OFDM, который может быть установлен равным 0,25, 0,5, 0,75, 1,0 относительно интервала ортогональности.

С целью повышения достоверности передачи информации в канале со сложными гидрологическими условиями, влиянием шума, тональных и импульсных помех, а также проявлением эффекта Доплера в представленном образце МВСГАС применяется помехоустойчивое кодирование исходной бинарной информации с применением сверточного кодирования со скоростью кода 1/2, 1/3 и кодирование с применением

турбокода со скоростью 1/3. Передача информации осуществляется методами одно-, двух- и трехкратной относительной фазовой манипуляции [5].

Входная бинарная информация, подлежащая передаче, подвергается помехоустойчивому кодированию (если таковое применяется) и делится на информационные кадры, длина которых определяется заданным числом информационных OFDM-символов. Каждый информационный кадр дополняется опорным OFDM-символом с поднесущими частотами.

Для обеспечения устойчивых приема/передачи при относительном перемещении приемника и передатчика до 6 уз (3 м/с), в том числе при маневрировании АНПА относительно базовой станции и обработки круговых траекторий, при котором резко возрастает влияние эффекта Доплера, в режиме связи МВСГАС предусмотрен алгоритм оперативной коррекции базовой станцией параметров передаваемых с АНПА OFDM-сигналов. Данный алгоритм обеспечивает возможность оперативно уменьшения числа символов OFDM в кадре (с 32 до 8), что увеличивает устойчивость сеанса связи МВСГАС.

В качестве синхросигнала, стартового и опорного сигналов используется сложный шумоподобный сигнал, представляющий собой гармоническое колебание, манипулированное по фазе на 180° псевдослучайной двоичной M-последовательностью [5].

В процессе приема опорный сигнал используется для поддержания синхронизации, определения текущего доплеровского коэффициента и демодуляции принимаемого OFDM-сигнала. При приеме OFDM-сигнала осуществляются поиск и обнаружение стартового сигнала и сигнала синхронизации. При обнаружении сигнала синхронизации вычисляется текущий доплеровский коэффициент и проводится кор-

рекция временного положения опорного символа первого информационного кадра. Далее слежение за доплеровским коэффициентом и коррекция временного положения опорного символа выполняются на каждом информационном кадре OFDM-сигнала.

Перед началом демодуляции информационной части OFDM-сигнала проводится передискретизация входных отсчетов OFDM-символов кадра в соответствии с вычисленным текущим доплеровским коэффициентом.

Демодуляция OFDM-сигнала осуществляется относительно опорного символа в пределах каждого кадра в соответствии с выбранным методом модуляции. При этом используется механизм дискретного прямого преобразования Фурье. Далее полученная в результате демодуляции бинарная информация декодируется по алгоритму, соответствующему выбранному типу помехоустойчивого кода, и передается потребителю по каналу Ethernet (в корабельном варианте модема) или по последовательному интерфейсу RS232/422/485 (в модеме с низким энергопотреблением).

Можно сказать, что реализованный в образце МВСГАС алгоритм оперативной коррекции параметров режима связи имеет девять степеней свободы, формируемых выбором одного из трех методов модуляции и одного из трех видов помехоустойчивого кода, что позволяет оптимизировать режим подводной связи с учетом реальных условий формирования гидроакустического канала.

ОПЫТНЫЙ ОБРАЗЕЦ МОДЕМА ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ ГИДРОАКУСТИЧЕСКОЙ СВЯЗИ

Разработанный опытный образец МВСГАС, как уже сказано, был представлен в составе объединенной Госкорпорации «Росатом» на Международном военно-техническом форуме «Армия–2024» (рис. 3).

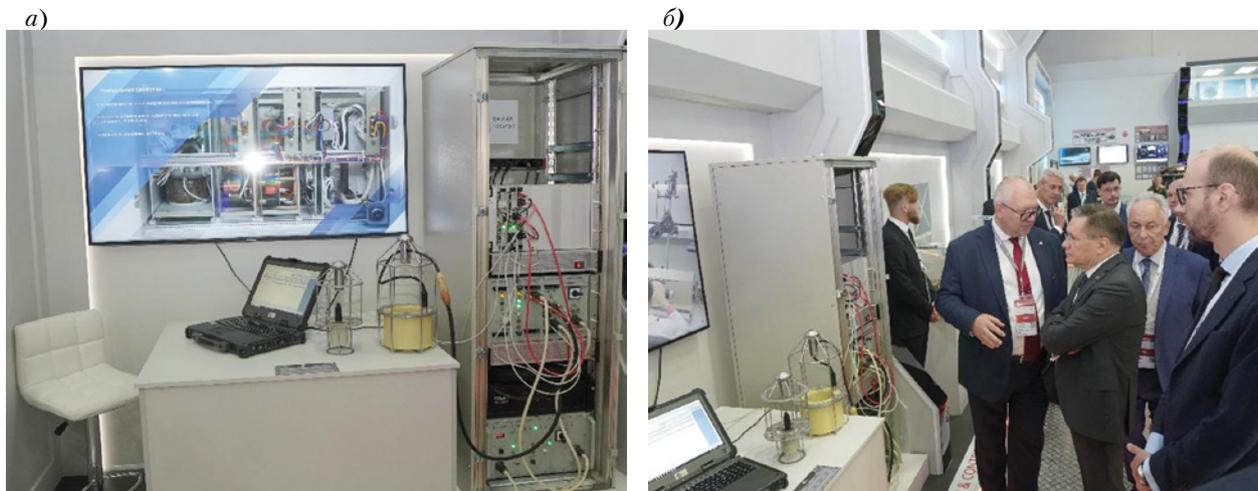


Рис. 3. Опытный МВСГАС: а – опытный образец МВСГАС; б – посещение выставочной экспозиции генеральным директором ГК по атомной энергетике «Росатом»

Опытный образец корабельного варианта МВСГАС (рис. 4) состоит из трех функциональных модулей: процессорного, предварительного усиления и модуля процессора ЦОС, размещенных в крейте OSC-S724A9-03D с

а)



б)



в)



г)



Рис. 4. Корабельный вариант МВСГАС: а – блок обработки сигналов высокопроизводительного модема; б – процессорный модуль О42С с шиной CompactPCI; в – модуль предварительного усиления; г – модуль процессора ЦОС ADP201cP5 с шиной CompactPCI

системной магистралью CompactPCI и блоком питания AC/DC. Платы функциональных модулей разработаны с учетом их установки в крейт OSC-S724A9-03D с системной магистралью CompactPCI и блоком питания AC/DC. Разработка аппаратной части модема может быть выполнена с учетом указанных заказчиком условий эксплуатации.

Вариант МВСГАС с низким энергопотреблением разработан для применения в составе систем связи АПА с ограниченным энергоресурсом. Предполагаемыми областями его применения рассматриваются системы подводной связи АНПА, стационарных донных станций подводной связи, малоразмерных обитаемых подводных аппаратов разведывательных и спасательных миссий, гидроакустическая часть двухсредных систем связи различных типов. Внешний вид плат опытного образца МВСГАС с низким энергопотреблением представлен на рис. 5.

Габариты МВСГАС и геометрия пространственного расположения его электронных компонентов могут быть оптимизированы с учетом технических требований, предъявляемых к разработке подводного аппарата конкретного типа.

Основным итогом проведенных натурных испытаний в районе г. Сочи стало экспериментальное подтверждение способности МВСГАС в корабельном исполнении осуществления сеанса приема/передачи цифровой информации в условиях многолучевого гидроакустического канала, содержащего до 11 лучей с интервалом затягивания до 24 мс. При этом была обеспечена скорость передачи информации 4,160 кбит/с на горизонтальных дальностях до 10,5 км с вероятностью битовой ошибки не более $3,02 \cdot 10^{-3}$.

На полигоне города Севастополь оценивалась практическая эффективность разработанных способов подавления синфазных помех в приемном тракте, методов полосовой фильтрации в диапазонах рабочих частот и автоматической регулировки усиления принимаемых OFDM-сигналов МВСГАС с низким энергопотреблением. Успешные результаты испытаний подтвердили возможность устойчивой передачи цифровой информации по гидроакустическому каналу в неблагоприятных гидрологических условиях с достаточно высокой достоверностью (в среднем число ошибок составило не более 0,8%) на дистанциях до 7,85 км для низкочастотного диапазона и 1,63 км для высокочас-

а)



б)



в)



Рис. 5. Вариант МВСГАС с низким энергопотреблением: а – крейт OSC-S724A9-03D с шиной CompactPCI и блоком питания AC/DC; б – модуль предварительного усиления; в – модуль обработки сигналов модема МВСГАС с низким энергопотреблением

тотного диапазона.

На рис. 6 представлены основные технические характеристики МВСГАС.

ВЫВОДЫ

1. Представлены результаты авторской разработки и натурных испытаний опытного образца МВСГАС.

2. Показано, что по своим техническим характеристикам представленный модем высокоскоростной гидроакустической связи сопоставим с модемами крупнейших иностранных производителей и может быть использован для проведения глубоководных работ различной сложности.

МОДЕМ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ ГИДРОАКУСТИЧЕСКОЙ СВЯЗИ

Модем высокоскоростной гидроакустической связи предназначен для информационного обмена большими объёмами данных по гидроакустическому каналу связи между подводными аппаратами, стационарными морскими платформами и подводными объектами различного назначения.

Модем высокоскоростной гидроакустической связи позволяет передавать данные телеметрии и мониторинга, фотоизображения и отдельные кадры с подводных видеокамер, значительные объёмы текстовой информации.

ХАРАКТЕРИСТИКИ РЕЖИМА СВЯЗИ:

Методы модуляции информационных OFDM-сигналов:

- однократная относительная фазовая манипуляция;
- двукратная относительная фазовая манипуляция;
- трёхкратная относительная фазовая манипуляция.

Виды помехоустойчивого кодирования бинарной информации:

- сверточный код со скоростями 1/2 (СК 1/2) и 1/3 (СК 1/3);
- турбокод (ТК).

Вероятность ошибки приема бита информации (BER) при применении помехоустойчивого кодирования:

- СК 1/2: $BER \leq 10^{-6}$; СК 1/3: $BER \leq 10^{-7}$;
- ТК: $BER \leq 10^{-9}$.



ВАРИАНТЫ ИСПОЛНЕНИЯ МОДЕМА:

1. Высокопроизводительный корабельный вариант;
2. Модем с низким энергопотреблением.

Основные технические характеристики	Высокопроизводительный корабельный вариант	Модем с низким энергопотреблением
Передача/приём на относительной линейной скорости, м/с, не более	3	3
Рабочие полосы частот, кГц (частотные диапазоны подстраиваются под условия заказчика)	6,0 (4,875÷10,875), 12,0 (15,0÷27,0), 16,0 (15,0÷31,0), 19,2 (18,75÷37,95), 24,0 (18,75÷42,75)	6 (4,875÷10,875), 12,0 (15,0÷27,0)
Максимальная скорость передачи информации на дальности до 10 000 м, бит/с	34 800	17 400
Цифровой интерфейс	Ethernet	RS232 / RS422 / RS485
Напряжение питания	бортовая сеть электропитания	от 9 до 18 В постоянного тока
Потребляемая мощность в режиме приёма информации, Вт, не более	80	5

Рис. 6. Технические характеристики модема высокоскоростной гидроакустической связи

ЛИТЕРАТУРА

1. Шарфутдинова Т.К. Сравнительный анализ промышленных гидроакустических модемов // Вестник ГУМРФ им. адм. С. О. Макарова. – 2021. – Т. 13. – № 6. – С. 832 – 841.
2. Дранников А.В., Козьмин С. Г., Исаев А.В. Модем высокоскоростной гидроакустической связи // Технологии электромагнитной совместимости. – 2025. – №1(92). – С. 14–33.
3. Линник М. А. Информационно-измерительный комплекс для регистрации гидроакустических сигналов. Дисс. на соискание уч. степени канд. техн. наук. – Хабаровск: Изд. ФГБОУ ВО «Тихоокеанский государственный университет», 2014. – 163 с.
4. Катанович А.А., Рылов Е.А., Цыванюк В.А. Корабельное устройство широкополосной связи // Морской вестник. – 2024. – №1(89). – С.79–83.
5. Бобровский И. В., Захаров Ю.В. Частотно-временная синхронизация в системах гидроакустической связи с OFDM // Гидроакустика. – 2013. – №2(18). – С. 57–65. ■

При передаче сообщений оптическими сигналами через атмосферу, в которой на пути распространения оптических сигналов могут появиться рассеивающие образования, например, туман, дымка, подвижные облака и пр., возможно обнаружение рассеянных атмосферой оптических сигналов средствами оптико-электронной разведки и, соответственно, факта передачи сообщений, местоположения передатчика и перехвата сообщений. Особенно это проявляется при расположении рассеивающих образований вблизи передатчика сообщений и на значительном удалении приемника этих сообщений от передатчика, например, при передаче оптических сигналов с наземного или надводного объекта на космический аппарат.

Известны метод и устройство для управления оптической мощностью при передаче данных по оптическим каналам связи [1,2]. В этом методе совместно с сигналами данных излучают сигналы тестирования, которые отражаются от ретрорефлекторов, установленных на пути их распространения, и затем оптические приемники передающей стороны принимают их, чтобы проверить качество работы оптического канала связи. Передача данных включает в себя наблюдение за выходной оптической мощностью оптического передатчика и оценивание тестированием принятого предварительно установленного сигнала управления. Если он не принят, то модулируют сигнал данных и регулируют ток смещения оптического передатчика согласно результату наблюдения за выходной мощностью оптического передатчика для автоматического управления мощностью, а если сигнал управления тестированием принят, то тестируют и накладывают сигнал тестирования на сигнал данных и передают наложенный сигнал. При передаче наложенного сигнала, т.е. при тестировании, поддерживают ток смещения на предварительно установленном значении, чтобы прекратить автоматическое регулирование мощности оптического передатчика во время тестирования.

Данный метод может быть использован не только для передачи данных по световолоконным сетям, как это изложено в описании изобретения, но и для передачи данных с поверхности земли или воды удаленному корреспонденту, например на космический аппарат, через атмосферу с рассеивающими образованиями переменной плотности, т.е. через туман или подвижные облака. При таком

МЕТОД ПЕРЕДАЧИ СООБЩЕНИЙ ПО АТМОСФЕРНЫМ ОПТИЧЕСКИМ ЛИНИЯМ 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 АО «ПКБ РИО»,

В.А. Цыванюк, канд. воен. наук, ст. науч. сотрудник

НИИ ОСИС ВМФ ВУНЦ ВМФ «ВМА им. Н.Г. Кузнецова»,

контакт. тел. +7 (921) 3184607, +7 (981) 1716404, +7 (911) 2673827,

andrei.katanovitch@yandex.ru, ciwoniuk@mail.ru

применении сигналы тестирования, наложенные на сигналы данных, будут возвращаться на приемник передающей стороны не искусственными ретрорефлекторами, а рассеивающими атмосферными образованиями. По результатам тестирования увеличивается мощность оптических сигналов для преодоления ослабления этих сигналов на пути к приемнику корреспондента. При этом тестовые сигналы и сигналы данных повышенной мощности, рассеиваясь на атмосферных образованиях (туманах, облаках и пр.), могут быть обнаружены оптико-электронными средствами разведки.

Кроме того, повышение мощности излучения оптических сигналов может быть недостаточным для преодоления ослабления сигнала в рассеивающих средах. И тогда, даже при работе на максимальных мощностях, прием сигналов удаленным корреспондентом будет невозможен, но в то же самое время сигналы максимальной мощности, отраженные от рассеивающих сред, будет легче обнаружить оптико-электронными средствами разведки, находящимися вблизи передатчика сообщений.

Известен метод приема-передачи информации [3], который включает формирование оптических сигналов на светодиоде передатчика посредством подачи на светодиод модулирующего импульса управляющего напряжения, формирование оптического пучка, наведение его на приемное устройство другой стороны и прием оптических сигналов от светодиода передатчика этой стороны. При повышении или снижении оптической видимости и, как следствие, обнаружении изменения уровня принимаемого от другой стороны оптического сигнала соответственно повышают или снижают амплитуду излучаемых светодиодом сигналов посредством установки на светодиоде импульса управляющего напряжения соответствующей амплитуды.

Данный метод не обеспечивает скрытую передачу сообщений через рассеивающую оптическое излучение среду, так как излучаемые сигналы, имеющие повышенную амплитуду, необходимую для преодоления ослабления сигнала при рассеянии его в атмосфере (тумане, дымке, облаках и прочее), могут быть обнаружены оптико-электронными средствами разведки вероятного противника, а по ним раскрыты передаваемые сообщения и обнаружено местоположение передатчика и источника сообщений. Кроме того, возможны ситуации, когда на пути оптического пучка появляются рассеивающие образования такой повышенной плотности, что повышение амплитуды оптических сигналов уже не обеспечивает компенсацию их ослабления, и прием сообщений становится невозможным. Но при этом, хотя и нет приема сообщений удаленным корреспондентом, передатчиком продолжают излучаться оптические сигналы повышенной амплитуды, которые, рассеиваясь на этих плотных образованиях (туманы или облака), могут быть легко обнаружены средствами оптико-электронной разведки, находящимися вблизи рассеивающих образований. Поэтому при повышенных требованиях к скрытности передачи сообщений целесообразно передавать сообщения лишь тогда, когда на пути лазерного пучка ослабнут рассеивающие свойства динамически неоднородной атмосферы до такого уровня, что обнаружение вероятным противником рассеянных оптических импульсов из-за их малой амплитуды станет затруднительным. Особенно это целесообразно, когда нет срочности в передаче сообщений и можно подождать пока между рассеивающими образованиями появится просвет, и в эти моменты передать сообщения с хорошим качеством приема и требуемой скрытностью связи.

Для повышения скрытности передачи сообщений, затруднения их

перехвата, а также обнаружения местоположения оптического передатчика и факта передачи сообщений через атмосферные образования, рассеивающие оптическое излучение предлагается метод передачи сообщений по атмосферной оптической линии связи, включающей формирование оптических сигналов на передающей стороне посредством модуляции оптического излучения и управления амплитудой излучаемых оптических сигналов, формирование узкого оптического пучка, наведение его на приемное устройство удаленного корреспондента и прием оптических сигналов на передающей стороне. При этом процесс передачи сообщения начинают с излучения тестовых оптических импульсов минимальной амплитуды, затем повышения их амплитуды от импульса к импульсу и приема на передающей стороне рассеянных средой распространения излученных тестовых оптических импульсов и сигналов. И при превышении амплитуды этих принятых импульсов и сигналов свыше установленного значения излучение тестовых импульсов и передачу сообщения прекращают. А затем возобновляют, повторяя указанную последовательность операций, начиная с излучения тестовых оптических импульсов с возрастающей от минимального значения амплитудой [4].

Метод передачи сообщений по атмосферным оптическим линиям связи иллюстрируют рис. 1 и рис. 2. На рис. 1 представлена структурная схема устройства, а на рис. 2 приведен пример сигнальной последовательности излучаемых оптических импульсов.

Устройство, реализующее предложенный метод, работает следующим образом: перед передачей сообщения блок управления 1 выдает команду старта на генератор тестовых импульсов 2, регулятор амплитуды излучаемых оптических импульсов 3 и на источник сообщения 4. По этой команде генератор тестовых импульсов 2 производит серию из определенного числа N тестовых импульсов, которые поступают на лазерный излучатель 5. Регулятор амплитуды оптических импульсов 3 формирует возрастающее напряжение, поступающее на лазерный излучатель 5. Соответственно этому лазерный излучатель 5 излучает тестовые импульсы возрастающей амплитуды от минимального значения $\min A$ до максимального значения $\max A$, соответствующего амплитуде оптических импульсов, которыми после излучения тестовых импульсов передают сообщение. Источник сообщ-

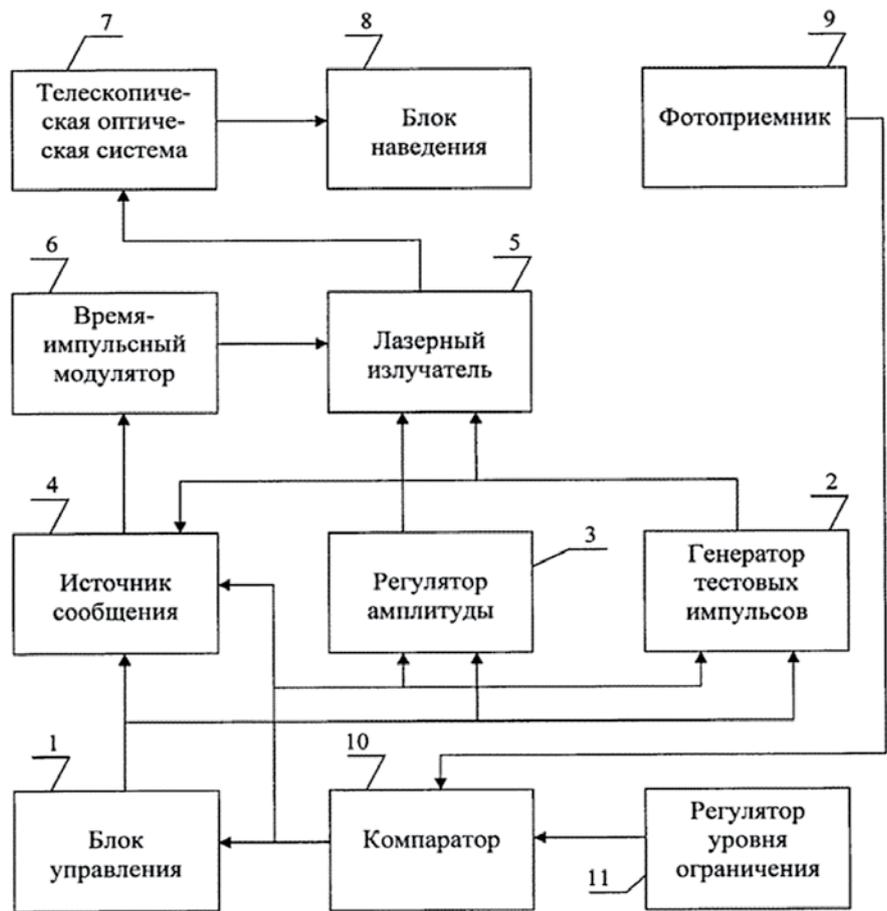


Рис. 1. Структурная схема устройства

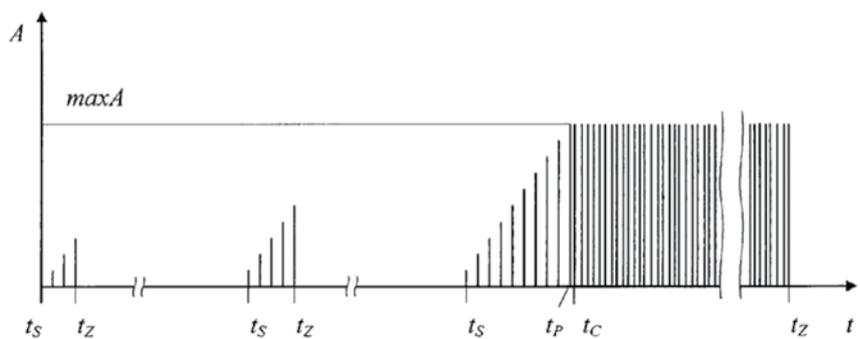


Рис. 2. Сигнальная последовательность излучаемых оптических импульсов

щения 4 по команде старта передачи тестовых импульсов подготавливается к передаче сообщения, и после окончания последнего в серии тестового импульса, имеющего максимальную амплитуду $\max A$, передает кодовые последовательности фиксированной длины (слова), состоящие из T двоичных символов сообщения, где i меняется от 1 до 2^m , на время-импульсный модулятор 6. Последний в соответствии с передаваемой i -й кодовой последовательностью из m двоичных символов формирует дискретный временной интервал T_i между предыдущим и формируемым импульсом, состоящим из немодулируемого интервала паузы T_0 и дискретной составляющей $i \times T_n$, где T_n – длительность

одной позиции на оси времени. При этом i -й кодовой последовательности из m двоичных символов соответствует определенная i -я позиция на модулируемом интервале T_M , содержащем 2^m позиций ($T_M = 2^m \times T_n$). Сформированные таким образом информационные импульсы, расстояние между которыми меняется в соответствии с передаваемой информацией, поступают на лазерный излучатель 5 для передачи сообщения посредством излучения оптических импульсов с максимальной амплитудой $\max A$. Передача сообщения начинается только после излучения последнего тестового импульса из серии N импульсов.

Излучение, исходящее от лазерного излучателя 5, формируется те-

лескопической оптической системой 7 в узкий пучок, который направляется блоком наведения 8 на фотоприемник корреспондента, например, на фотоприемник, находящийся на космическом аппарате с известными параметрами движения.

При наличии на пути лазерного пучка рассеивающего образования, например, тумана, дымки, дождя или облака, лазерное излучение рассеивается во все стороны. Обратные рассеянные лазерные импульсы детектируются фотоприемником 9 передающей стороны и направляются на схему сравнения с установленным порогом в компараторе 10. Значение порога сравнения в компараторе 10 устанавливается регулятором уровня ограничения 11, исходя из требований заданной скрытности связи и с учетом интенсивности фоновой засветки неба (Солнца или Луны). Например, при необходимости обеспечения гарантированной скрытности или в том случае, если малейшее рассеивающее образование делает невозможным прием оптических сигналов удаленным корреспондентом из-за рассеяния лазерного излучения, устанавливаются нулевое или близкое к нулевому значение порога сравнения. При превышении принимаемыми фотоприемником 9 тестовыми импульсами или импульсами сообщения установленного порога компаратор 10 выдает команду запрета на передачу тестовых импульсов и сообщения, который поступает на блок управления 1. Блок управления 1 блокирует излучение оптических импульсов на некоторое время, которое, например, не превышает предполагаемого времени ожидания ухода рассеивающего образования с пути лазерного пучка. По окончании блокировки блок управления 1 снова выдает команду старта, и процесс передачи сообщения повторя-

ют, начиная с излучения тестового импульса минимальной амплитуды $\min A$, как это описано выше.

Последовательность действий в предложенном методе и в устройстве, реализующем его, поясняет рис. 2, на котором представлен пример сигнальной последовательности оптических импульсов, излучаемых лазерным излучателем 5 через телескопическую оптическую систему 7 и блок наведения 8.

По горизонтальной координатной оси показано текущее время t , моменты выдачи команды старта блоком управления на передачу тестовых импульсов t_3 , моменты команды запрета на излучение оптических импульсов, t_2 , момент излучения последнего тестового импульса t_p и момент начала передачи оптических импульсов сообщения t_c . По вертикальной оси координат показано изменение амплитуды A излучаемых оптических импульсов. Максимальная амплитуда $\max A$ соответствует амплитуде последнего тестового импульса из заданной серии N тестовых импульсов и совпадает с амплитудой оптических импульсов сообщения.

Если длительность передачи сообщения существенно превышает среднестатистический интервал прозрачности оптической среды на пути лазерного пучка, то передачу сообщения большого объема можно разделить на отдельные блоки (пачки), каждый из которых передают описанным выше методом, начиная с излучения тестовых импульсов возрастающей амплитуды.

Таким образом, данное устройство реализует предложенный метод передачи сообщений по атмосферной оптической линии связи. При этом благодаря тому, что перед передачей сообщения излучают тестовые импульсы минимальной амплитуды, которая затем возрастает от им-

пульса к импульсу, обеспечивается требуемая скрытность передачи сообщений через рассеивающие оптическое излучение атмосферные образования, например, плотного тумана, находящегося вблизи передатчика и демаскирующего его работу посредством рассеяния оптического излучения во все стороны, в том числе и в сторону оптико-электронных средств технической разведки вероятного противника, будет обнаружено на передающей стороне при пониженной мощности излучения передатчика, что позволит предотвратить засветку рассеивающих образований оптическими импульсами и сигналами с номинальной (или повышенной) мощностью и соответственно этому затруднить обнаружение излучаемых оптических импульсов средствами оптико-электронной разведки, т.е. обеспечить высокую скрытность передачи сообщений даже через сильно рассеивающие среды.

ЛИТЕРАТУРА

1. Патент RU 2563968., кл. H04B 10/10. Способ и устройство для управления оптической мощностью. – Оpubл. 27.09.2015. – М: ФИПС, 2015.//Бюлл. 2015. – № 27.
2. Катанович А. А., Николашин Ю. Л. Корреляционные оптические системы связи. – СПб.: Судостроение, 2009. – 239 с.
3. Патент RU 2304846, кл. H04B 10/10 Способ приема-передачи информации. – Оpubл. 20.08.2007. – М: ФИПС. 2007//Бюлл. 2007. – № 23.
4. Патент RU 3760491 кл. H04 B 10/10. Способ передачи сообщений по атмосферным оптическим линиям связи/Катанович А. А., Цыванюк В. А., Шокин Ю. В. – Оpubл. 25.11.2021. – М: ФИПС, 2021//Бюлл. 33. ■

Современные системы радиосвязи работают в условиях сложной помеховой обстановки, во многом обусловленной влиянием средств радиоэлектронной борьбы и высокой загруженностью выделенных частотных каналов. Актуальная задача передачи речевых сообщений как по закрытым, так и по открытым каналам затруднена из-за наличия тональных помех и шума, уровень которого может существенно превышать уровень полезного сигнала. Для повышения работоспособности систем передачи речи необходимо использовать алгоритмы автоматического шумоподавления.

Одним из наиболее часто употребляемых методов подавления шума является спектральное вычитание [1]. Он основан на вычислении спектра мощности для каждого сегмента входного сигнала, умноженного на весовую функцию, и вычитании из него спектра мощности зашумленного сигнала. Спектр мощности шума оценивается по сегментам сигнала, в которых речь отсутствует.

Особенностью такого метода является возникновение так называемого «музыкального шума», который на слух воспринимается как музыкальные тона, имеющие хаотический порядок [2]. Этот эффект ухудшает разборчивость речи. Для минимизации этого шума используется модифицированный алгоритм спектрального вычитания. Рассмотрим его подробнее.

АЛГОРИТМ СПЕКТРАЛЬНОГО ВЫЧИТАНИЯ

Модификация алгоритма спектрального вычитания заключается в минимизации узкополосных спектральных экстремумов (максимумов) за счет укорачивания их спектральных «трасс» [3].

Введем следующие обозначения: $x(k)$ – входной дискретный сигнал, со-

АЛГОРИТМ АВТОМАТИЧЕСКОГО ШУМОПОДАВЛЕНИЯ ДЛЯ ЦИФРОВОЙ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ РЕЧИ

Ю.Т. Загидуллин, ст. преподаватель, ИГТУ им. М.Т. Калашиникова,
А.С. Свояков, начальник отдела разработки специального программного обеспечения СКБ АО «НПО Завод «Волна», г. Саранул,
 zagidullinyut@mail.ru, svojakov_as@volnaspb.ru

державший полезный сигнал и аддитивный шум, $s(k)$ – чистый речевой сигнал, $n(k)$ – шумовой сигнал. $P_x(\omega)$ – спектральная плотность мощности (СПМ) входного сигнала, $P_s(\omega)$ – СПМ речевого сигнала, $P_n(\omega)$ – оценка СПМ шума, определенная во время пауз речи.

Тогда

$$x(k) = s(k) + n(k),$$

$$P_x(\omega) = |\text{ДПФ}(x(k))|^2,$$

$$P_s(\omega) = |\text{ДПФ}(s(k))|^2, \quad (1)$$

$$P_n(\omega) = |\text{ДПФ}(n(k))|^2.$$

Спектр разностного сигнала с учетом весовых коэффициентов

$$V(\omega) = P_x(\omega) - \alpha P_n(\omega),$$

$$P_s(\omega) = \{V(\omega), \quad (2)$$

если $V(\omega) > \beta P_n(\omega)$ $\beta P_n(\omega)$,

где α – параметр, определяющий спектральный максимум шума ($\alpha \geq 1$), β – параметр, определяющий спектральный минимум шума ($0 < \beta \ll 1$).

Восстановленный речевой сигнал определяется по спектру с помощью обратного дискретного преобразования Фурье (ДПФ):

$$s(k) = \text{ОДПФ}[\sqrt{P_s} \exp(j\phi_x(\omega))], \quad (3)$$

где $\phi_x(\omega)$ – фазовый спектр исходного фрагмента зашумленного сигнала.

Оконная функция применяется для минимизации эффекта «растекания» спектра, обусловленного дискретной об-

работкой сигналов [4]. В качестве оконной функции используется окно Ханна. Длина ДПФ определяет длительность сегмента обработки. Длина ДПФ равна 256, что при 8кГц отсчета сигнала соответствует длительности сегмента 32 мс. Коэффициент $\alpha = 5$, $\beta = 0,002$. Выбор коэффициентов определен на основании исследований в работе [3].

Оценка спектра мощности шума методом экспоненциального усреднения [5] происходит на фреймах входного сигнала, на которых отсутствует речь:

$$P_n(\omega) = \gamma P_n(\omega) + (1 - \gamma) P_x(\omega), \quad (4)$$

где γ – коэффициент усреднения ($\gamma = 0,9$).

Детектор активности речи реализован по принципу энергетического обнаружителя сигнала. Определяется отношение сигнал-шум (ОСШ) в текущем сегменте сигнала и сравнивается с порогом. Энергия зашумленного речевого сигнала E_s определяется как сумма всех компонент СПМ $P_s(\omega)$. Аналогично вычисляется энергия шума E_n . Для корректной работы обнаружителя энергия шума определяется по первым фрагментам сигнала в предположении, что в этот момент речь отсутствует. Значение порога выбрано равным 1,5. Тогда

$$\text{ОСШ} = \frac{E_s}{E_n} = \frac{\sum P_s}{\sum P_n} \geq \text{Порог}. \quad (5)$$

После формирования спектральной плотности очищенного сигнала по (2)

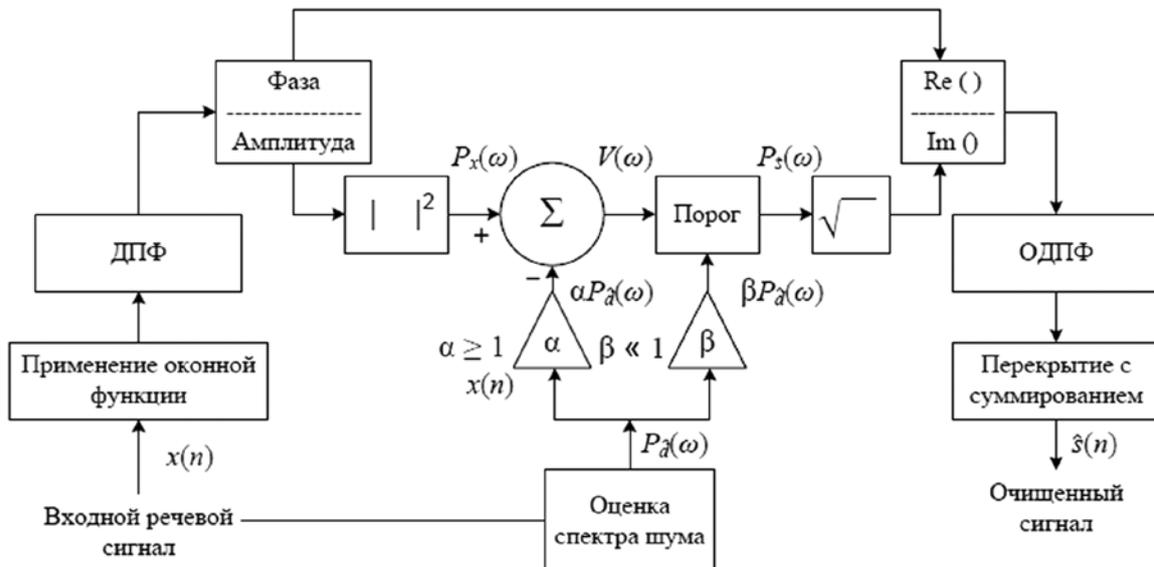


Рис. 1. Метод спектрального вычитания с ограничением спектрального минимума шума

происходит его восстановление с помощью обратного преобразования Фурье по формуле (3). Обычно для передачи речи используется режим ОБП (режим J3E), для реализации которого используется универсальный квадратурный модулятор [6], осуществляющий простой перенос спектра сигнала на несущую частоту. Для этого исходный речевой сигнал необходимо формировать в квадратурах. Для формирования квадратурной составляющей сигнала используется фильтр Гильберта, но в статье предлагается использовать фильтрацию на основе ДПФ, так как в работе шумодава уже используется пара преобразования ДПФ–ОДПФ. Для этого перед вычислением ОДПФ на спектр сигнала накладывается спектральная маска, ограничивающая его полосой стандартного телефонного канала (300–3400 Гц). Для формирования спектральной маски определяются нижний и верхний индексы частот по формуле

$$L_{idx} = \text{round}\left(300 \frac{Nfft}{Fs}\right);$$

$$H_{idx} = \text{round}\left(3400 \frac{Nfft}{Fs}\right), \quad (6)$$

где $Nfft = 256$ – длина ДПФ, $Fs = 8000$ – частота дискретизации.

После восстановления очищенного сигнала по его спектру осуществляется перекрытие с суммированием с предыдущим фрагментом сигнала. Коэффициент перекрытия равен 50%.

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ КАНАЛА СВЯЗИ

Работоспособность алгоритма автоматического шумоподавления проверялась с помощью пакета программ Matlab. Исследуемый речевой сигнал был записан на ПК и сохранен в формате *.wav. Последующая обработка сигнала осуществлялась в следующие несколько этапов:

1. Открытие аудиофайла командой audioread().
2. Оценка средней мощности сигнала и нормировка сигнала до уровня 1 мВт (0 dBm).
3. Формирование непрерывного тонального или импульсного сигнала заданной частоты и уровня в соответствии с заданным параметром отношение сигнал–помеха (ОСП) и сложение с нормированным речевым сигналом.
4. Добавление белого шума командой awgn() с уровнем шума, определяемым параметром отношение сигнал–шум (ОСШ), дБ.
5. Построение осциллограмм и спектрограмм зашумленного речевого сигнала.
6. Вызов процедуры автоматического подавления шума в соответствии со структурной схемой на рис. 1.
7. Построение осциллограмм и спектрограмм очищенного речевого сигнала.

8. Анализ уровня узкополосной помехи и оценка ОСШ результирующего сигнала.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ АЛГОРИТМА ШУМОПОДАВЛЕНИЯ

Проверим работоспособность алгоритма шумоподавления в канале только с белым шумом, ОСШ = 0 дБ.

Сегментная оценка ОСШ осуществляется в детекторе активности речи (VAD). Фактически оценивается SINAD – отношение мощности «сигнал+помеха+шум» к мощности «шум+помеха». Но в данном эксперименте узкополосная помеха отсутствует. По графику можно увидеть, что ОСШ не превосходит 7 дБ. Горизонтальная линия показывает пороговое значение VAD (область обнаружения речи выше линии). Осциллограмма и спектрограмма сигнала используются для визуального контроля активности речи. Спектральная плотность мощности шума (СПМ,

Power Spectral Density) вне полосы сигнала составляет порядка –37 дБ/Гц, что на 15 дБ ниже уровня речевого сигнала.

Результат работы автоматического шумоподавления речевого сигнала можно оценить по графикам рис. 3. Оценка ОСШ сигнала на участках активности речи возросла до 30–35 дБ, области детектирования активности речи стали более выявленными. СПМ сигнала вне полосы снизилась до уровня –60 дБ/Гц и ниже, что на 40 дБ ниже уровня сигнала. Внутри полосы наблюдаются четко выраженные форманты [7], характерные спектру речевого сигнала.

Далее исследуем эффективность работы алгоритма в канале с узкополосной тональной и импульсной помехой. Уровень белого шума соответствует значению ОСШ = 10 дБ, уровень помехи значению ОСП = –3 дБ и ОСП = –6 дБ. Пример спектрограмм при наличии различных узкополосных помех приведены на рис. 4.

На рис. 5–8 приведены СПМ речевых сигналов до работы алгоритма и

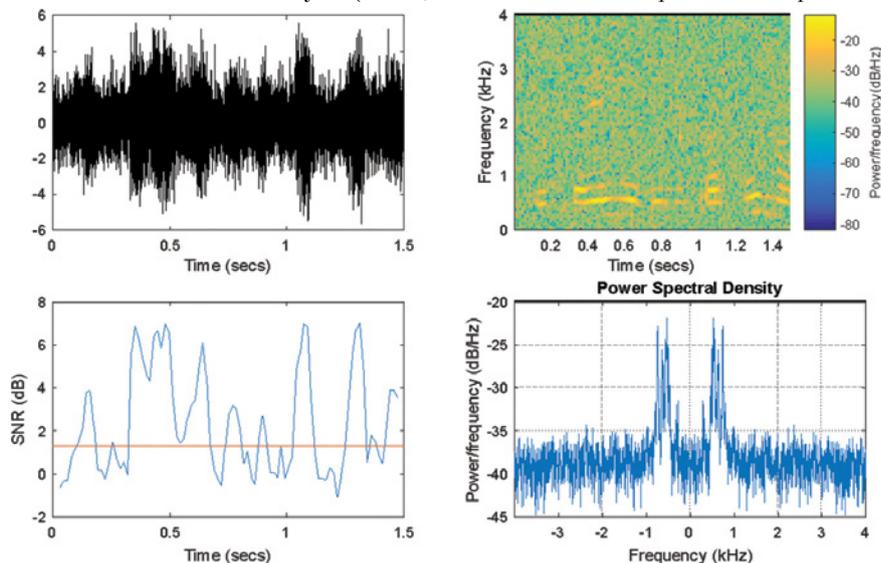


Рис. 2. Зашумленный речевой сигнал, сегментная оценка ОСШ, дБ (SNR, dB), спектрограмма и спектральная плотность мощности в канале АБГШ, ОСШ = 0 дБ

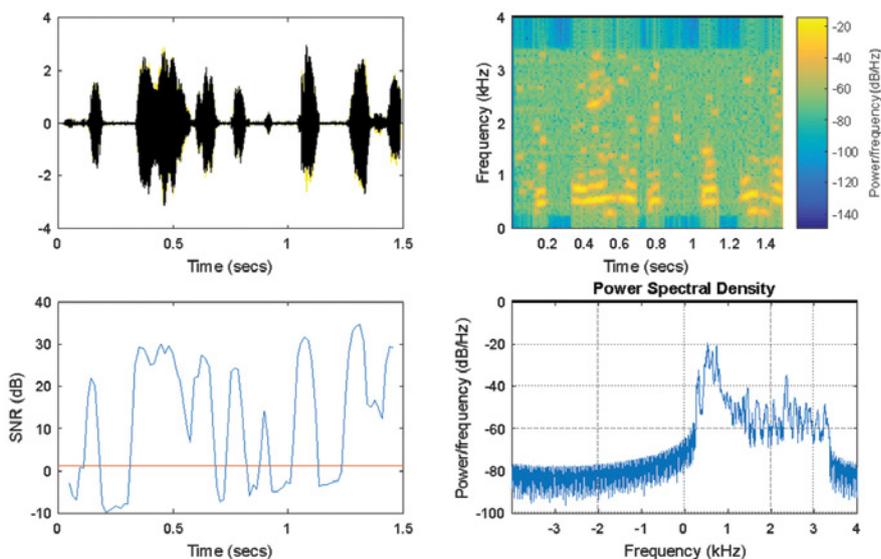


Рис. 3. Очищенный речевой сигнал, сегментная оценка ОСШ, дБ (SNR, dB), спектрограмма и спектральная плотность мощности в канале АБГШ

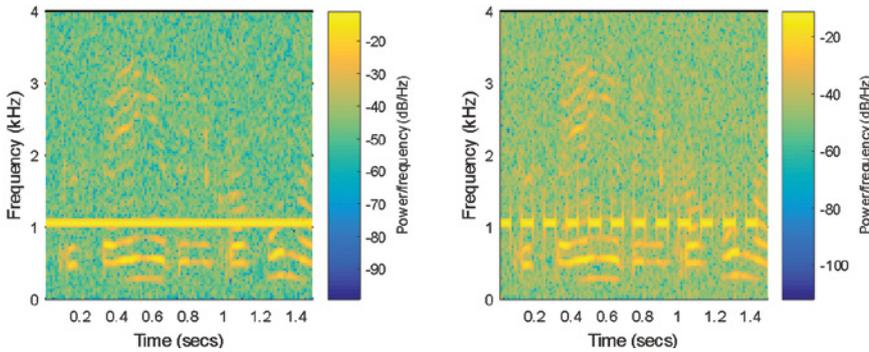


Рис. 4. Спектрограмма речевого сигнала при наличии тональной (слева) и импульсной (справа) помехи

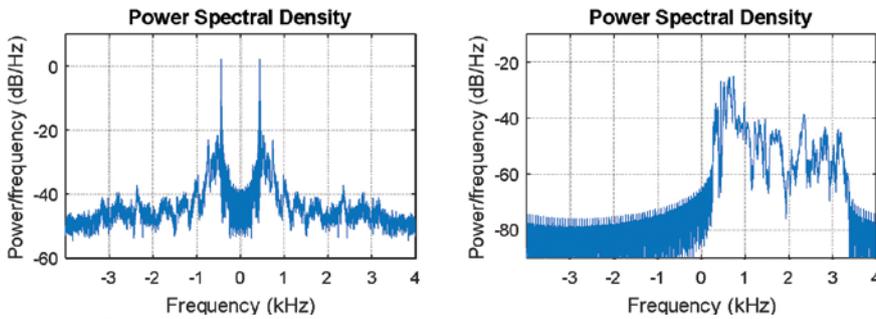


Рис. 5. Спектр речевого сигнала до и после подавления шума в канале с импульсной помехой, ОСП = -3 дБ, частота - 440 Гц

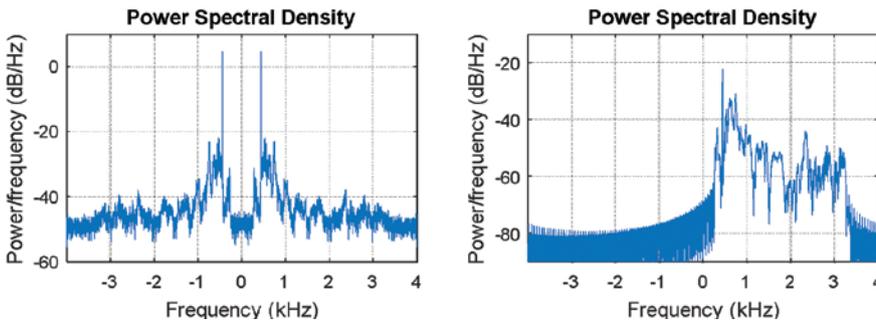


Рис. 6. Спектр речевого сигнала до и после подавления шума в канале с тональной помехой, ОСП = -6 дБ, частота - 440 Гц

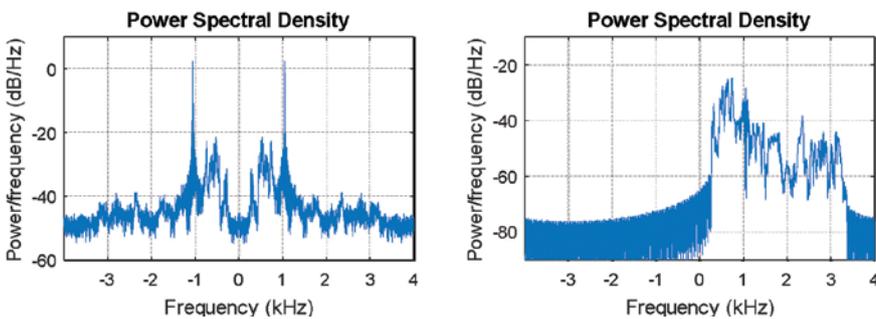


Рис. 7. Спектр речевого сигнала до и после подавления шума в канале с импульсной помехой, ОСП = -3 дБ, частота - 1050 Гц

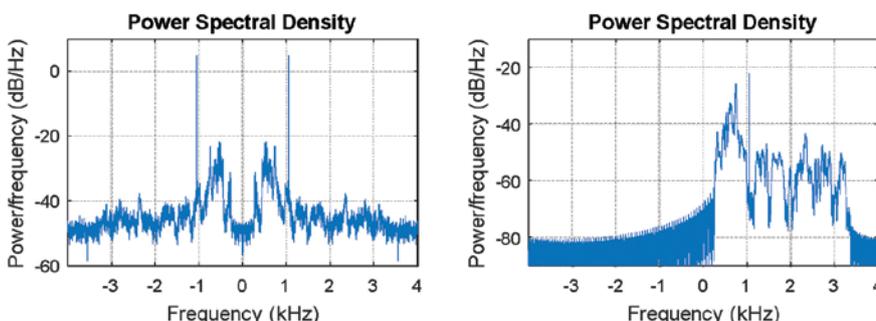


Рис. 8. Спектр речевого сигнала до и после подавления шума в канале с тональной помехой, ОСП = -6 дБ, частота - 1050 Гц

после нее, по которым будем оценивать эффективность шумоподавления в присутствии узкополосных помех.

Уровень импульсной помехи с частотой 440 Гц снизился с 2 дБ до -23 дБ (см. рис. 5), уровень импульсной помехи с частотой 1050 Гц снизился с 3 дБ до -30 дБ (см. рис. 7). Уровень тональной помехи с частотой 440 Гц снизился с 5 дБ до -23 дБ (см. рис. 6), уровень тональной помехи с частотой 1050 Гц снизился с 5 дБ до -22 дБ (см. рис. 8). В целом применение алгоритма автоматического шумоподавления позволило уменьшить уровень узкополосной помехи минимум на 25 дБ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье представлен алгоритм автоматического шумоподавления речевых сигналов, основанный на методе спектрального вычитания с ограничением спектрального минимума шума. Авторами предложена доработка этого алгоритма для формирования выходного сигнала в квадратурах для дальнейшего сопряжения с универсальным квадратурным модулятором. Для этого вместо преобразования Гильберта применяется фильтрация в частотной области с помощью ДПФ-фильтра.

Создана имитационная модель алгоритма в программе Matlab и проведено исследование эффективности шумоподавления в канале с белым шумом и узкополосной помехой. Оценка эффективности проводилась путем сравнения сегментной ОСШ и уровня узкополосной помехи до применения алгоритма и после этого. Получены следующие результаты:

1. Сегментная оценка ОСШ очищенного сигнала увеличилась более чем на 25 дБ при фактическом ОСШ = 0 дБ в канале с белым шумом.
2. Уровень тональной и импульсной помехи уменьшился минимум на 25 дБ при ОСП в канале до -6 дБ и при различных частотах узкополосной помехи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов. – СПб.: Питер, 2002. – 608 с.
2. Аграновский А.В., Леднов Д.А. Теоретические аспекты алгоритмов обработки и классификации речевых сигналов. – М.: Радио и связь, 2004. – 164 с.
3. Петровский А.А., Вашкевич М.И., Азаров И.С. Цифровая обработка аудио- и видеоданных: пособие. – Минск: БГУ-ИР, 2015. – 64 с.
4. Лайонс Р. Цифровая обработка сигналов / Пер. с англ. – 2-е изд. – М.: ООО «Бинном-Пресс», 2006. – 656 с.
5. Столбов М.Б. Основы анализа и обработки речевых сигналов – СПб.: НИУ ИТМО, 2021. – 101 с.
6. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы. – М.: ЛЕНАНД, 2016, 528 с.
7. Фланган Дж. Анализ, синтез и восприятие речи. – М.: Связь, 1968. ■

Оборудование VSAT (VSAT – Very Small Aperture Terminal) активно используется для организации морской связи на малотоннажных судах [1–3]. Это обусловлено прежде всего низкой стоимостью самого оборудования VSAT, а также его возможностями организации связи с удаленными абонентами, территориально расположенными в любой точке земного шара.

Коммерческому продвижению технологий VSAT способствовала разработка стандарта DVB-S2X [4, 5], позволяющая передать интернет-контент и обеспечить видеоконференцсвязь между корреспондентами [6].

Указанные возможности стали доступны благодаря повышению общей скорости передачи сообщений за счет использования многопозиционных сигналов стандарта DVB-S2X. Но организация высокоскоростных передач предполагает высокое значение отношения сигнал/шум (ОСШ) в канале. А поскольку в РФ согласно требованиям МСЭ-R S.725, S.729 к оборудованию VSAT относят абонентские терминалы (АТ) мощностью до 2 Вт и антеннами размером не более 2,4 м, то их результирующая эквивалентная изотропная излучаемая мощность, как правило, не превышает 50 дБ.Вт [7, 8]. Указанные обстоятельства обуславливают снижение спектральной плотности мощности полезного сигнала в точке приема по отношению к АТ VSAT, работающим в режиме обычной телефонии [9], и как результат – к ухудшению ОСШ [10]. В таких условиях существенно возрастают взаимные помехи, возникающие при нахождении судов в акватории крупных портов.

С учетом проведенного анализа в статье представлены результаты оценки влияния частотной расстройки взаимных помех на качество спутниковых линий связи, организованных на основе АТ VSAT.

ФИЗИЧЕСКАЯ СУЩНОСТЬ ПРОЯВЛЕНИЯ ЧАСТОТНОЙ РАССТРОЙКИ ПОМЕХИ

Анализ исследований, выполненных в [7–12], показал, что условия возникновения взаимных помех на линиях спутниковой связи VSAT – достаточно частое явление, которое становится возможным, в том числе, в связи с совпадающими диапазонами используемых частот с радиорелейными линиями и относительно низкими направленными свойствами антенных систем АТ VSAT.

Очевидно, что степень взаимного негативного влияния двух источников радиоизлучения во многом определяется

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ЧАСТОТНОЙ РАССТРОЙКИ ПОМЕХ НА КАЧЕСТВО СВЯЗИ В ЛИНИЯХ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ VSAT

И.М. Жданова, адъюнкт, ВАС им. С.М. Будённого,
С.С. Дворников, канд. техн. наук, доцент кафедры,
С.В. Дворников, д-р техн. наук, проф.,
 ВАС им. С.М. Будённого и ГУАП,
 контакт. тел. (812) 247 9400

величиной частотной расстройки сигналов источников радиоизлучения [11]. Поэтому представляет научный интерес оценка его влияния на качество связи в линиях спутниковой связи, организованной на основе типового комплекта оборудования VSAT.

С указанных позиций негативное влияние частотной расстройки предлагается рассматривать как некоторое ослабление помехи (будем рассматривать стороннее излучение как помеху) [13], которое можно учитывать посредством специального использования коэффициента ослабления мощности помехи.

Так, если расстройку несущей частоты помехи δ_{f_n} определить как разницу ее среднего значения спектра относительно центральной частоты f_0 рабочего канала АТ VSAT, то выражение для коэффициента ослабления мощности помехи можно представить в виде

$$K_f = \frac{\int_a^b S_n(f \pm \delta_{f_n}) \times |K_{AT\ VSAT}(j \times f)|^2 df}{\int_a^b S_n(f) \times |K_{AT\ VSAT}(j \times f)|^2 df}, \quad (1)$$

где $S_n(f)$, $S_n(f \pm \delta_{f_n})$ – частотный спектр помехи в отсутствие и при наличии ее расстройки по частоте относительно спектра полезного сигнала; $|K_{AT\ VSAT}(j \times f)|^2$ – квадрат модуля передаточной характеристики АТ VSAT.

С учетом того, что работа на линиях спутниковой связи ведется широкополосными сигналами, частотный спектр помехи можно рассматривать как спектральную плотность мощности, распределенную в полосе частот по закону Гаусса [14]:

$$S_n(f) = \begin{cases} 1, & \text{если } f_n - \frac{\Delta f_n}{2} \leq f \leq f_n + \frac{\Delta f_n}{2}; \\ 0, & \text{если } f < f_n - \frac{\Delta f_n}{2} \text{ и } f > f_n + \frac{\Delta f_n}{2}; \end{cases} \quad (2)$$

где f_n – несущая частота сигнала, выступающего в роли помехи; Δf_n – ширина спектра помехи.

Тогда квадрат модуля передаточной характеристики приемного тракта АТ VSAT может быть представлен в соответствии с выражением [9]

$$\left| K_{AT\ VSAT}(j \times f) \right|^2 = \int_{-\infty}^{\infty} \exp \left[-\pi \times \frac{(f - f_0)^2}{\Delta f_{np}^2} \right] df_0, \quad (3)$$

где f_0 – центральная частота приемного тракта АТ VSAT; Δf_{np} – полоса пропускания приемного тракта АТ VSAT.

Анализ полученного выражения (3) показывает, что величина коэффициента ослабления помехи не зависит от формы функции огибающей ее амплитудных значений, а определяется только передаточной характеристикой приемного тракта АТ VSAT, в соответствии с которой формируется область перекрытия помехи и сигнала по спектру.

В рамках указанных ограничений и условий область допустимых значений коэффициента ослабления помехи будет лежать в пределах [0; 1]. Здесь значение 1 соответствует полному совпадению по частоте помехи и сигнала, а 0, соответственно, определяет ситуацию, когда помеха находится вне значимой полосы частот полезного сигнала.

Другим важным результатом проведенного аналитического исследования является независимость значения коэффициента ослабления помехи от знака ее частотной расстройки относительно центральной частоты полезного сигнала. Данный факт указывает на то, что помеха может воздействовать как снизу по спектру, так и сверху относительно центральной частоты полезного сигнала.

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ВЕЛИЧИНЫ ЧАСТОТНОЙ РАССТРОЙКИ ПОМЕХИ НА КАЧЕСТВО СВЯЗИ

Деструктивные последствия проявления частотной расстройки будут определяться величиной отношения мощности помехи/сигнал в канале дополнительно к текущему значению ОСШ [15]. Поэтому проанализируем зависимость вероятности ошибочного приема сигнала с учетом коэффициента ослабления помехи K_f , вызванного ее частотной расстройкой относительно центральной частоты спектра полезного сигнала.

Результаты расчета требуемого ОСШ в зависимости от значения коэффициента ослабления, вызванного частотной расстройкой помехи

K_f	1	0,7	0,3	0
h^2 , дБ	30	22	17,5	15

В качестве примера рассмотрим зависимость вероятности битовой ошибки приема сигнала 8-PSK, характерного для стандарта DVB-S2X в условиях взаимных помех, от величины частотной расстройки K_f его несущей частоты по отношению к средней частоте спектра мешающего сигнала.

С этой целью выражение оценки вероятности битовой ошибки при приеме сигнала 8-PSK [16, 17] преобразуем к виду

$$P_{8\text{-PSK}} = \frac{2}{3} \Phi \left(\sqrt{6h^2} \times \sin[\pi/8] \right) = \frac{2}{3} \Phi \left(\sqrt{6 \frac{P_c}{P_m + P_n} \times K_f} \times \sin[\pi/8] \right) = \frac{2}{3} \Phi \left(\sqrt{6 \frac{1}{(1/h^2) + h^2 \times K_f}} \times \sin[\pi/8] \right). \quad (4)$$

Здесь Φ – функция Лапласа; h^2 – величина ОСШ; h^2 – величина отношения помеха/сигнал (ОПС).

Полученное выражение позволяет представить графическую зависимость вероятности битовой ошибки от величины коэффициента ослабления помехи,

вызванного ее частотной расстройкой (рис. 1).

На рис. 1 представлены графические зависимости вероятности ошибки от ОСШ при различных значениях коэффициента ослабления, вызванного частотной расстройкой помехи относительно центральной частоты спектра полезного сигнала. Графики приведены при значении ОПС $h^2 = -0,8$ дБ.

В таблице представлены значения ОСШ, при которых обеспечивается требуемое значение $P_{\text{ош}} = 10^{-7}$ (определяется требованием для передачи видео в формате FullHD) [7].

Так, согласно данным таблицы 1, для рассмотренных условий 30%-ная расстройка по частоте ($K_f = 0,7$) двух источников радиоизлучений, работающих в условиях взаимных помех, равносильна повышению помехозащищенности

линии связи на 8 дБ (равносильно снижению требований к ОСШ в канале с 30 дБ до 22 дБ).

На рис. 2 представлена зависимость вероятности битовой ошибки от величины частотной расстройки помехи.

По результатам анализа графиков, представленных на рис. 2, можно сделать следующее заключение: величина частотной расстройки существенно сказывается на допустимой вероятности битовой ошибки. Так, демонстрируемые на рис. 2 графики показывают, что при ОСШ в канале порядка 13 дБ допустимая вероятность ошибки $P_{\text{ош}} = 10^{-7}$ достигается при ОПС равной -10 дБ только в том случае, если величина частотной расстройки не $K_f \leq 0,15$. При значении ОПС $h = -6$ дБ величина частотной расстройки должна составлять $K_f \leq 0,085$, а при ОПС $h = -3$ дБ, соответственно, $K_f \leq 0,05$.

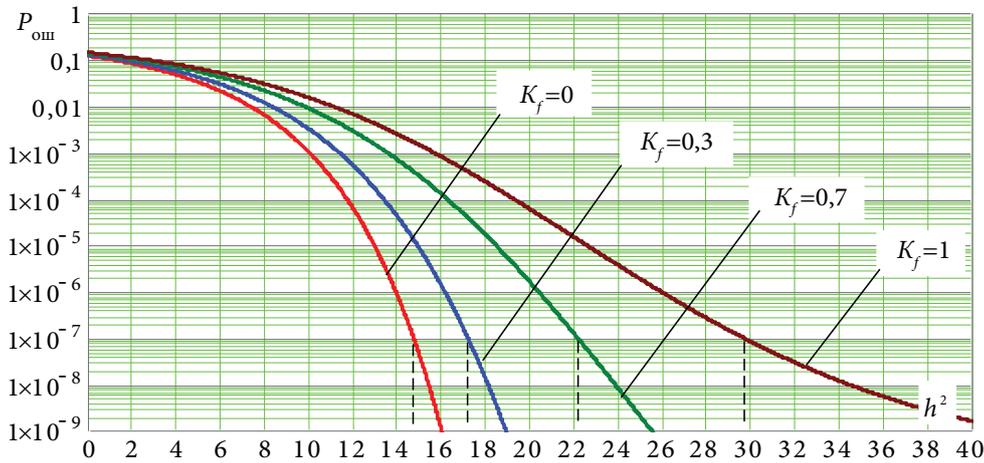


Рис. 1. Зависимость вероятности ошибки от ОСШ при различных значениях коэффициента ослабления помехи, вызванного ее частотной расстройкой

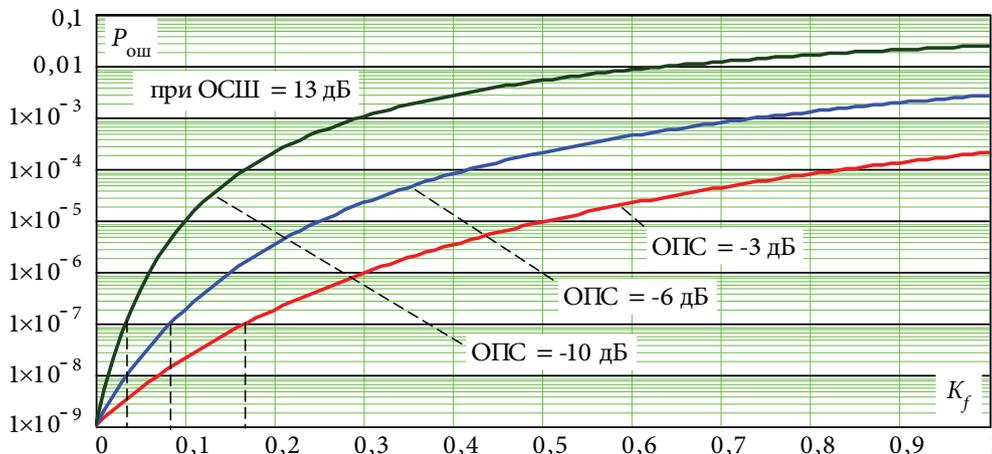


Рис. 2. Зависимость вероятности ошибки от величины частотной расстройки помехи

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам проведенного исследования можно сделать следующий вывод: взаимные помехи на линиях спутниковой связи VSAT, как правило, возникают при нарушении требований к электромагнитной совместимости источников радиоизлучений. Но независимо от причин их возникновения уровень наносимого деструктивного уровня определяется величиной частотной расстройки значимой полосы спектров помехи и полезного сигнала.

Выполненные исследования показали, что для передач стандарта DVBS2X, которые характеризуются высокими требованиями к качеству каналов, перекрытие спектров сигналов источников радиоизлучений, работающих в условиях взаимных помех, даже в пределах 5% от занимаемой полосы частот, может стать причиной нарушения связи.

Разработанный подход к расчету битовой ошибки в канале в зависимости от величины частотной расстройки сигналов конфликтующих источников радиоизлучений может быть использован для вероятностной оценки качества связи в условиях взаимных помех.

Дальнейшее исследование авторы связывают с разработкой способов компенсации непреднамеренных структурных помех, аналогичных рассмотренным в [19].

ЛИТЕРАТУРА

1. Куцаев М.В., Галицкий М.В. Исследование рынка и перспектив развития VSAT // Телекоммуникации и информационные технологии. – 2024. – Т. 11. – № 2. – С. 149–152. – EDN XFSNWM.
2. Жданова И.М., Дворников С.С., Дворников С.В. Жданова И.М. Модель возникновения аномалий в демодулированном трафике абонентских терминалов VSAT // Морской вестник. – 2024. – № 4(92). – С. 101–103. – EDN DIFQEL.
3. Лаврентьев М.В., Митькин М.А., Воронцов А.П. Перспективы применения технологий SDN/NFV в VSAT системах нового поколения // Тр. Научно-исследовательского института радио. – 2023. – № 1. – С. 15–30. – DOI 10.34832/NIIR.2023.12.1.003. – EDN ERFHXI.
4. Коломенский К.Ю., Демидова А.Ю., Казаринов А.С. От DVBS к DVBS2X: прогресс в стандартизации систем цифрового спутникового вещания // Изв. вузов России. – Сер.: Радиоэлектроника. – 2024. – Т. 27. – № 2. – С. 68–78. – DOI 10.32603/1993-8985-2024-27-2-68-78. – EDN SUBWTQ.
5. Жданова И.М., Дворников С.С., Дворников С.В. Модель и условия возникновения аномалий в демодулированном трафике абонентских терминалов VSAT // Системы управления, связи и безопасности. – 2025. – № 1. – С. 105–130. DOI: 10.24412/2410-9916-2025-1-105-130
6. Орлов С.Н. Видеоконференцсвязь: трудности роста // Вестник связи. – 2008. – № 11. – С. 57–59. – EDN JVOAXH.
7. Пастух А.С., Болтаев Р.А., Девяткин Е.Е., Иванкович М.В. Исследование вариантов реализации гибридных спутниковых систем связи в сетях 4G-6G прямого доступа «смартфон-спутник» // Тр. Науч.-исслед. ин-та радио. – 2022. – № 4. – С. 55–75. – DOI 10.34832/NIIR.2022.11.4.007. – EDN JMFDTs.
8. Ермилов В.Т. VSAT в России и за рубежом: сравнительный анализ норм и требований // Электросвязь. – 2009. – № 5. – С. 20–23. – EDN KXPPYR.
9. Селиванов С.В., Дворников С.С., Ибрагимов А.Р., Дворников С.В. Энергетическая защищенность линий радиосвязи абонентских терминалов VSAT // Вопросы радиоэлектроники. – Сер.: Техника телевидения. – 2024. – № 2. – С. 56–61. – EDN LIRKDG.
10. Дворников С.В., Крячко А.Ф., Пшеничников А.В. Моделирование радиотехнических систем в конфликтных ситуациях когнитивного характера // Волновая электроника и инфокоммуникационные системы. – Сб. ст. XXII Международ. науч. конф. 3–7 июня 2019 г., Санкт-Петербург. – В 2-х ч. – Ч. 2. – СПб.: Изд. СПбГУ аэрокосмического приборостроения. – 2019. – С. 84–89. – EDN GLQVYA.
11. Помехозащищенность абонентских терминалов малых спутниковых станций в режиме телефонии / Бестугин А.Р., Дворников С.В., Дворников С.С. [и др.] // Радиотехника. – 2024. – Т. 88. – № 4. – С. 142–148. – DOI 10.18127/j00338486-202404-14. – EDN DYCBEU.
12. Снижение уровня взаимных непреднамеренных помех при совместной работе корабельных гидроакустических станций / Андреев М.Я., Охрименко С.Н., Паршуков В.Н. [и др.] // Датчики и системы. – 2020. – № 6(248). – С. 62–68. – DOI 10.25728/datsys.2020.6.10. – EDN DEXCJM.
13. Дворников С.В., Фокин Г.А., Аль-Одхари А.Х., Федоренко И.В. Оценка влияния свойств сигнала PRS LTE на точность позиционирования // Вопросы радиоэлектроники. – Сер.: Техника телевидения. – 2017. – № 4. – С. 94–103. – EDN YQWNLJ.
14. Исследование субканальных шумов сигналов, сформированных по технологии ортогонального частотного мультиплексирования / Бестугин А.Р., Дворников С.В., Крячко А.Ф. [и др.] // Вопросы радиоэлектроники. – Сер.: Техника телевидения. – 2018. – № 3. – С. 123–129. – EDN VAIBLL.
15. Дворников С.В., Алексеева Т.Е. Распределение Алексеева и его применение в задачах частотно-временной обработки сигналов // Информация и космос. – 2006. – № 3. – С. 9–20. – EDN KXAJLB.
16. Коняшкин Г.В., Полевода Ю.А. Оценка помехозащищенности цифровых видов модуляции // Вопросы электромеханики. – Тр. ВНИИЭМ. – 2023. – Т. 193. – № 2. – С. 28–33. – EDN HFHNDX.
17. Dvornikov S.S., Zheglov K.D., Dvornikov S.V. SSB signals with controlled pilot level // T-Comm. – 2023. – Vol. 17. – № 3. – P. 41–47. – DOI 10.36724/2072-8735-2023-17-3-41-47. – EDN VUZDRH.
18. Дворников С.В., Дворников С.С. Эмпирический подход к оценке помехоустойчивости сигналов фазовой модуляции // Информатика и автоматизация. – 2020. – Т. 19. – № 6. – С. 1280–1306. – DOI 10.15622/ia.2020.19.6.6. – EDN JJPYCE.
19. Анализ помехоустойчивости передач с однопольной модуляцией в каналах с флуктуационными помехами / Дворников А.С., Гудков М.А., Аюков Б. А. [и др.] // Вопросы радиоэлектроники. – Сер.: Техника телевидения. – 2022. – № 4. – С. 58–64. – EDN PQZSZB. ■

Для решения задач навигации и освещения обстановки корабля оснащаются многофункциональным радиоэлектронным вооружением (РЭВ) [1, 2]. Образцы РЭВ объединяются в единую локальную вычислительную сеть (ЛВС), построенную по технологии коммутации сегментов (рис. 1). К образцам РЭВ относят радиолокационные станции, средства связи, гидроакустические комплексы, аппаратуру опознавания, комплексы радионавигации, информационно-управляющие системы и другие средства, обеспечивающие преобразование и обработку электромагнитных (акустических) сигналов и данных от корабельных систем.

Технология коммутации сегментов основана на применении узлов коммутации (коммутаторов), позволяющих одновременно передавать данные между всеми взаимодействующими парами узлов ЛВС корабля. Для коммутатора вся сеть представляется наборами MAC-адресов узлов [3].

Функции ЛВС корабля выполняются с применением технологии Клиент-Сервер, согласно которой все задачи по обработке данных выполняются серверной частью, а клиентские приложения выполняют функции мониторов соответствующих АРМ специалистов [4]. Данные, которыми обмениваются сегменты ЛВС, должны быть непротиворечивыми и актуальными, особенно для задач реального времени, таких как навигация и освещение обстановки. Таким образом, работа узлов ЛВС корабля должны быть синхронизирована во времени.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ СИНХРОНИЗАЦИИ ВРЕМЕНИ В ЛОКАЛЬНОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ КОРАБЛЯ

*К.В. Лапшин, ст. преподаватель,
Т.М. Татарникова, д-р техн. наук, проф., ГУАП,
Ю.А. Ямщиков, начальник научно-координационного центра
АО «Концерн «Гранит-Электрон»,
контакт. тел. + 7 (921) 865 2685)*

ОПИСАНИЕ ПРОТОКОЛА СИНХРОНИЗАЦИИ ВРЕМЕНИ

В локальных сетях синхронизация времени реализуется протоколом РТР (Precision Time Protocol – протокол точного времени), также известного как стандарт IEEE 1588. Стандарт предусматривает пять типов устройств – часов, которые настраиваются по источнику точного времени [5]:

- гроссмейстерские часы (Grandmaster clock) – основной источник точного времени. Часто оснащаются интерфейсом для подключения GPS;
- ведущие часы (Master Clock) – источник точного времени, по которому синхронизируются другие часы;
- ведомые часы (Slave Clock) – конечное устройство, которое синхронизируется от ведущих часов;
- граничные часы (Boundary Clock) – устройство с несколькими портами, которое может быть ведущим или ведомым устройством. Эти часы могут синхронизироваться от вышестоящих ведущих часов и синхронизировать нижестоящие ведомые часы;
- прозрачные часы (Transparent Clock) – устройство с несколькими порта-

ми, которое только измеряет время прохождения сообщений синхронизации сквозь себя и предоставляет информацию устройствам, которые участвуют в процессе синхронизации времени.

Ведущие и ведомые часы синхронизируются при помощи меток времени, передаваемых в РТР-сообщениях. Передача пакета с РТР-сообщением через локальную сеть подразумевает задержку на коммутаторе и в канале передачи данных [6].

При нормальной работе протокол работает в две фазы:

фаза 1 – установка иерархии «Ведущие часы – Ведомые часы»;

фаза 2 – синхронизация часов ведущего и ведомого узлов при помощи механизма End-to-End или Peer-to-Peer.

Иерархия «Ведущие часы – Ведомые часы» устанавливается по алгоритму выбора лучшего генератора (Best Master Clock Algorithm, BMCA), который позволяет граничным часам брать на себя обязательство текущих гроссмейстерских часов в случае потери ими сигнала GPS, отключения от сети и т. д. Информация о часах присылается в специальном сообщении, на основании которой

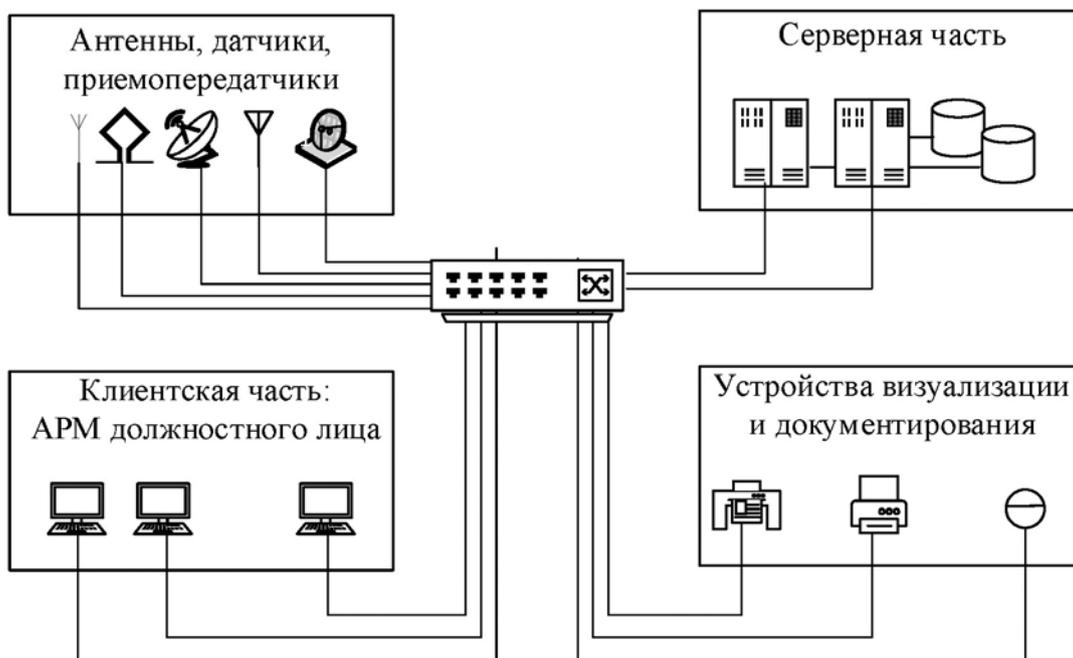


Рис. 1. Локальная вычислительная сеть корабля

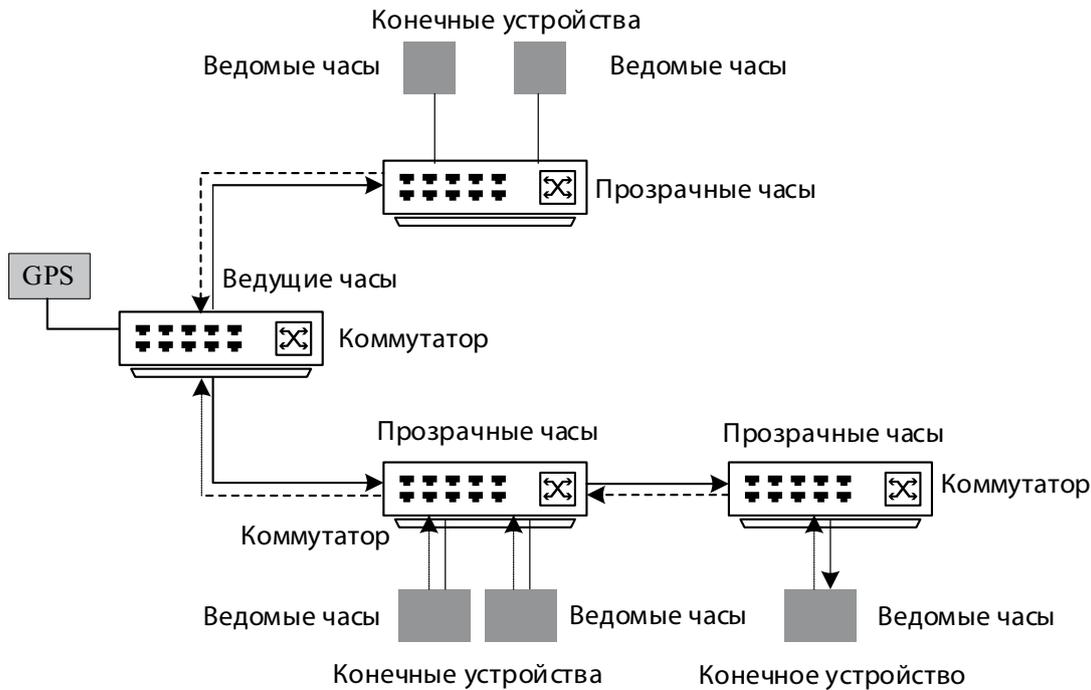


Рис. 2. Синхронизация по механизму End-to-End

сравнивается, какие часы точнее. Порт на лучших часах становится ведущими часами. С этой целью все ведущие часы системы постоянно находятся в режиме прослушивания сообщений [7].

Сразу после установки иерархии «Ведущие часы – Ведомые часы» начинается фаза синхронизации отправки сообщения, содержащего метку времени от ведущих часов к ведомым часам.

Для фазы синхронизации могут быть использованы два механизма:

- сквозной End-to-End;
- одноранговый Peer-to-Peer.

При реализации сквозного механизма фазы синхронизации RTP-сообщение от ведущих часов (Сервера) широковещательной рассылкой передается на все порты. Транзитные коммутаторы с прозрачными часами запоминают метку времени при приеме RTP-сообщения в порту и при отправке с порта. На основании этих двух меток времени вычисляется время обработки RTP-сообщения коммутатором. Задержка измеряется для всего пути от узла с ведущими часами до каждого конечного устройства (Клиента) в отдельности и синхронизируется только с ведущими часами (рис. 2).

При реализации однорангового механизма Peer-to-Peer фазы синхронизации прозрачные часы измеряют не только время обработки сообщения коммутатором, но и задержку на канале передачи данных до ближайшего соседа, используя механизм измерения задержки соседнего узла.

Задержка измеряется на каждом канале в обоих направлениях. Это позволяет сразу вычислить новую задержку на пути синхронизации, если измени-

лись гроссмейстерские часы или топология сети. Время обработки сообщений коммутаторами и время задержки аккумулируются при передаче RTP-сообщения.

Временная диаграмма на рис. 3 объясняет, каким образом определяется задержка *Delay* при обработке RTP-сообщения на фазе 1 – установке иерархии «Ведущие часы – Ведомые часы» [8]. Обозначим: t_0^A – начало шкалы времени ведущих часов; t_0^B – начало шкалы времени ведомых часов; τ – расхождение шкал времени; t_1^B – время отправки запроса от Клиента к Серверу (по ведомым часам); t_2^A – время получения запроса Сервером (по ведущим часам); t_3^A – время отправки ответа Сервером (по ведущим часам); t_4^B – время получения ответа Клиентом (по ведомым часам).

Запишем

$$Delay = (t_4^B - t_1^B) - (t_3^A - t_2^A), \quad (1)$$

где продолжительность $(t_4^B - t_1^B)$ и $(t_3^A - t_2^A)$ включает время распространения RTP-сообщения τ^{A-B} , τ^{B-A} и разницу в показаниях часов Клиента и Сервера τ .

Если принять условие симметрии канала, т. е. $\tau^{A-B} = \tau^{B-A}$, то

$$\tau = \frac{(t_2^A - t_1^B) - (t_4^B - t_3^A)}{2}. \quad (2)$$

Для корректировки собственных часов Клиенту необходимо добавить вычисленное значение τ к текущему времени.

В реальности имеет место асимметрия задержек в канале, т. е. $\tau^{A-B} \neq \tau^{B-A}$, вызванная нестабильностью среды передачи: ожидания в очередях коммутаторов, загруженность канала и т.п.

В последней версии стандарта в протокол RTP введены компенсации асимметричных задержек [9]. На рис. 4 приведена временная диаграмма, поясняющая оценивание Δt – величины коррекции шкалы.

Пусть τ^{B-A} – вариации задержки передачи пакетов от ведомых часов к ведущим, τ^{A-B} – вариации задержки передачи пакетов от ведущих часов к ведомым. Расхождение времени будет отличаться от фактического на погрешность

$$\delta = \frac{(\tau^{A-B} - \tau^{B-A})}{2}. \quad (3)$$

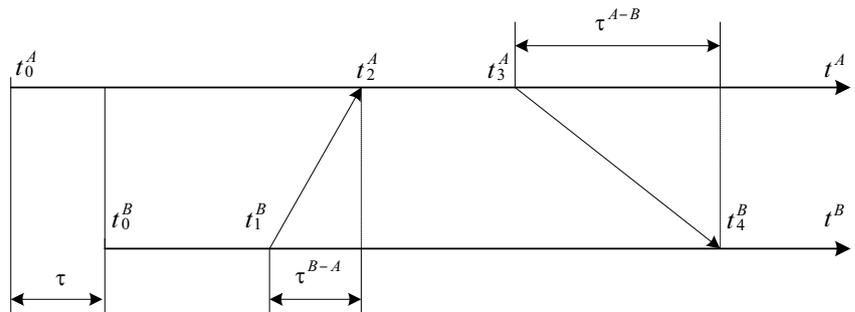


Рис. 3. Временная диаграмма фазы установки иерархии «Ведущие часы – Ведомые часы»

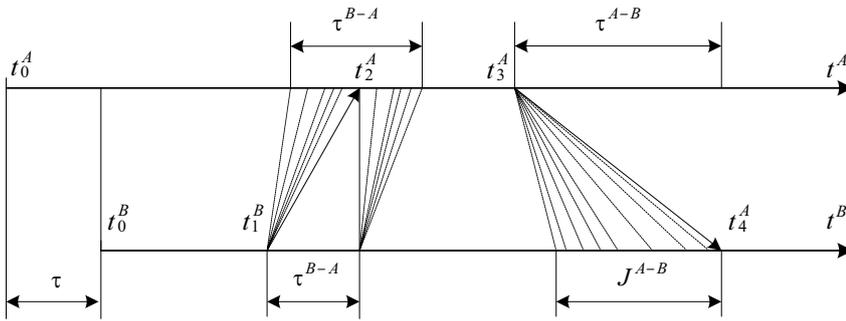


Рис. 4. Оценивание величины коррекции шкалы

Тогда величина Δt необходимой коррекции шкалы t^B относительно шкалы t^A составит:

$$\Delta t = (t_3^A + \tau^{B-A}) - t_4^B = \frac{t_3^A + t_2^A - t_4^B - t_1^B}{2} - \delta. \quad (4)$$

Наличие механизма компенсации задержек является основным преимуществом протокола RTP, что делают его незаменимым в промышленных системах управления, телекоммуникациях и высокочастотном трейдинге, где погрешность синхронизации свыше 1 мс неприемлема [10]. Вместе с этим к недостаткам протокола RTP относят следующие:

- реализация механизма компенсации задержек связана с дополнительными издержками – привлечение сторонних протоколов и оборудования [11];
- фиксированные интервалы синхронизации в сценариях с резким изменением сетевой нагрузки приводит к «раскачиванию» часов: частые коррекции вводят шум, т. е. интервалы τ^{A-B} и τ^{B-A} становятся шире, а редкие коррекции приводят к накоплению ошибок [12];
- отсутствие встроенной криптографической защиты в протоколе RTP, что дает возможность злоумышленнику искусственно увеличивать время доставки пакетов или фальсифицировать сообщения для назначения ложных ведущих часов [11].

ПРИМЕНЕНИЕ ФИЛЬТРА КАЛМАНА

Для повышения точности синхронизации времени применим фильтр Калмана – адаптивный алгоритм, позволяющий минимизировать шум измерений и предсказывать истинное значение временных меток. Данный метод основан на статистической обработке поступающих измерений и динамическом обновлении оценок с учетом априорной модели изменений времени.

Фильтр Калмана опирается на две ключевые модели:

- модель процесса прогнозирования состояния:

$$\mathbf{x}_k = \mathbf{F} \times \mathbf{x}_{k-1} + \mathbf{B} \times \mathbf{u}_{k-1} + \mathbf{w}_k, \quad (5)$$

где \mathbf{x}_k – вектор состояния (смещение ча-

сов и дрейф частоты) в текущий момент времени k ;

$\mathbf{F} = \begin{bmatrix} 1 & \Delta t \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$ – матрица перехода (модель эволюции состояния), Δt – интервал дискретизации;

$\mathbf{B} = \begin{bmatrix} \Delta t \\ 1 \end{bmatrix}$ – матрица применения управляющего воздействия;

\mathbf{u}_{k-1} – вектор управляющего воздействия (например, коррекция от RTP) в предыдущий момент времени $(k-1)$; \mathbf{w}_k – вектор шума процесса в текущий момент времени k ;

- модель наблюдения, которая связывает состояние с измерениями:

$$\mathbf{z}_k = \mathbf{H} \times \mathbf{x}_k + \mathbf{v}_k, \quad (6)$$

где \mathbf{z}_k – измерение (разница между показаниями часов клиента и сервера); \mathbf{H} – матрица наблюдений; \mathbf{x}_k – вектор состояния в текущий момент времени k ; \mathbf{v}_k – шум измерений (джиттер задержки Delay).

Шум процесса представляется ковариационной матрицей

$$\mathbf{Q}_k = [\mathbf{w}_k \times \mathbf{w}_k^T] = \begin{bmatrix} \sigma_{Offset}^2 & 0 \\ 0 & \sigma_{Drift}^2 \end{bmatrix}, \quad (7)$$

где σ_{Offset}^2 , σ_{Drift}^2 – дисперсии шумов смещения и дрейфа частоты.

Шум измерений представляется ковариационной матрицей

$$\mathbf{R}_k = [\mathbf{v}_k \times \mathbf{v}_k^T]. \quad (8)$$

Фильтр Калмана реализует итеративный процесс, состоящий из двух основных этапов: прогноза – предсказания состояния системы (5) на основе моде-

ли наблюдения (6) и коррекции – уточнения предсказания с использованием новых измерений. Эти этапы образуют замкнутый цикл, позволяющий адаптивно балансировать между доверием к модели и поступающим данным.

Для коррекции предсказания применяются следующие выражения:

$$\mathbf{K}_k = \mathbf{P}_k \times \mathbf{H}^T \times (\mathbf{H} \times \mathbf{P}_k \times \mathbf{H}^T + \mathbf{R}_k)^{-1}, \quad (9)$$

$$\mathbf{x}_k = \mathbf{x}_k + \mathbf{K}_k \times (\mathbf{z}_k - \mathbf{H} \times \mathbf{x}_k), \quad (10)$$

$$\mathbf{P}_k = \left[(\mathbf{x}_k - \mathbf{x}_k) \times (\mathbf{x}_k - \mathbf{x}_k)^T \right], \quad (11)$$

где \mathbf{K}_k – коэффициент Калмана (коэффициент усиления фильтра); \mathbf{P}_k – матрица ковариации предсказываемой ошибки оценивания; \mathbf{x}_k – вектор предсказываемой оценки состояния; \mathbf{P}_k – матрица ковариации ошибки оценивания.

Алгоритм работы фильтра Калмана: шаг 1 – инициализация фильтра Калмана: \mathbf{x}_0 – начального значения вектора предсказываемой оценки состояния и \mathbf{P}_0 – матрицы ковариации предсказываемой ошибки оценивания;

шаг 2 – измерение \mathbf{z}_k ;

шаг 3 – вычисление коэффициента Калмана по формуле (9);

шаг 4 – коррекция вектора состояний по формуле (10);

шаг 5 – коррекция матрицы ковариации ошибки оценивания по формуле (11);

шаг 6 – предсказание следующего шага итерации:

$$\mathbf{x}_k = \mathbf{F} \times \mathbf{x}_{k-1} + \mathbf{B} \times \mathbf{u}_{k-1},$$

$$\mathbf{P}_k = \mathbf{F} \times \mathbf{P}_k \times \mathbf{F}^T + \mathbf{Q};$$

шаг 7 – переход на шаг 2 с повторением процедуры фильтрации Калмана для каждого нового измерения.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТА

Для эксперимента были созданы шесть виртуальных машин (ВМ) с синхронизацией времени по протоколу RTP. На каждой ВМ генерировалась нагрузка в виде постоянных HTTP-запросов и применялся фильтр Калмана. Параметры фильтра Калмана \mathbf{Q}_k найдены экспериментальным путем:

$$\mathbf{F}_k = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, \mathbf{Q}_k = \begin{bmatrix} 0,1 & 0 \\ 0 & 0,01 \end{bmatrix}, \quad (12)$$

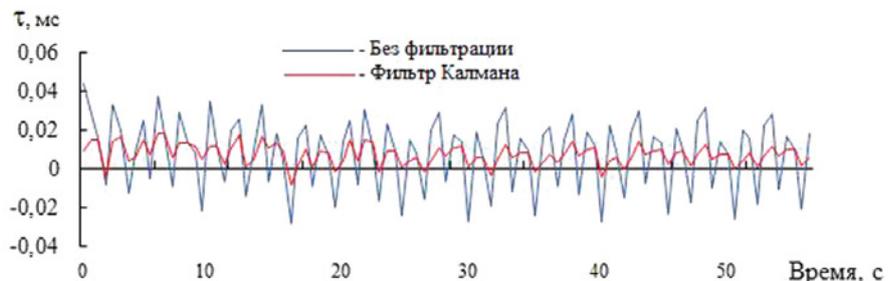


Рис. 5. Графики замеров расхождения шкал времени τ

Продолжительность эксперимента составила 6 часов, но на графиках рис. 5 и рис. 6 приведены замеры на интервалах, отражающих наиболее общую картину результатов эксперимента.

На рис. 5 приведены графики замеров τ с синхронизацией времени по протоколу РТР и с синхронизацией по Калману.

Без использования фильтра Калмана среднеквадратическая вариация задержки по протоколу РТР составила 0,17 мс, с фильтром Калмана оно стремится к нулю. При использовании фильтра Калмана удалось снизить среднеквадратическую вариацию задержки на 58%, а максимальное расхождение шкал τ с 0,044 до 0,018 мс.

На рис. 6 показано, что настройка (обучение) фильтра Калмана в целом занимает меньше времени, чем, например, скользящее среднее. Спустя порядка 10 с фильтр Калмана настраивается и прогнозируемое время задержки совпадает с реальным измеренным, что приводит к значительному снижению τ .

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Интеграция фильтра Калмана в протокол синхронизации РТР обеспечивает существенное повышение точности синхронизации часов Клиента и Сервера в локальных вычислительных сетях за счет принципиально иного подхода к обработке неопределенностей, присутствующих в сетевых взаимодействиях.

Применение фильтра Калмана позволяет:

- сглаживать вариации задержек передачи данных в РТР, минимизируя ошибки синхронизации;
- корректировать временные метки РТР при резких изменениях ведущих часов;
- обеспечивать устойчивость к неточностям в измерениях физического времени.

Это возможно благодаря наличию адаптивной стохастической обратной связи – коррекции состояния системы на основе модели наблюдения.

Эксперимент подтверждает, что фильтр Калмана – эффективный инс-

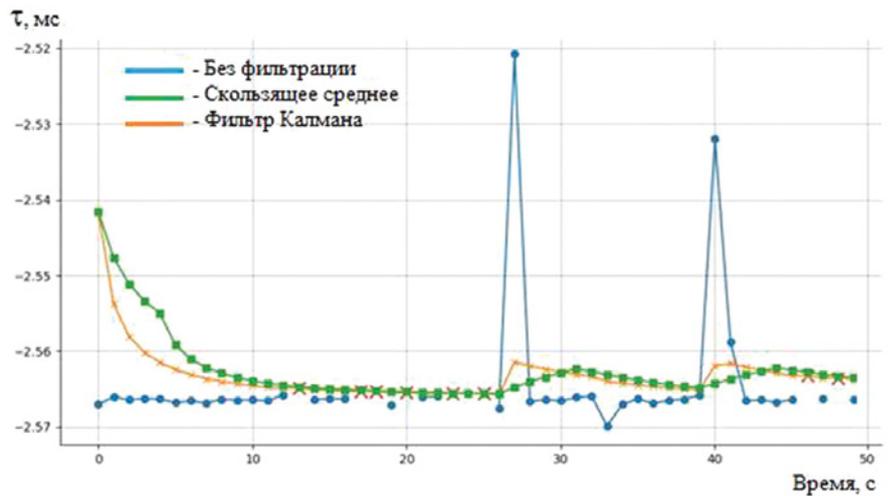


Рис. 6. Зависимость настройки фильтра Калмана от времени

трумент для борьбы с вариацией задержки в РТР-сетях. При помощи него удалось снизить среднеквадратическую вариацию задержки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Игнатов Е.Д., Ясинская Ю.В. Проектирование и построение корабельной локальной вычислительной сети // Тр. СПбГМТУ. – 2022. – №2. – С. 101–109.
2. Татарникова Т.М., Лапшин К.В. Механизмы обеспечения безопасности «умной сети» корабля // Морская радиоэлектроника. – 2024. – №4 (90). – С. 12–16.
3. Tonenbaum A., Austin T. Structured Computer Organization. – 6th ed. – Prentice Hall, 2012. – 800 p.
4. Олифер В., Олифер Н. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. СПб.: Питер, 2016. – 992 с.
5. Mallela C., Tholu K., Bordogna M. Timing models for PTP in Ethernet networks. – IEEE International Symposium on Precision Clock Synchronization for Measurement, Control and Communication (ISPCS), 2017, p. 1–6.
6. Батенков К.А., Цицин Е.А. Подстройка параметров времени для сетевых устройств с помощью протокола синхронизации РТР (Precision Time Protocol). – Сб. науч. тр. 1-й Международ. науч.-практ. конф. «Инфокоммуникационные технологии: актуальные вопросы цифровой экономики», 2021, с. 90–95.
7. Мазуренко Д.К. Сетевые решения построения пакетной сети распределения сигнала

для единичного точного времени. // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2015. – Т. 9. – № 4. – С. 67–71.

8. Рыжков А.В., Колтунов М.Н., Насонов А.Ю., Шварц М.Л. Проблемы сличения шкал времени в пакетных сетях электросвязи. // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2017. – Т. 11. – №11. – С. 10–17.
9. Exel R. Mitigation of asymmetric link delays in IEEE 1588 clock synchronization systems // IEEE Communications Letters. – 2014. – Vol. 18. – №. 3. – P. 507–510.
10. Губанов Н.Г., Рагузин А.С. Анализ и моделирование протоколов синхронизации в информационной системе региональной электросетевой компании // Вестник Самарского ГТУ. – 2016. – № 1(49). – С. 7–14.
11. Zhou K., Wang X., Cui S. Time Synchronization in Industrial Internet of Things: A Survey // IEEE 7th Information Technology, Networking, Electronic and Automation Control Conference (ITNEC). – 2024. – Vol.7. – С. 506–510.
12. Фунг В.К., Богатырев В.А. Задержки и надежность обслуживания запросов в виртуальном компьютерном кластере // Вестник Томского ГУ. Управление, вычислительная техника и информатика. – 2024. – №68. – С. 48–58. doi: 10.17223/19988605/68/5.
13. Finkensteller A. et al. PTPsec: Securing the Precision Time Protocol Against Time Delay Attacks Using Cyclic Path Asymmetry Analysis // IEEE INFOCOM 2024–IEEE Conference on Computer Communications, 2024, p. 461–470. ■

КВАЗИОПТИМАЛЬНЫЙ АЛГОРИТМ ОБНАРУЖЕНИЯ ИМПУЛЬСОВ В РАДИОЛОКАЦИОННЫХ КОРАБЕЛЬНЫХ РАДИОСИСТЕМАХ В КЛАССЕ ЗАГРЯЗНЕННЫХ ПУАССОНОВСКИХ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ

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

Рассмотрим и проанализируем обобщенную модель фоновых совпадений в классе загрязненных пуассоновских распределений [1, 2] при произвольном алгоритме формирования сигнальной и контрольной выборок. При этом уделим особое внимание квазиоптимальному алгоритму обнаружения импульсов в данном классе распределений.

КВАЗИОПТИМАЛЬНЫЙ АЛГОРИТМ ОБНАРУЖЕНИЯ ИМПУЛЬСОВ В КЛАССЕ ЗАГРЯЗНЕННЫХ ПУАССОНОВСКИХ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ПРИ ПРОИЗВОЛЬНОМ АЛГОРИТМЕ ФОРМИРОВАНИЯ СИГНАЛЬНОЙ И КОНТРОЛЬНОЙ ВЫБОРОК

Подобный алгоритм основан на предварительном вычислении условных средних значений фоновых совпадений на сигнальных интервалах наблюдения. По отношению к оптимальному байесовскому алгоритму реализация «оценочного» алгоритма значительно упрощается.

Пусть $n = (n_1, \dots, n_k, \dots, n_N)$ и $v = (v_1, \dots, v_k, \dots, v_N)$ – сигнальная и контрольная выборки, где n_k и v_k – соответственно, число совпадений на сигнальном $(t_k, t_k - T_0)$ и контрольном $(t_k, t_k + T_0)$ интервале наблюдения. Временной репер $\{t_k\}$, $k = 1, N$ характеризует конкретную задачу. Пусть $\vartheta = (0, 1)$ – параметр обнаружения. Тогда число совпадений n_k на сигнальном интервале наблюдения можно представить в виде суперпозиции

$$n_k = s_k + f_k, \quad k = \overline{1, N}.$$

В [1, 2] фоновые совпадения f_k рассмотрены как случайные величины, распределенные по закону Пуассона:

$$P\{f_k = m\} = p(m, \lambda_k), \quad p(m, \lambda) = \frac{\lambda^m}{m!} \exp\{-\lambda\}, \quad m = 0, 1, 2, \dots \quad (1)$$

Интенсивность фоновых совпадений $\lambda_k = \langle f_k \rangle$ (где $\langle \cdot \rangle$ – символическая форма записи оператора статистического усреднения) в классе пуассоновских распределений считается неслучайным параметром.

Из (1) с учетом того, что сигнальные совпадения можно рассматривать как стационарный пуассоновский поток событий, имеем

$$P\{n_k = m, \vartheta\} = p(m, \vartheta \lambda_s + \lambda_k), \quad (2)$$

где $\lambda_s = \langle s_k \rangle = \text{const}$ при $k = \overline{1, N}$. Решение «сигнал есть» при комплексной системе обработки информации по совпадениям в соответствии с критерием Неймана – Пирсона принимается, если выполнено следующее условие [3–5]:

$$z = \sum_{k=1}^N c_k n_k > C(\alpha), \quad (3)$$

где $C(\alpha)$ – пороговый уровень, зависящий от вероятности ложной тревоги α ;

$$c_k = \ln(1 + \lambda_s / \lambda_k), \quad k = \overline{1, N} \quad (4)$$

– весовые коэффициенты.

При достаточно большом объеме N сигнальной выборки n достаточную статистику z [см. (3)] можно рассматривать как асимптотически гауссову случайную величину. В гауссовом приближении пороговый уровень $C(\alpha)$ определяется выражением

$$C(\alpha) = C(\alpha, c_1, c_2, \dots, c_N) \approx u_{1-\alpha} \sqrt{\sum_{k=1}^N c_k^2 \lambda_k},$$

где u_p – квантиль гауссова распределения.

В условиях априорной неопределенности средние значения фоновых совпадений λ_k оказываются неизвестными. В байесовском подходе неизвестные параметры λ_k можно представить как статистически независимые дискретные слу-

чайные величины, совместная априорная плотность распределения вероятности (ПРВ) которых будет

$$W_{\text{пр}}(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_N) = \prod_{k=1}^N W_{\text{пр},k}(\lambda_k);$$

$$W_{\text{пр},k}(\lambda_k) = \sum_{m=1}^L \varepsilon_{km} \delta(\lambda_k - \bar{\lambda}_{km}),$$

где ε_{km} – весовые коэффициенты, $0 \leq \varepsilon_{km} \leq 1$, $\sum_{m=1}^L \varepsilon_{km} = 1$; $\bar{\lambda}_{km}$ – характерные параметры, $\bar{\lambda}_{km} \geq 0$.

В теории негауссовских случайных процессов для аппроксимации неизвестной ПРВ при наличии хаотических импульсных шумов часто используют модель аномально-засоренной помехи [3]. Применяя подобную модель для вероятностного описания фоновых совпадений, получаем

$$W_{\text{пр},k}(\lambda_k) = W_{\text{пр}}(\lambda_k) = (1 - \varepsilon) \delta(\lambda_k - \bar{\lambda}_1) + \varepsilon \delta(\lambda_k - \bar{\lambda}_2), \quad (5)$$

$$k = \overline{1, N}.$$

где $0 \leq \varepsilon \leq 1$ – вероятность появления аномалии; $\bar{\lambda}_{1,2} \geq 0$.

Из (2) и (5) находим распределение случайной величины n_k в классе ε загрязненных пуассоновских распределений

$$p_{\vartheta}(n_k) = \langle p(n_k, \vartheta \lambda_s + \lambda_k) \rangle_{\lambda_k} = (1 - \varepsilon) p(n_k, \vartheta \lambda_s + \bar{\lambda}_1) + \varepsilon p(n_k, \vartheta \lambda_s + \bar{\lambda}_2). \quad (6)$$

Учитывая, что фоновые совпадения на сигнальном и контрольном интервалах наблюдения статистически эквивалентны, неизвестные параметры ε , $\bar{\lambda}_1$ и $\bar{\lambda}_2$ можно восстановить по начальным моментам

$$m_i = \langle v_k^i \rangle = (1 - \varepsilon) \langle v_k^i | \lambda_k = \bar{\lambda}_1 \rangle + \varepsilon \langle v_k^i | \lambda_k = \bar{\lambda}_2 \rangle, \quad i = 1, 2, 3$$

(аналогичная методика используется при вычислении параметров аддитивной помехи с бигауссовым распределением [3]). Так как $\langle v_k | \lambda_k \rangle = \lambda_k$, $\langle v_k^2 | \lambda_k \rangle = \lambda_k (\lambda_k + 1)$, $\langle v_k^3 | \lambda_k \rangle = \lambda_k (\lambda_k^2 + 3\lambda_k + 1)$, после относительно несложных преобразований получим

$$0 \leq \bar{\lambda}_1 = \frac{x \pm \sqrt{x^2 - 4y}}{2}; \quad 0 \leq \bar{\lambda}_2 = \frac{x \mp \sqrt{x^2 - 4y}}{2}; \quad 0 \leq \varepsilon = \frac{m_1 - \bar{\lambda}_1}{(\bar{\lambda}_2 - \bar{\lambda}_1)} \leq 1, \quad (7)$$

где

$$x = \frac{1}{\Delta} [m_3 - 3m_2 + m_1(m_1 - m_2 + 2)];$$

$$y = \frac{1}{\Delta} [-m_2 + (m_2 + m_1) + m_1(m_1 + m_3)]; \quad \Delta = m_2 - m_1 - m_1^2. \quad (8)$$

В условиях априорной неопределенности неизвестные начальные моменты заменяются выборочными оценками

$$\hat{m}_i = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N v_k^i, \quad i = 1, 2, 3.$$

Безусловно, отношение правдоподобия Λ_N при комплексной системе обработки информации «по совпадениям» определяется выражением

$$\Lambda_N = \prod_{k=1}^N \left[\frac{p_{\vartheta=1}(n_k)}{p_{\vartheta=0}(n_k)} \right].$$

Отсюда, учитывая (6), находим оптимальный по критерию Неймана–Пирсона алгоритм комплексной системе обработки информации в классе ε загрязненных распределений фоновых совпадений:

$$z_\varepsilon = \sum_{r=1}^N \ln \left[\frac{(1-\varepsilon)(\lambda_s + \bar{\lambda}_1)^{n_k} \exp\{-\bar{\lambda}_1\} \varepsilon (\lambda_s + \bar{\lambda}_2)^{n_k}}{(1-\varepsilon)\bar{\lambda}_1^{n_k} \exp\{-\bar{\lambda}_1\} + \varepsilon \bar{\lambda}_2^{n_k} \exp\{-\bar{\lambda}_2\}} \right] > C(\alpha). \quad (9)$$

Основным недостатком оптимального нелинейного алгоритма (9) оказывается значительное усложнение комплексной системы обработки информации по отношению к линейному алгоритму (3). При небайесовском подходе к преодолению априорной неопределенности коэффициенты c_k (4), определяющие структуру «веса накопителя совпадений» (3), в классе ε загрязненных распределений рассматриваются как неизвестные, но неслучайные параметры и при синтезе приемного устройства заменяются соответствующими оценками:

$$\hat{c}_k(v_k) = \ln \left(1 + \frac{\lambda_s}{\hat{\lambda}_k(v_k)} \right), \quad k = \overline{1, N}, \quad (10)$$

где $\hat{\lambda}_k(v_k)$ – оценки неизвестных параметров $\lambda_k(v_k | \lambda_k)$.

Для вычисления таких оценок воспользуемся результатами статистической оптимизации разрешения и распознавания сигналов [4]. В байесовской постановке такой задачи имеем

$$\begin{aligned} \hat{\lambda}_k = \bar{\lambda}_2 : (1-\varepsilon)p(v_k, \bar{\lambda}_1) \geq \varepsilon p(v_k, \bar{\lambda}_2); \\ \hat{\lambda}_k = \bar{\lambda}_1 : (1-\varepsilon)p(v_k, \bar{\lambda}_1) \leq \varepsilon p(v_k, \bar{\lambda}_2), \end{aligned} \quad (11)$$

где $p(m, \lambda)$ – распределение Пуассона (1).

Без ограничения общности предположим, что $\bar{\lambda}_1 \leq \bar{\lambda}_2$, $\varepsilon \leq 1/2$. Тогда, учитывая (11), получаем

$$\begin{aligned} \hat{\lambda}_k = \bar{\lambda}_1 : v_k \geq v_c(\bar{\lambda}_1, \bar{\lambda}_2, \varepsilon); \\ \hat{\lambda}_k = \bar{\lambda}_2 : v_k \leq v_c(\bar{\lambda}_1, \bar{\lambda}_2, \varepsilon), \end{aligned} \quad (12)$$

где

$$v_c(\bar{\lambda}_1, \bar{\lambda}_2, \varepsilon) = \ln^{-1} \left(\frac{\bar{\lambda}_2}{\bar{\lambda}_1} \right) \left[(\bar{\lambda}_2 - \bar{\lambda}_1) + \ln \frac{(1-\varepsilon)}{\varepsilon} \right] \geq 0. \quad (13)$$

Максимально правдоподобные оценки неизвестных параметров λ_k можно считать частным случаем байесовских оценок (12) при $\varepsilon = 1/2$.

Из (10), (12) и (13) находим решающее правило обнаружения эффекта гамма-гравитационной корреляции при небайесовском алгоритме комплексной системы обработки информации в классе ε загрязненных распределений фоновых совпадений:

$$\Theta = 1 : \hat{z} = \sum_{k=1}^N \hat{c}_k(v_k) n_k > C(\alpha). \quad (14)$$

В гауссовском приближении, учитывая, что фоновые совпадения на сигнальных и контрольных интервалах статистически независимы, имеем

$$\begin{aligned} C(\alpha) &= C(\hat{c}_1(v_1), \dots, \hat{c}_N(v_N)) \approx \\ &\approx u_{1-\alpha} \sqrt{m_1^* \sum_{k=1}^N \hat{c}_k^2(v_k) + m_1^* \sum_{k=1}^N \hat{c}_k(v_k)}, \end{aligned} \quad (15)$$

где $m_1^* \approx m_1 = (1-\varepsilon)\bar{\lambda}_1 + \varepsilon\bar{\lambda}_2$ – безусловное среднее значение фоновых совпадений в классе ε загрязненных пуассоновских распределений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом рассмотрен и проанализирован квазиоптимальный алгоритм обнаружения импульсов в радиолокационных корабельных радиосистемах в классе загрязненных пуассоновских распределений при произвольном алгоритме формирования сигнальной и контрольной выборок. На основании проделанной работы можно сделать следующие выводы:

1. Эффективность применения линейного адаптивного алгоритма (14), (15) по отношению к оптимальному (в классе пуассоновских распределений) линейному алгоритму (3) определяется вероятностью β_{12} ошибочного решения при оценивании неизвестных параметров $\lambda_k = \bar{\lambda}_1 \cup \bar{\lambda}_2$, $k = \overline{1, N}$, где

$$\beta_{12} = P\{\hat{\lambda}_k = \bar{\lambda}_2\} = P\{\hat{\lambda}_k = \bar{\lambda}_2\} = \frac{\Gamma(v_c + 1, \bar{\lambda}_2)}{\Gamma(v_c + 1)};$$

$\Gamma(m+1, \lambda) = \int_z^m \exp\{-z\} dz$ – неполная гамма-функция;

$\Gamma(m+1) = \Gamma(m+1, \infty)$ – гамма-функция; $v_c = v_c(\bar{\lambda}_1, \bar{\lambda}_2, \varepsilon)$ – «критическое» число фоновых совпадений (13); $\bar{\lambda}_1 \cup \bar{\lambda}_2$ – математический знак того, что объекты принадлежат множеству $\bar{\lambda}_1$ или множеству $\bar{\lambda}_2$.

2. Наличие нестационарности помехи в системе при комплексной системе обработки информации по совпадениям можно «заложить» в две различные модели априорной неопределенности. В системе, основанной на применении обобщенного критерия максимального правдоподобия, фоновые совпадения рассматриваются как нестационарный пуассоновский поток событий, интенсивность которого $\lambda_k = \lambda_k(k)$ считается неизвестным, но неслучайным параметром.

В классе ε загрязненных моделей априорной неопределенности распределения Пуассона с параметром $\lambda_k = \lambda_k(k)$ характеризует условное распределение фоновых совпадений и, следовательно, в этом классе фоновые совпадения могут представлять собой условно нестационарный пуассоновский процесс. В то же время безусловное распределение фоновых совпадений f_k и v_k для подобной модели априорной неопределенности при дополнительном условии (5) не зависит от индекса $k = \overline{1, N}$. Поэтому в классе ε загрязненных распределений типа (6) фоновые совпадения можно рассматривать как стационарный поток событий с более сложным по отношению к закону Пуассона распределением. Два эти подхода статистически эквивалентны.

3. Параметры ε загрязненного распределения (6) вычисляются по выборочным начальным моментам фоновых совпадений на контрольных интервалах наблюдения [см. (7), (8)].

ЛИТЕРАТУРА

1. Левин Б.Р. Теоретические основы статистической радиотехники – М.: Радио и связь, 1989. – 656 с.
2. Тихонов В.И. Нелинейное преобразование случайных процессов. – М.: Радио и связь, 1986. – 296 с.
3. Артюшенко В.М. Обработка информационных параметров сигнала в условиях аддитивно-мультипликативных негауссовских помех. – М.: ФГБОУ ВПО ФТА, «ИКанцлер», 2014. – 298 с.
4. Сосулин Ю.Г. Теоретические основы радиолокации и радионавигации. – М.: Радио и связь, 1992.
5. Артюшенко В.М., Воловач В.И. Нелинейное оценивание параметров сигнала при воздействии узкополосных негауссовских помех // Автотметрия. – 2019. – Т. 55. – № 1. – С. 80–88. ■

В настоящее время наблюдается расширение сфер морской деятельности государств в Мировом океане. Это, в частности, требует обеспечения мониторинга обстановки в защищаемых акваториях и портах, безопасности судоходства, обнаружения и идентификации подводных объектов. Особую значимость решение подобных задач приобретает в условиях интенсивного развития беспилотных подводных аппаратов. В этой связи потребность в разработке методов и аппаратных средств гидролокации, позволяющих проводить указанные мероприятия, неуклонно повышается.

Основой для получения предварительной информации о характеристиках гидролокационных сигналов, влиянии параметров корпуса подводных аппаратов на их отражающую способность являются расчетные методы, опирающиеся на математические модели. Ценность расчетных результатов особенно возрастает в связи с объективными трудностями корректного экспериментального определения характеристик отражения звука от объектов в морской среде, обусловленных изменчивостью гидрологических условий, влиянием границ акватории, внешних помех и т. д.

При решении задач рассеяния звука подводными объектами весьма актуально для практических целей рассмотрение импульсных зондирующих сигналов, обеспечивающих возможность оценки пространственной протяженности и физических параметров объектов [1]. Разработка математических моделей дифракции акустических импульсов на упругих телах сложной формы должна опираться на принципы механики деформируемого твердого тела и решения граничных задач с помощью численных методов.

В данной работе для расчета характеристик отражения импульсных сигналов рассмотрена модель корпуса подводного аппарата, представляющая собой полую упругую оболочку толщиной h в форме конечного цилиндра длиной L_c и радиусом a , ограниченного по торцам диском и конусом длиной L (поверхность S_1 , рис. 1). Параметры модели: $L_c/2a \approx 7$; $L_c/L_k \approx 2$; $h' = h/a = 0,01$.

Расчет характеристик отраженных импульсных сигналов базируется на использовании значений угловых характеристик рассеяния рассматриваемым объектом стационарного звукового сигнала. Такие угловые характеристики были получены в [2–5] для упругой оболочки в виде конечного цилиндра длиной L с полусферами радиуса a по торцам на основе численного решения граничного интегрального уравнения относительно перемещений и напряже-

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАССЕЯНИЯ ГИДРОЛОКАЦИОННОГО СИГНАЛА КОРПУСОМ ПОДВОДНОГО АППАРАТА

С. Л. Ильменков, д-р техн. наук, проф. СПбГМТУ, контакт. тел. +7 (921) 963 9365, sl_ilmenkov@mail.ru

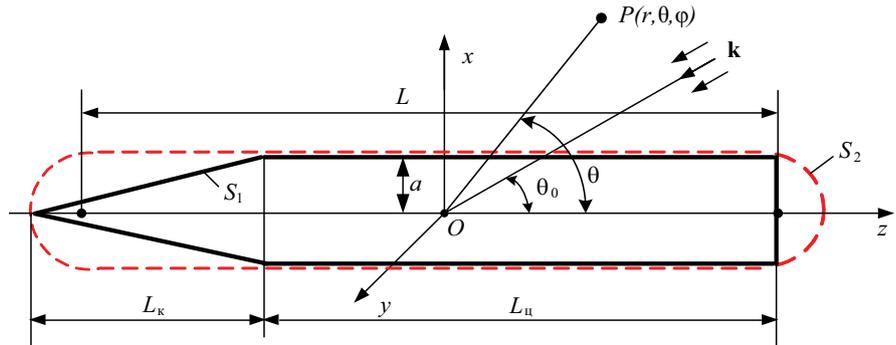


Рис. 1. Исследуемая модель

Здесь θ_0, θ – углы локации и наблюдения соответственно, \mathbf{k} – волновой вектор падающей плоской звуковой волны, $P(r, \theta, \varphi)$ – точка наблюдения со сферическими координатами (зависимость от угла φ отсутствует в силу осесимметричности задачи)

ний в узловых точках криволинейных граничных элементов на фрагментах поверхности оболочки. [3, 5].

Поэтому в качестве математической модели, аппроксимирующей корпус данного подводного аппарата, была выбрана идентичная [2, 4] упругая оболочка S_2 с максимально близкими к форме поверхности S_1 соотношениями размеров ($L/2a = 0$, см. рис. 1) и той же толщины. Для определения характеристик отражения импульсного сигнала использован подход, изложенный в [6–8]: по спектру рассеянного сигнала $S(v, \theta)$ в полосе частот Δv с помощью преобразования Фурье отыскивается форма и длительность рассеянного импульса $\psi_s(t')$, где $t' = t + t_0$; t_0 – время прохождения сигнала от центра тела до точки наблюдения.

Плоский зондирующий импульс p_i с частотой заполнения $\omega_0 = 2\pi\nu_0$ и прямоугольной огибающей может быть представлен в виде [6]

$$p_i(x_i; t - t_1) = p_0(x_i)g(t - t_1), \quad (1)$$

$g(t - t_1) = \exp(-i\omega_0 t) \{ [U(t) - [U(t - t_1)]] \}$, (2) где $x_i (i = 1, 2, 3)$ – обобщенные координаты, связанные с формой поверхности рассеивателя; t_1 – длительность волнового пакета; $[U(t - t_1)]$ – единичная ступенчатая функция, определяемая как: $[U(t - t_1)] = 0$, при $t \leq t_1$; $[U(t - t_1)] = 1$, при $t > t_1$.

Используя преобразование Фурье по времени, получаем [7]

$$p_i(x_i; t - t_1) = (1/2\pi) \int_{-\infty}^{+\infty} p^F(x_i; \omega) \exp(i\omega t) d\omega; \quad (3)$$

$$p^F(x_i; \omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} p(x_i; t - t_1) \exp(-i\omega t) dt, \quad (4)$$

где $\omega = 2\pi\nu$.

С помощью (3) можно найти Фурье-изображения звуковых давлений в падающей p_i и рассеянной p_s волнах, а также скалярного Φ и векторного Ψ потенциалов упругого рассеивателя, которые удовлетворяют волновым уравнениям и связаны между собой через граничные условия на его поверхности. Обратным преобразованием Фурье определяют оригинал Фурье-изображения p_s^F , т. е. давление в рассеянной волне $p_s(x_i, t)$ [9, 10].

Импульс падающей волны и его комплексный амплитудный спектр $S_0(v)$ связаны соотношением

$$\Psi_i(t) = \pi^{-1} \text{Re} \int_{2\pi\nu_1}^{2\pi\nu_2} S_0(v) \exp(i2\pi\nu t) d(2\pi\nu). \quad (5)$$

Отраженный импульс выражается через его спектральную характеристику $S(v, \theta)$:

$$\Psi_s(t, \theta) = r^{-1/2} \pi^{-1} \times \int_{2\pi\nu_1}^{2\pi\nu_2} S(v, \theta) \exp(i2\pi\nu t) d(2\pi\nu), \quad (6)$$

где $S(v, \theta) = S_0(v)D(v, \theta)$; r – расстояние до точки наблюдения.

Значения угловых характеристик рассеяния стационарного сигнала $D(v, \theta)$ были вычислены в диапазоне частот $\Delta v = \nu_2 - \nu_1$; ($\nu_1 = 2\nu'$; $\nu_2 = 20\nu'$); $\nu' = c/\pi a$, с шагом $h_{\Delta\nu} = 0,2\nu_1$.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТА

В численном анализе рассматривались падающие импульсы с прямо-

угольной огибающей, частотой заполнения $\nu_0 = \sqrt{\nu_1 \cdot \nu_2}$ и числом периодов частоты заполнения $n = 35$ при углах локации объекта $\theta_0 = \theta^0 \dots 90^\circ$. Рассеянные импульсы в общем случае вычислялись для обратного, зеркального и теневого направлений рассеяния.

Результаты расчетов временных и спектральных характеристик рассеяния импульсного сигнала при траверсной локации ($\theta_0 = 90^\circ$) модели приведены на рис. 2. Падающий импульс и модуль его спектра представлены на рис. 2, а; нормированный импульс обратного рассеяния и модуль его спектра для стальной модели – на рис. 2, б. Аналогичные результаты для моделей из алюминия и резины – на рис. 2, в и рис. 2, г соответственно.

На рис. 3 представлены результаты расчета временных характеристик рассеяния при осевой локации стальной модели различной относительной длины: $L/2a = 10$; 7 и 5.

Как показывают результаты расчетов, отношения амплитуд отраженного и падающего импульсов при локации в траверсном и осевом направлениях соответственно равны: $\sim 1,0 \dots 1,5$ и $\sim 0,15 \dots 0,2$, что в целом соответствует значениям для стационарного режима локации [1, 3, 4]. Можно отметить также более существенное растяжение во времени отраженных импульсов при осевой локации (определяемое относительной длиной модели) по сравнению с траверсной, что вызвано интерференцией волн, непосредственно отраженных от модели, и волн, огибающих ее в противоположных направлениях [6, 11].

Нормированные импульсы обратного и зеркального рассеяния стальной модели при углах локации $\theta_0 = 30^\circ$ и $\theta_0 = 60^\circ$ показаны на рис. 4.

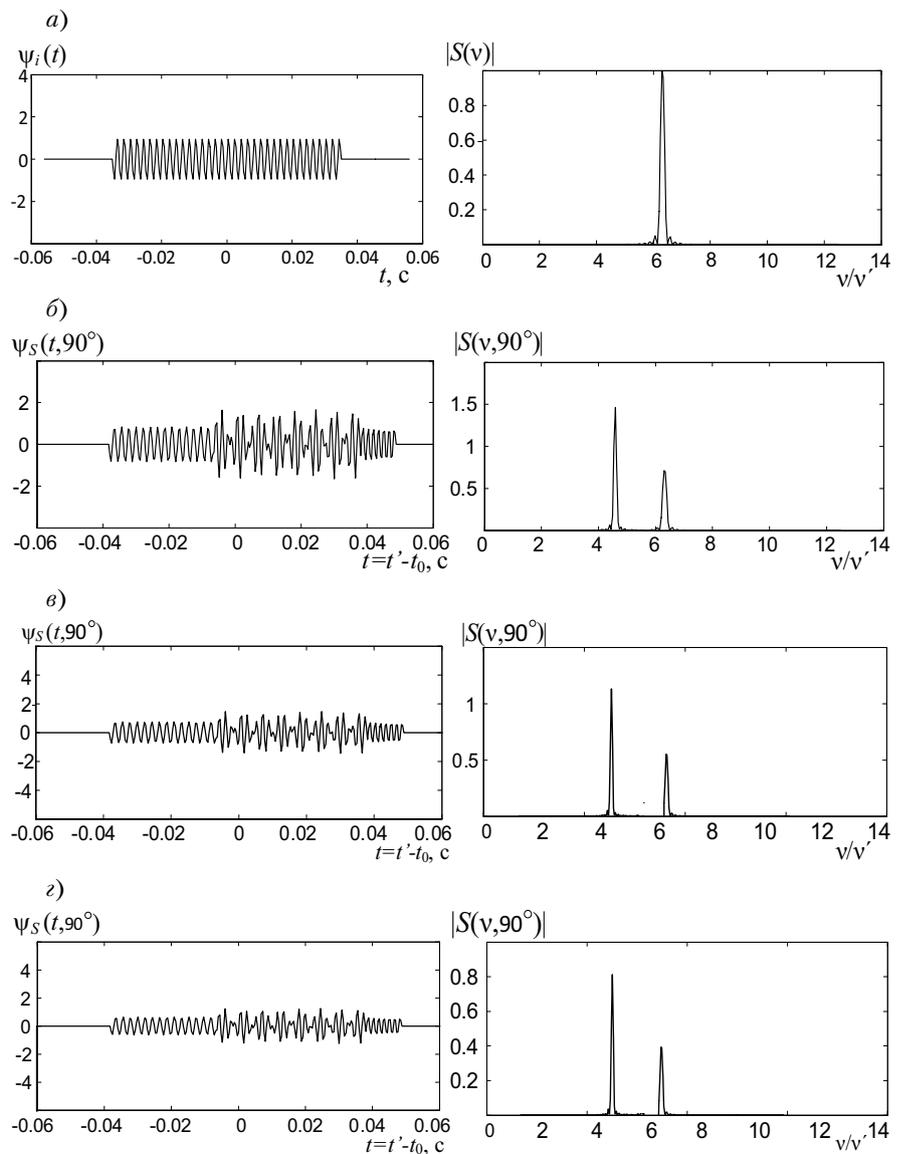


Рис. 2. Характеристики рассеяния моделей из различных материалов при траверсной локации: а – падающий импульс и модуль его спектра; нормированные импульсы обратного рассеяния и модули их спектров для моделей из стали (б), алюминия (в), резины (г)

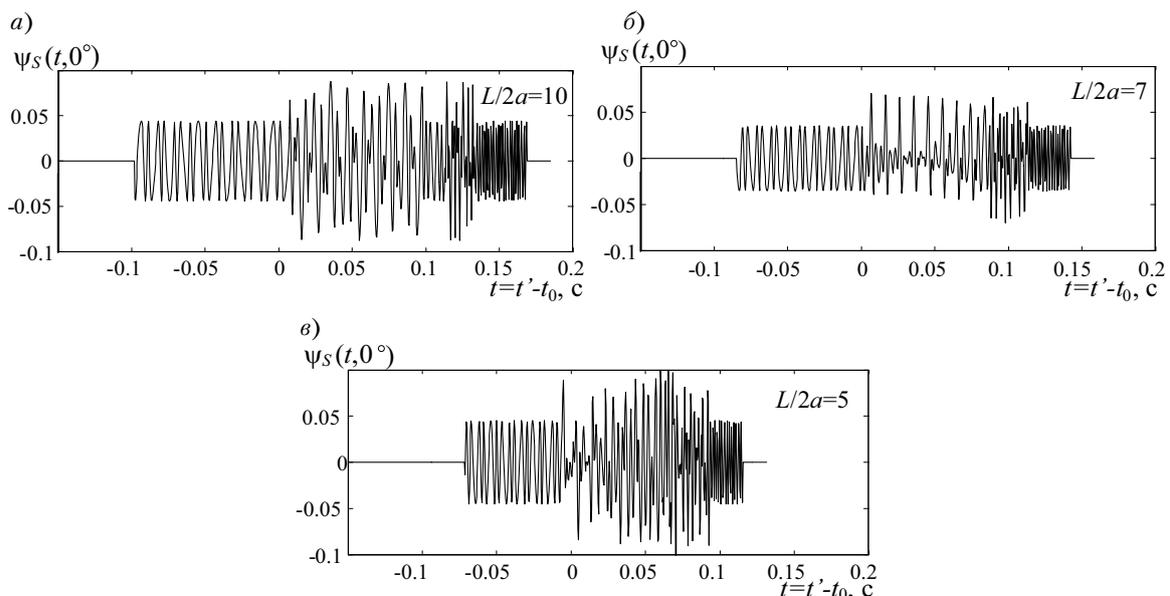


Рис. 3. Нормированные импульсы обратного рассеяния при осевой локации стальной модели: а – $L/2a = 10$; б – $L/2a = 7$; в – $L/2a = 5$

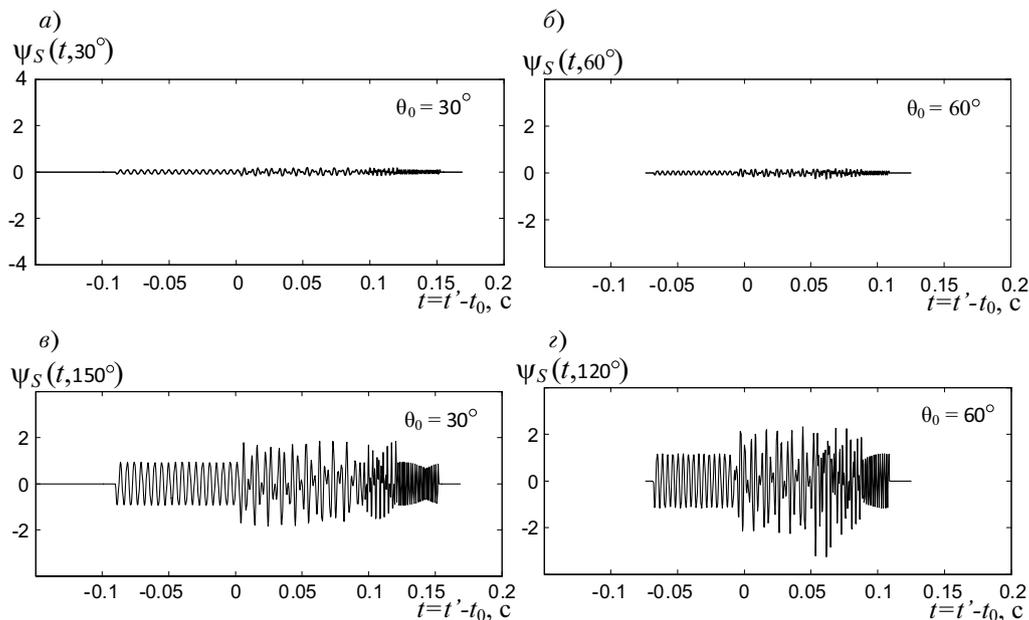


Рис. 4. Нормированные импульсы обратного (а), (б) и зеркального (в), (г) рассеяния стальной модели для $\theta_0 = 30^\circ$ и 60°

Получено, что при неосевых углах локации прослеживаются те же закономерности, что и при стационарном режиме, а именно: весьма низкий уровень обратного отражения и соответствие амплитуды зеркального отражения амплитуде обратного при трансверсной локации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование рассмотренного алгоритма в целом позволяет для модельных задач получить сравнительную оценку влияния параметров упругих тел неаналитической формы на вид характеристик рассеяния импульсного сигнала. Так, например, интервалы времени между приходами отдельных фрагментов рассеянных импульсов определяются размерами объекта в направлении распространения сигнала и свойствами материала корпуса. Достаточно востребованным на практике представляется также развитие данного подхода для анализа влияния

заполнения и конструктивных особенностей корпуса подводного аппарата на характеристики отражения импульсного сигнала.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ильменков С.Л. Решение задачи рассеяния стационарного и импульсного звуковых сигналов на многослойной изотропной цилиндрической оболочке // Вестник Воронежского ГУ. – Сер.: Физика. Математика. – 2018. – №2. – С.28–38.
2. Ильменков С.Л. Использование метода граничных элементов для решения задачи дифракции звука на упругом теле неаналитической формы. – Сб. тр. Военно-морского политехнического института «Неделя военной науки». – СПб.: Изд-во ВМПИ, 2016. – С. 222–228.
3. Ильменков С.Л. Развитие методов решения граничных задач гидроакустики: монография. – СПб.: Изд.СПбГМТУ, 2020. – 190 с.
4. Ильменков С.Л. О возможностях численного определения характеристик отражения звука объектами конечных размеров // Морской вестник. – 2024. – №1(89). – С. 1–3.
5. Ильменков С.Л. Решение задачи дифракции звука на упругом теле неаналитической формы с помощью метода граничных элементов // Морские интеллектуальные технологии. – 2015. – №1(27). – С.30–36.
6. Клещев А.А. Гидроакустические рассеиватели. – 2-е изд. – СПб.: Прима, 2011. – 267 с.
7. Метсавэр Я.А. Дифракция акустических импульсов на упругих телах. – М.: Наука, 1979. – 240 с.
8. Подстригач Я.С. Рассеяние звуковых пучков на упругих телах сферической и цилиндрической формы. – Киев: Наукова думка, 1986. – 264 с.
9. Kleshchev A.A. Scattering of Low – Frequency Pulsed Sound Signals from Elastic Cylindrical Shells // Acoustical Physics. – 2014. – Vol.57. – №2. – P.375–380.
10. Ilmenkov S.L., Kleshchev A. A., Kuznetsova E.I. Scattering of Stationary and Non-stationary (Impulse) Sound by Viscous–Elastic Cylindrical Layers // Open Journal of Mathematical Modeling. – 2013/ – №1(1). – P.1–6.
11. Шендеров Е.Л. Излучение и рассеяние звука. – Л.: Судостроение, 1989. – 304 с. ■

Одним из ключевых факторов, обеспечивающих пожарную безопасность надводного корабля, является грамотно спроектированная система противопожарной защиты. Согласно существующим требованиям корабельная пожарная сигнализация должна обнаруживать возгорания по следующим параметрам: наличие дыма, превышение температурных показателей и их градиента над заданными значениями, а также фиксация открытого пламени, что соответствует фазе активного горения. Для минимизации ложных срабатываний пороги активации пожарных извещателей (ПИ), как правило, устанавливаются заранее и на заведомо высоком уровне. Таким образом, вышеперечисленные методы обнаружения ориентированы преимущественно на фиксацию развитого горения и не способствуют требуемой оперативности и своевременности идентификации и дальнейшей локализации пожара на ранней стадии его развития. Стоит отметить, что в отдельных случаях, по согласованию с заказчиком, допускается применение газовых ПИ, контролирующих параметры СО и СО₂, а также комбинированных (многокритериальных) ПИ, контролирующих два и более физических параметра окружающей среды, изменяющихся при возгорании. Однако их эксплуатация также сопряжена с рядом существенных ограничений.

Повышение проектного качества и эффективности эксплуатации, перспективных и модернизируемых систем пожарной сигнализации возможно за счет включения в их состав дополнительных информационных признаков, которые могут характеризоваться как пожароопасные. Для определения и ранжирования таких признаков целесообразно применять методы системного анализа с привлечением техноло-

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОРАБЕЛЬНОЙ ПОЖАРНОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ: МЕТОДИКА ОТБОРА И РАНЖИРОВАНИЯ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ИНФОРМАТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ РАННЕГО ОБНАРУЖЕНИЯ ВОЗГОРАНИЯ

В. Н. Грачев, гл. инженер АО «НПФ «Меридиан»,
А. В. Алексеев, д-р техн. наук, проф.
кафедры судовой автоматики и измерений СПбГМТУ,
Н. С. Давыдов, инженер 1-й категории АО «НПФ «Меридиан»,
контакт. тел. +7 (952) 394 9527, (812) 602 0375, доб. 524

гии экспертных оценок. Из всего множества методов решения таких задач наибольшее распространение получил метод анализа иерархий (МАИ или в английской транскрипции Analytic Hierarchy Process), разработанный Томасом Саати [1, 2]. МАИ применяется для решения многокритериальных задач в условиях неполной информации. Метод состоит в иерархической декомпозиции проблемы на более простые составляющие части и дальнейшую обработку последовательности суждений экспертами по парным сравнениям.

В рамках научного исследования задача сводится к ранжированию дополнительных информационных показателей пожароопасной ситуации на основе экспертных оценок для дальнейшего включения в корабельную систему пожарной сигнализации.

Цель – формализация качественных суждений о значимости параметров через количественные весовые коэффициенты.

Четкое математическое обоснование и простота вычислительных алгоритмов МАИ позволяют выполнить вычисления с помощью как программного пакета MS Office Excel, так и специализированных программ поддержки принятия решений, реализующих МАИ. Рассмотрим методологию данного математического инструментария более подробно на конкретном примере.

ВЫБОР КРИТЕРИЕВ. ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ В ВИДЕ ИЕРАРХИИ

На вершине иерархии (Уровень 1) находится главная цель – выявление наиболее значимых информационных показателей пожароопасной ситуации. Элементы нижнего уровня представляют варианты достижения цели, альтернативы – различные показатели пожароопасной ситуации (Уровень 3) элементы промежуточных уровней соответствуют критериям, которые связывают цель с альтернативами (рис. 1).

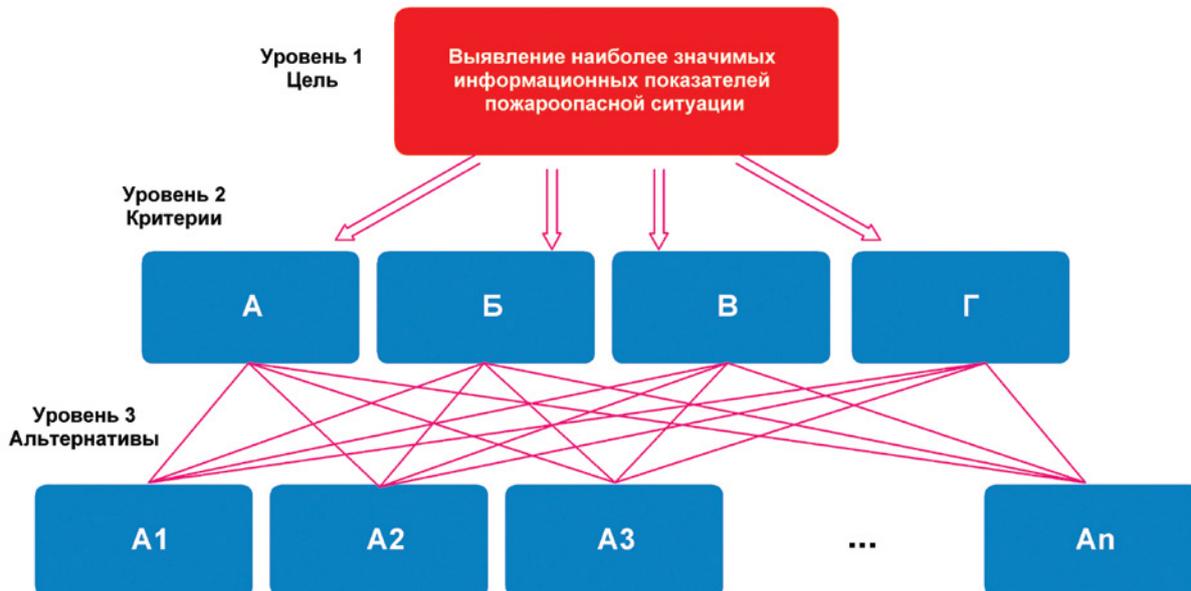


Рис. 1. Полная доминантная иерархия

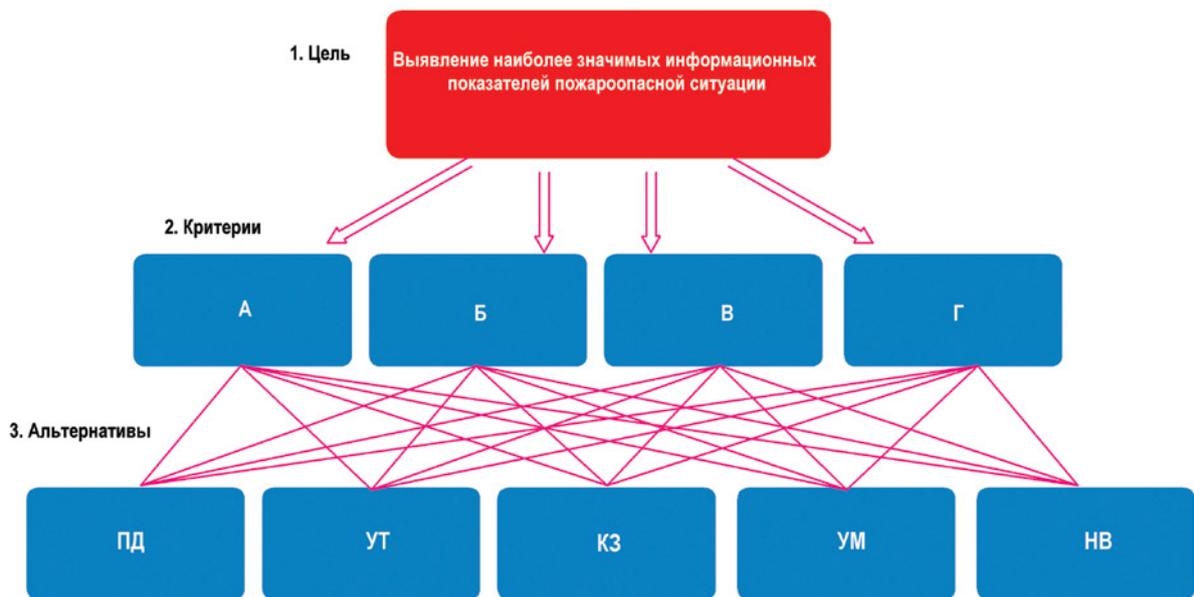


Рис. 2. Полная доминантная иерархия

Таким образом, необходимо сформулировать критерии, которые будут относиться ко второму уровню иерархии (Уровень 2).

Выбор критериев для оценки параметров в рамках экспертного анализа иерархий осуществлен на основе системного подхода, учитывающего ключевые аспекты, влияющие на эффективность проактивного обнаружения возгораний в отсеках надводного корабля. Каждый критерий определен с учетом его значимости для обеспечения пожарной безопасности и технической реализуемости интеграции в корабельные системы пожарной сигнализации.

1. Скорость изменения (А). Данный критерий отражает временную динамику изменения параметра в ответ на возникновение угрозы возгорания. Быстрота реакции параметра критически важна для своевременного выявления потенциальных рисков, так как позволяет минимизировать задержки в обнаружении опасных ситуаций.

2. Корреляция с пожаром (Б). Критерий учитывает степень прямой связи параметра с вероятностью возникновения возгорания. Параметры, которые демонстрируют четкую корреляцию с процессами, предшествующими пожару. Высокая корреляция свидетельствует о том, что параметр может служить надежным индикатором пожарной опасности.

3. Доступность данных (В). Этот критерий оценивает техническую возможность интеграции параметра в систему пожарной сигнализации. Должны учитываться такие факторы, как наличие датчиков, простота сбора данных, протоколы передачи информации, тип сигнала (цифровой/аналоговый) и их совместимость с существующими об-

щекорабельными системами (система управление техническими средствами, система корабельного мониторинга и т. д.).

4. Влияние на безопасность (Г). Критерий отражает степень тяжести последствий, которые могут возникнуть при игнорировании изменений параметра. Параметры, связанные с критическими системами, оценены как наиболее значимые, поскольку их игнорирование может привести к катастрофическим последствиям, включая масштабные возгорания или повреждение корабельного оборудования.

Для примера выбора альтернатив в табл. 1 рассмотрены наиболее вероятные пожароопасные отклонения, возникающие в процессе эксплуатации оборудования в машинном и дизель-генераторном отделении надводного корабля (МО и ДГО НК).

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРИОРИТЕТНЫХ КРИТЕРИЕВ. ПОСТРОЕНИЕ МАТРИЦ ПАРНЫХ СРАВНЕНИЙ

После того как задача представлена в виде иерархии (рис. 2), устанавливаются приоритеты критериев и оцениваются заданные альтернативы по выбранным критериям.

Приоритеты представляют собой вес того или иного элемента в заданной группе. Сумма приоритетов элементов, подчиненных одному элементу вышестоящего уровня иерархии, равна единице. Приоритет цели равен единице.

Далее проводятся парные сравнения элементов иерархии по отношению к заданному элементу вышестоящего уровня. Данный этап приводит к записи обратно симметричной матрицы, имеющей следующее свойство:

$a_{ij} = 1/a_{ji}$. При сравнении элемента матрицы с самим собой значимость равна единице $a_{ii} = 1$.

Таким образом, матрица парных сравнений имеет вид

$$\begin{pmatrix} 1 & a_{12} & a_{13} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & 1 & a_{23} & \dots & a_{2n} \\ a_{31} & a_{32} & 1 & \dots & a_{3n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & a_{n3} & \dots & 1 \end{pmatrix}$$

В рассматриваемой иерархии данные матрицы составляются для каждого из критериев второго уровня по отношению к цели задачи. Далее строятся матрицы парных сравнений для альтернатив по отношению к критериям второго уровня.

Для проведения субъективных парных сравнений в математическом аппарате МАИ разработана шкала относительной важности от 1 до 9, где 1 – это два действия вносят одинаковый вклад в достижение цели (равная важность), а 9 – свидетельство в пользу превосходства одного действия перед другим.

Построение матриц парных сравнений проводилось на основе парных сравнений при помощи вышеуказанной шкалы относительной важности и дальнейшего расчета приоритетов критериев по свойству обратной симметричности (табл. 2). В табл. 3–6 приведены матрицы оценки результатов по каждому критерию согласования.

СИНТЕЗ ПРИОРИТЕТОВ

Следующим этапом МАИ является синтез приоритетов, который позволяет объединить полученные результаты с целью анализа задачи расчета итоговых коэффициентов. На основании матриц парных сравнений рассчитываются локальные приоритеты, отражающие степень влияния элементов рассматриваемого уровня иерархии на элемент,

Таблица 1

Пожароопасные отклонения в МО и ДГО НК

Код	Отклонение	Параметры для мониторинга	Риск пожароопасного отклонения
ПД	Перегрев дизель-генератора	Температура охлаждающей жидкости, вибрация двигателя	Возгорание изоляции, деформация деталей, утечка масла/топлива
УТ	Утечка топлива	Давление в топливных магистралях, концентрация паров	Образование взрывоопасной смеси, возгорание при контакте с горячими узлами
КЗ	Короткое замыкание в электрощитах	Ток нагрузки, температура кабелей, наличие дыма	Возгорание проводки, искрообразование, переход в масштабный пожар
УМ	Утечка масла в системе смазки	Уровень масла, давление в системе, температура	Возгорание масла при контакте с нагретыми поверхностями
НВ	Нарушение вентиляции	Скорость воздушного потока, уровень CO/CO ₂	Накопление горючих газов, перегрев оборудования

Таблица 2

Матрица сравнения критериев по отношению к цели

Критерий	А	Б	В	Г	Вес критерия
А	1	3	1	5	0,42
Б	1/3	1	1/2	3	0,18
В	1	2	1	2	0,30
Г	1/5	1/3	1/2	1	0,09

Таблица 3

Матрица сравнения альтернатив по критерию А

А	ПД	УТ	КЗ	УМ	НВ	Вес подхода по критерию А
ПД	1	2	1/3	4	3	0,22
УТ	1/2	1	1/5	3	2	0,13
КЗ	3	5	1	7	6	0,52
УМ	1/4	1/3	1/7	1	1/2	0,05
НВ	1/3	1/2	1/6	2	1	0,08

Таблица 4

Матрица сравнения альтернатив по критерию Б

Б	ПД	УТ	КЗ	УМ	НВ	Вес подхода по критерию Б
ПД	1	1/2	3	4	5	0,28
УТ	2	1	5	6	7	0,48
КЗ	1/3	1/5	1	2	3	0,12
УМ	1/4	1/6	1/2	1	2	0,08
НВ	1/5	1/7	1/3	1/2	1	0,05

Таблица 5

Матрица сравнения альтернатив по критерию В

В	ПД	УТ	КЗ	УМ	НВ	Вес подхода по критерию В
ПД	1	1/2	3	4	1/3	0,16
УТ	2	1	5	6	1/2	0,28
КЗ	1/3	1/5	1	2	1/5	0,07
УМ	1/4	1/6	1/2	1	1/6	0,05
НВ	3	2	5	6	1	0,41

Таблица 6

Матрица сравнения альтернатив по критерию Г

Г	ПД	УТ	КЗ	УМ	НВ	Вес подхода по критерию Г
ПД	1	3	1/2	5	1/3	0,17
УТ	1/3	1	1/5	3	1/4	0,08
КЗ	2	5	1	7	2	0,39
УМ	1/5	1/3	1/7	1	1/5	0,04
НВ	3	4	1/2	5	1	0,28

расположенный уровнем выше. Для определения относительной ценности каждого элемента следует найти геометрическое среднее и с этой целью перемножить n элементов каждой строки и из полученного результата извлечь

корни n -й степени [3].

Полученные числа необходимо нормализовать:

$$\omega_i = \frac{a_{ij}}{\sum_{j=1}^n a_{ij}} \quad (1)$$

Для нормализации полученных чисел определяем нормирующий множитель r :

$$r = \omega_1 + \omega_2 + \omega_3 + \dots + \omega_n \quad (2)$$

Далее каждое из чисел ω_i делится на r :

$$q_{2i} = \frac{\omega_i}{r}, (i = 1, 2, 3, \dots, n) \quad (3)$$

В результате получаем вектор приоритетов

$$q = (q_{21}, q_{22}, q_{23}, q_{24}, \dots, q_{2n}), \quad (4)$$

где индекс 2 означает, что вектор приоритетов относится ко второму уровню иерархии.

СОГЛАСОВАННОСТЬ ЛОКАЛЬНЫХ ПРИОРИТЕТОВ

Любая матрица парных сравнений в общем случае является несогласованной. Когда отклонения от согласованности превышают установленные пределы, возникает необходимость определения индекса согласованности и отношения согласованности. Индекс согласованности (ИС) для каждой матрицы иерархии может быть вычислен следующим способом:

– суммируются элементы каждого столбца заданной матрицы парных сравнений:

$$s_j = a_{1j} + a_{2j} + a_{3j} + \dots + a_{nj}, \quad (5)$$

$$j = 1, 2, 3, \dots, n;$$

– затем сумма значений каждого из столбцов умножается на соответствующую компоненту нормализованного вектора приоритетов:

$$p_j = s_j \times q_{2j}, \quad j = 1, 2, 3, \dots, n \quad (6)$$

Сумма чисел p_j отражает пропорциональность предпочтений: чем ближе эта величина к n (числу объектов и видов действия в матрице парных сравнений), тем более согласованы суждения:

$$\lambda_{\max} = p_1 + p_2 + p_3 + \dots + p_n \quad (7)$$

Отклонение от согласованности выражается индексом согласованности:

$$ИС = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (8)$$

Для определения того, насколько точно ИС отражает согласованность суждений, его необходимо сравнить со случайным индексом (СИ) согласованности, который соответствует матрице со случайными значениями, выбранными из шкалы при условии равной вероятности выбора любого из приведенных чисел [1].

Отношение ИС к среднему значению СИ для матрицы того же порядка называется отношением согласованности (ОС):

$$ОС = \frac{ИС}{СИ} \quad (9)$$

Значение ОС, меньшее или равное 0,10, считается приемлемым.

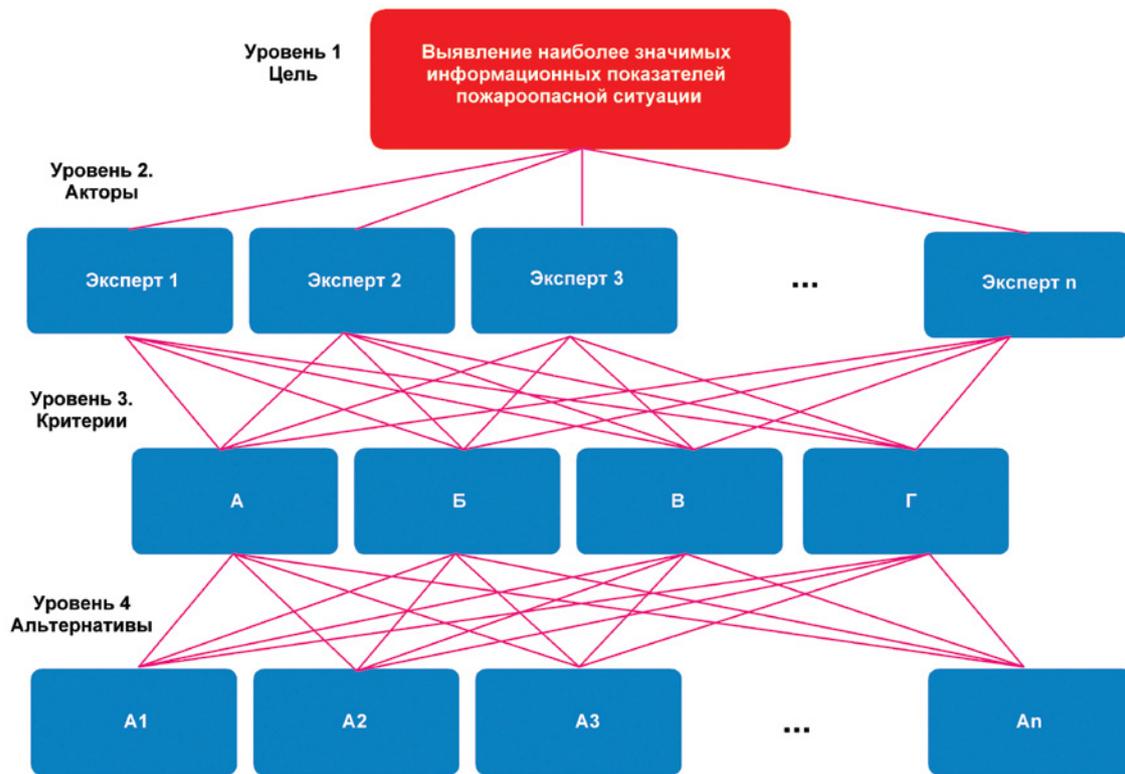


Рис. 3. Полная доминантная иерархия с экспертами

СИНТЕЗ АЛЬТЕРНАТИВ

Для определения приоритетов альтернатив необходимо локальные приоритеты умножить на приоритет соответствующего критерия на вышестоящем уровне и найти суммы по каждому элементу в соответствии с критериями, на которые воздействует этот элемент.

Введем следующие обозначения: $q3k$ – вектор приоритетов k -й матрицы, расположенной на третьем уровне; $q3k_i$ – i -й элемент вектора приоритетов k -й матрицы суждений, расположенной на третьем уровне; $q2k$ – k -й элемент вектора приоритетов матрицы суждений, расположенной на втором уровне; q_j – приоритет j -го элемента третьего уровня.

Тогда приоритет j -го элемента третьего уровня определяется согласно формуле (10):

$$\begin{aligned}
 q_1 &= q_{311} \times q_{21} + q_{321} \times q_{22} + q_{331} \times q_{23} + \\
 &\quad + q_{341} \times q_{24} + \dots + q_{3n1} \times q_{2n}; \\
 q_2 &= q_{312} \times q_{21} + q_{322} \times q_{22} + q_{332} \times q_{23} + \\
 &\quad + q_{342} \times q_{24} + \dots + q_{3n2} \times q_{2n}; \\
 q_3 &= q_{313} \times q_{21} + q_{323} \times q_{22} + q_{333} \times q_{23} + \\
 &\quad + q_{343} \times q_{24} + \dots + q_{3n3} \times q_{2n}; \\
 &\dots\dots\dots \\
 q_n &= q_{31n} \times q_{21} + q_{32n} \times q_{22} + q_{33n} \times q_{23} + \\
 &\quad + q_{34n} \times q_{24} + \dots + q_{3nn} \times q_{2n}.
 \end{aligned} \quad (10)$$

Определение итогового значения весов каждого подхода (табл. 7).

Таблица 7

Матрица сравнения результатов

Критерий	А	Б	В	Г	Вес критерия
ПД	0,22	0,28	0,16	0,17	0,21
УТ	0,13	0,48	0,28	0,08	0,23
КЗ	0,52	0,12	0,07	0,39	0,30
УМ	0,05	0,08	0,05	0,04	0,05
НВ	0,08	0,05	0,41	0,28	0,19

Для повышения полноты и глубины оценки в выявлении наиболее значимых информационных показателей в иерархию можно ввести дополнительный уровень – Акторы.

Включение экспертов (акторов) в иерархию (рис. 3) позволит повысить достоверность принимаемого решения за счет ранжирования экспертов с учетом их квалификации и опыта. Экспертная группа формируется с целью обеспечения многодисциплинарного подхода к оценке значимости показателей. Состав группы может включать специалистов, обладающих компетенциями в областях судостроения, пожарной безопасности, эксплуатации корабельных систем и анализа данных.

Формируемая группа должна включать оптимальное количество участников для обеспечения баланса между репрезентативностью и управляемостью. Не менее 60% экспертов должны

иметь опыт работы в морской отрасли, а группа должна охватывать как теоретиков, так и практиков. Методы работы с экспертной группой могут предусматривать анкетирование для сбора первичных данных о значимости критериев, обратную связь и обсуждение для идентификации дополнительных показателей, парные сравнения с использованием матриц Саати и верификацию результатов на итоговом совещании.

Каждый проект корабля разрабатывается индивидуально с учетом специфических требований, которые определяются его назначением, условиями эксплуатации и техническими характеристиками. В связи с этим применение вышеуказанной методики по выявлению наиболее значимых показателей пожароопасных состояний технологического оборудования рекомендуется проводить на стадии предпроектных работ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Саати Т.Л. Принятие решений при зависимостях и обратных связях: Аналитические сети. – Изд. 2-е. – М.: КД «ЛИБ-РОКОМ», 2009. – 360 с.
2. Саати Т.Л. Метод анализа иерархий: пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1993.
3. Харитонов С.В., Улитина Е.В., Дик В.В. Применение метода анализа иерархий при согласовании результатов оценки // Прикладная информатика. – 2012. – № 6 (42). – С. 108–113. ■

Крейсер «Аврора» – один из символов Ленинграда – Санкт-Петербурга. Корабль был заложен на Ново-Адмиралтейском заводе 23 мая 1897 г., 11 мая 1900 г. спущен на воду, а в сентябре 1903 г. вошел в строй ВМФ России. Строился он на рубеже XIX и XX столетий, в преддверии нового этапа развития отечественного кораблестроения, идеи и принципы которого оказали существенное влияние на формирование боевых и технических свойств корабля.

«Аврора» стояла у истоков электрификации корабельной техники. На корабле внедрялась централизация и механизация управления огнем с применением оптических средств. Увеличились поражающее воздействие, дальность стрельбы и скорострельность артиллерийских орудий. Была расширена телефонная внутрикорабельная связь, сделаны первые шаги по пути использования беспроводного телеграфа для внешней дальней связи.

Корабль прошел сквозь бури трех революций, его боевой путь опален пламенем пожаров четырех войн: Русско-японской, Первой мировой, Гражданской, Великой Отечественной.

За годы своей службы корабль претерпел несколько изменений в составе вооружения и технических средств, повлиявших не его облик. Летом 1918 г. с корабля сняли все орудия главного калибра (152-мм) для вооружения кораблей Волжской военной флотилии, сражавшейся в то время с белогвардейцами в районе Царицына (Волгограда). В 1922 – 1923 гг. на корабле был выполнен текущий ремонт, в ходе которого на крейсере установили десять 130-мм и четыре 75-мм орудия, новую аппаратуру связи, улучшены бытовые условия экипажа. 130-мм орудия были более скорострельные, чем прежние – 152-мм. После ремонта крейсер вошел в состав Отряда учебных кораблей Балтийского флота. Совместно с учебным кораблем «Комсомолец» «Аврора» было совершено несколько заграничных походов в 1925, 1927, 1929 и 1930 гг.

С 17 сентября 1940 г. крейсер назначен флагманским кораблем бригады подводных лодок в качестве ее плавучей базы.

Великую Отечественную войну крейсер встретил в военной гавани Ораниенбаума, где он был ошвартован у восточной стенки. В 1975 г. на месте стоянки крейсера был установлен памятник «Причал», представляющий собой фрагмент форштевня корабля и мемориальную доску с текстом. В начале войны девять орудий главного калибра «Авроры» установили на ар-

К 125-ЛЕТИЮ СПУСКА НА ВОДУ КРЕЙСЕРА «АВРОРА»

*П.В. Васильев, сотрудник
АО «Северное проектно-конструкторское бюро»,
контакт. тел. (812) 702 3005*



тиллерийские позиции в районе Вороньей горы. Одно орудие установили на бронепоезде «Балтиец». Три 75-мм – на кораблях Чудской военной флотилии. На «Авроре» остались лишь одно 75-мм орудие и зенитная пулеметная установка, в команде – 21 человек, но корабль продолжал защищать город.

В октябре 1941 г. крейсер получил тяжелые повреждения. Через пробоины ниже ватерлинии стала поступать вода, корабль накренился, возникла угроза его гибели, тогда команда открыла кингстоны по левому борту, корабль стал на ровный киль и сел на грунт. Верхняя палуба, полубак и часть батарейной палубы остались незатопленными. В таком положении крейсер находился до снятия блокады Ленинграда и продолжал сражаться.

В июле 1944 г. корабль был поднят и введен в док Кронштадтского завода, где начались восстановительные работы. Восстановлены могли быть только корпус и верхнепалубные сооружения. Все внутренние помещения и оборудование крейсера, его механизмы и устройства для восстановления оказались непригодны. Сильно пострадала и подводная часть корпуса, ремонт которой в силу конструктивных особенностей (клепаных соединений и сквозных болтовых креплений деревянной обшивки наружной части днища) был также невозможен. Поэтому для создания герметичности корпуса и сохранения корабля на плаву по его днищу, настилу второго дна, бортам в подводной части пришлось уложить внутреннюю бетонную облицовку тол-

щиной от 75 до 93 мм, армированную стальными прутьями. Забетонированы были и переборки на высоту до 1 м и бортовые ветви шпангоутов. Общий вес бетона составил около 500 т. Для компенсации нагрузки в целях обеспечения необходимой плавучести с корабля сняли пришедшие в негодность котлы, две главные паровые машины, гребные валы, винты, кронштейны бортовых валов и другое оборудование общим весом около 1000 т.

Планом ремонта крейсера «Аврора» в 1944 – 1948 гг. предусматривались работы восстановительного характера в целях сохранения его как корабля-памятника. При этом он должен был стать учебной плавучей базой Ленинградского Нахимовского училища. Поэтому были переоборудованы разрушенные внутренние помещения, которые уже не имели исторической подлинности, утраченной в ходе неоднократных ремонтов и модернизаций после октября 1917 г.

Было принято решение снова установить 14 орудий 152-мм калибра, которыми крейсер был вооружен в 1917 г. Они были найдены на складах Новой Голландии в Ленинграде.

17 октября 1948 г. корабль был поставлен на вечную стоянку у Петровской набережной в Ленинграде. В 1956 г. на крейсере был открыт филиал Центрального военно-морского музея, а в 1960 г. он взят под государственную охрану как историко-революционный памятник.

В 1980 г. крейсер начал отсчет девятого десятилетия со дня своего рожде-

ния. Естественный процесс старения, последствия боевых повреждений, долговременный эксплуатационный износ не могли не сказаться на его состоянии. Назрела необходимость восстановления и сохранения исторического облика.

Составлению проекта восстановления «Авроры» предшествовали комплексные изыскательские и исследовательские работы, проведенные специалистами ведущих научных, проектных, технологических и производственных организаций ВМФ и производственных организаций Министерства судостроительной промышленности СССР. Результаты исследований были согласованы с Бюро по охране и эксплуатации памятников истории и культуры при исполкоме Ленсовета и с Министерством культуры РСФСР. Так было выработано решение по составу и способам выполнения работ. Первым документом, обобщившим результаты предварительного обследования крейсера и наметившим возможные пути его восстановления, стал акт комиссии, назначенной приказом Главнокомандующим ВМФ. Комиссия работала с ноября 1980 по май 1981 г. и установила, что в силу естественного коррозионного износа, а также многочисленных боевых повреждений существенно снижены непотопляемость и прочность крейсера, и поэтому он нуждается в проведении капитального ремонта. В акте особо отмечалось, что постановка корабля в док для ремонта без соответствующего предварительного подкрепления корпуса не может быть рекомендована. Комиссия предложила рассмотреть три варианта дальнейшего сохранения корабля:

- создание по всей длине корабля внешней железобетонной оболочки толщиной порядка 100 – 120 мм, дублирующей наружную оболочку корпуса по днищу и бортам на высоту до 1,0 м выше ватерлинии;
- установка под корпусом корабля, полностью погруженного в воду железобетонного понтона докового типа, поддерживающего корабль на плаву;
- размещение корабля на стационарном подводном постаменте, представляющем собой замкнутое огражденное сооружение, заполненное песком и бетоном.

Учитывая объем и сложность предстоящего ремонта, необходимость привлечения для этого многих предприятий различных ведомств, комиссия предложила более детальные исследования, на базе которых следовало подготовить специальное постановление правительства, опре-



деляющее цели и характер восстановительных работ, и состав основных исполнителей.

31 января 1984 г. Совет Министров СССР принял постановление о выполнении восстановительных работ на крейсере «Аврора» с целью сохранения его как памятника Великой Октябрьской социалистической революции. Проект был разработан Северным ПКБ по заданию ВМФ. Предусматривалось воссоздание в возможно большей мере архитектурно-исторического облика крейсера на 25 октября (7 ноября) 1917 г. и деталей его конструкций, вооружения и оборудования, связанных с событиями Октября. На крейсере было намечено реставрировать все верхнепалубные сооружения и оборудования, артиллерийские установки, надстройки, мостики, боевую и ходовую рубки, радиорубку, шлюпочное прожекторное вооружение, якорное и швартовное устройства с их механизмами, грузовые приспособления, мачты и такелаж, дымовые трубы и вентиляционные раструбы, световые палубные лодки, деревянное (тиковое) покрытие верхней палубы и полубака, детали системы погрузки угля и артиллерийского боезапаса.

Выяснилось, что не все орудия 152-мм калибра являются корабельными. Только три из четырнадцати – корабельные, остальные – сухопутные. А они различаются по щитам и фундаментам. Естественно, пошли по линии наименьшего сопротивления – все щиты и фундаменты, как у сухопутных орудий с небольшой доработкой, учитывая заводскую технологию. Неспециалисту это совершенно незаметно, однако критик-любитель может позлословить.

Детальное обследование корпуса с замерами степени его износа, лабораторным анализом механических и

химических характеристик материала корпусных конструкций, прогнозными оценками их несущей способности показали, что днищевая часть корпуса пришла в полную негодность и подлежит замене на новую. При осмотре корпуса было обнаружено отслоение бетонной оболочки от наружной обшивки, переборки и днищевой набора. Вследствие этого указанные конструкции оказались пораженными сплошной язвенной коррозией по всей поверхности. При вскрытии в доке оказалось, что стальные листы днища снаружи также поражены сплошной коррозией с множественными язвами глубиной до 8 мм, при построечной толщине обшивки 12,7 мм. Степень коррозионного износа обшивки по толщине составила до 48%. Головки заклепок также были разрушены ниже уровня поверхности листов на 2 – 3 мм.

Таким образом, существовавшее днище, скрытое толщей бетонной облицовки и пораженное глубокой коррозией, практически утратило подлинность первоначальной конструкции. Единственными сохранившимися деталями подводной части корпуса оказались литые бронзовые форштвень и ахтерштвень с пером руля. Эти уникальные конструкции, определяющие основу формирования корпуса, оставлены в составе новой подводной части. В итоге замена днища с точным сохранением формообразования корпуса по построечным чертежам не нанесла дополнительного ущерба целостности корпуса. В целях обеспечения долговечности новая подводная часть корпуса была выполнена почти с трехкратным увеличением толщины обшивки по сравнению с прежней, защищена стойкими противокоррозионными покрытиями, что при периодических доковых ремонтах будет обеспечивать практически

неограниченный срок хранения корпуса корабля.

В значительно лучшем состоянии оказалась вся остальная часть корпуса крейсера, включающая наружный борт, карапасную броневую палубу, батарейную и верхнюю палубы, палубу полубака, главные поперечные и продольные переборки с конструкциями набора. Все эти элементы в основном сохранены и после ремонтно-восстановительных работ приведены к конструктивным формам первоначального образца.

По схеме демонтажа сохраняемой надводной части корабль тремя поперечными резами делился на четыре объемных блока, которые с помощью плавучего крана отсоединялись от пришедшей в негодность днищевой части корпуса. После ремонта эти блоки устанавливались на изготовленную заново днищевую часть. Масса каждого блока составляла около 200 т. Для исключения деформации свободных кромок листов наружной обшивки переборок и палуб вдоль линии реза устанавливались временные жесткости, сохранение геометрических размеров по плоскости горизонтального реза обеспечивалось специальными подкреплениями. Принятые конструктивные мероприятия исключали возникновение остаточных деформаций блоков при их транспортировке.

Изготавливаемая заново подводная часть корпуса заменяла собой часть наружной обшивки с набором, облицованной железобетоном при ремонте крейсера в 1947 г.; конструкции второго дна; главные поперечные и продольные переборки по высоте до уровня броневой палубы.

В ходе ремонтных работ выявились значительные коррозионные разрушения настила броневых плит карапасной палубы, особенно в местах примыкания к бортам в клиновых отсеках. Поэтому настил решено было заменить и заново уложить на него броневые плиты, снятые со старого настила.

Главным конструктором ремонта и реставрации крейсера «Аврора» в 1984 – 1987 гг. был назначен Владимир Евгеньевич Юхнин. Его заместителями стали Борис Васильевич Бочков, Василий Яковлевич Гриценко, Валерий Викторович Простяков. Огром-

ную архивную работу с историческими чертежами по воссозданию облика корабля провел Сергей Иванович Овсянников.

18 августа 1984 г. крейсер «Аврора» покинул место вечной стоянки и был отбуксирован на судостроительный завод им. А.А. Жданова для ремонта. На набережных Невы собрались тысячи жителей и гостей Ленинграда. Они провожали свою «Аврору». Крейсер медленно шел по Неве сквозь разведенные мосты. Как бы в немом приветствии вздыбились громады их пролетов. У моста Лейтенанта Шмидта (бывший Николаевский), где 25 октября (7 ноября) 1917 г. прогремел исторический залп по Зимнему дворцу, «Аврора» и сопровождавшие ее корабли салютовали гудками. На набережной Красного флота у памятного обелиска выстроилась рота почетного караула военных моряков. Раздались торжественные звуки Государственного гимна Советского Союза. В морском торговом порту советские и иностранные суда приспускали свои флаги в знак приветствия и высокого уважения к легендарному крейсеру.

В канун 70-летия Великой Октябрьской социалистической революции «Аврора» в торжественной обстановке снова встала на вечную стоянку у Петроградской набережной. Ее внешний облик максимально повторял тот, какой был у нее в октябре 1917 г.

Прошло более 25 лет, и в 2014 – 2016 гг. крейсер был вновь поставлен на ремонт, который выполнял, как и прежде, Кронштадтский Морской завод. За это время корабль дважды проходил докования в сухом доке, во время которого было проведено ультразвуковое обследование корпуса крейсера, которое полностью подтвердило слова заместителя главного конструктора В. В. Простякова газете «Правда», что корпус рассчитан на 200 лет.

Весь корпус был тщательно очищен и заново покрашен, полностью заменена донно-забортная арматура. Подводная часть корпуса была окрашена в пять, а надводная – в шесть слоев. Важное место в общем объеме работ занял ремонт 25 % верхней тиковой палубы крейсера. Были очищены и покрашены все трубы, надстройки,

мачты, световые люки, мостики, трапы и площадки. Ремонтные работы были проведены в некоторых помещениях верхней, батарейной и жилой палуб. Также было модернизировано электрооборудование и усовершенствована противопожарная система.

Получила новую жизнь музейная экспозиция крейсера – она реконструирована с широким использованием средств мультимедиа и интерактивного взаимодействия. Стала более полной и познавательной, освещающей все этапы службы корабля.

Еще в 1987 г. появились публикации в прессе, что «Аврора» – это новодел. Приверженцы этой версии апеллировали к тому факту, что остатки старой днищевой части были отбуксированы в залив и сейчас находятся в районе Лужской губы. Периодически эта тема поднималась и позже, как упрек в подмене исторического корабля «копией» в масштабе 1:1. Вместе с тем очевидно, что за десятилетия службы, пройдя горнило нескольких войн любой корабль потребует серьезных ремонтов и модернизаций. И тот факт, что специалистам Северного ПКБ и завода им. А.А. Жданова удалось практически полностью сохранить подлинный корпус «Авроры» и множество раритетов, относящихся началу века, бережно воссоздать облик корабля на октябрь 1917 г., заслуживает огромной благодарности и нашего признания тем людям, которые провели эту уникальную работу.

В защиту исторической подлинности корабля говорит и тот факт, что технические экспонаты крейсера «Аврора», позволяющие говорить об уникальности корабля-музея, были в 2002 г. представлены инспекторам HNSA, которые по результатам обследования вручили «Авроре» медаль о принятии крейсера в Ассоциацию кораблей-памятников.

В 2018 г. Международный комитет по вопросам туристической привлекательности и устойчивого развития туризма на сессии в Йоханнесбурге принял решение о внесении крейсера «Аврора» во Всемирный список объектов особой туристической привлекательности и вручении командованию крейсера соответствующего Сертификата. ■

Принято считать, что управляемое ракетное оружие, в первую очередь зенитное ракетное, утвердилось на надводных боевых кораблях передовых флотов в середине 1950-х гг. К этому же времени относится и появление управляемых ракет на подводных лодках. Так что в 2025 г. вполне можно говорить о 70-летнем юбилее.

Ныне снова часто говорят о первенстве России в создании новых видов оружия и их носителей, а количество вышедших за последние два десятилетия книг, монографий, статей и публикаций о «первых в мире» ракетных катерах, кораблях и подводных лодках даже не поддается количественной оценке. Обычно исследователям и авторам, которые сосредоточились на описании конкретного образца вооружения или конкретного проекта корабля, не хватает желаний или сил выйти за пределы узкого взгляда на избранную тематику. Отсюда – ряд противоречий в подаче материала и даже фактические ошибки, иногда весьма существенно искажающие общую картину военно-морского строительства. К сожалению, такие ошибки не замечаются и иногда даже тиражируются цитированием в публикациях специалистов.

Поскольку до сих пор не опубликованы документы, объясняющие генеральный замысел и называющие главных противников, основные задачи и логику обоснования корабельного состава флота, дискуссии о правильности концепций и сожаления об отказе от строительства боевых кораблей тех или иных классов и подклассов остаются беспочвенными. За неимением опубликованных документов остается обратиться к воспоминаниям Н. С. Хрущёва: «Свою атомную бомбу мы взорвали на земле как модель. Других таких бомб имели сначала лишь несколько штук. А США уже накопили их десятки. Поэтому прямой военный конфликт с их применением не сулил СССР ничего хорошего. Пока мы не могли достать США с воздуха, следовало шире использовать моря. И Сталин поставил задачу строительства большого количества крейсеров. Мы мечтали и об авианосцах, но они оставались нам пока технически недоступными. Крейсера должны были дополняться большим количеством эсминцев и подводных лодок. <...> Наши военные руководители той поры доказывали, что без сильного флота противостоять в будущей войне США мы не сумеем. Флот СССР мог решать не столько наступательные, сколько оборонительные задачи, не позволяя вражеским войскам десантироваться на советской территории и не допуская его корабли вглубь нашей акватории» [1].

ПЕРВЫЕ СОВЕТСКИЕ ПРОТИВОКОРАБЕЛЬНЫЕ РАКЕТЫ И РАКЕТНЫЕ КОРАБЛИ

ЧАСТЬ 1

Д. Ю. Литинский, науч. сотрудник НИИ кораблестроения и вооружения ВМФ ВУНЦ ВМФ «ВМА имени Адмирала флота Н. Г. Кузнецова», контакт. тел. (812) 405 0706

Следует пояснить, что после окончания Второй мировой войны отношение главы государства к военно-морскому флоту изменилось, и не в лучшую сторону. Сталин, инициировавший перед войной создание самостоятельного наркомата ВМФ, вероятно, оценил степень участия флота в боевых действиях и их эффективность. Сделанные им выводы имели очевидным следствием ликвидацию самостоятельного военно-морского ведомства: Указом Президиума Верховного Совета СССР от 25 февраля 1946 г. «в связи с преобразованием наркомата обороны СССР в министерство Вооруженных сил СССР» союзный Народный комиссариат ВМФ был упразднен. Военно-морской флот стал именоваться Военно-морскими силами (ВМС) с соответствующим снижением своего статуса.

Для исследований опыта использования в прошедшей войне иностранных флотов и прежде всего немецкого, отечественным специалистам понадобилось несколько лет. Это удалось сделать к началу 1950-х гг., когда окончательно определился главный противник Советского Союза – США. Как свидетельствовал адмирал В. И. Платонов, с августа 1946 г. по апрель 1952 г. командовавший Северным флотом, проанализировав как германский опыт использования подводных и надводных сил, так и опыт наших союзников по антигитлеровской коалиции, «пришли к пониманию ошибочности ранее принятых приоритетов в строительстве ВМФ» и осознанию «отставания от передовых флотов на семь-восемь лет» [2].

С мнением, что в послевоенной советской десятилетней кораблестроительной программе (1946–1955) управляемое ракетное оружие корабельного базирования «не участвовало» по причине его отсутствия, спорить трудно. Как и с утверждением о первом в мире надводном ракетном корабле, появившемся в составе советского ВМФ в 1955 г. Но вот по каким конкретным причинам произошло первое и каким именно образом состоялось второе, стоит разобраться подробнее.

Принятое правительством СССР осенью 1947 г. решение о создании ракетного комплекса авиационного базирования для борьбы с крупными надводными кораблями на большом удалении от побережья свидетельствовало о том, что будущий флот не рассматривался в качестве гаранта безопасности страны с морских направлений.

В Постановлении Совета министров СССР № 3140–1026 сс/оп от 8 сентября 1947 г. говорилось: «1. В целях повышения эффективности действия тяжелой бомбардировочной авиации по кораблям противника и повышения безопасности атакующих самолетов приступить к разработке комплексной системы радиолокационного наведения и самонаведения реактивных самолетов-снарядов, сбрасываемых с тяжелых бомбардировщиков по крупным морским целям (шифр системы «Комета»)» [3].

Носителем должен был стать дальний бомбардировщик Б-4 – отечественный «клон» американского Boeing В-29, а собственно средством поражения крупных кораблей и судов – снабженный радиолокационной системой наведения самолет-снаряд 14Х В. Н. Челомея. Вовремя осознав бесперспективность копирования немецкого варианта в части применения пульсирующего воздушно-реактивного двигателя, руководители разработки авиационного комплекса П. Н. Куксенко и С. Л. Берия поставили задачу создания прототипа авиационной крылатой ракеты ОКБ-155 А. И. Микояна, которое применило турбореактивный двигатель (ТРД) и аэродинамическую схему истребителя МиГ-15¹.

Создание авиационного ракетного комплекса «Комета» до 1950 г. имело высший государственный приоритет.

¹ Работы по самолёту-снаряду для системы «Комета» были переданы в ОКБ-155 МАП Постановлением Совета министров СССР № 2922–120 от 2 августа 1948 г. Сначала М. И. Гуревич принял для КС-1 схему истребителя МиГ-9 с одним двигателем РД-20 (BMW003), но после запуска в серийное производство для истребителя МиГ-15 вдвое более мощного РД-500 (Rolls-Royce RB.37 «Derwent») работы по КС-1 продолжили с этим ТРД по аэродинамической схеме МиГ-15.

Когда в июне 1950 г. началась война в Корее, советские 5-й (Южнотихоокеанский) и 7-й (Северотихоокеанский) флоты заблаговременно привели в повышенную готовность, но рассчитывать на их силы в попытке противостояния 7-му американскому флоту не приходилось. В такой ситуации «вспомнили» о противокорабельных ракетах авиационного базирования, испытания которых только начинались.

На состоявшемся накануне высадки американского морского десанта в Инчхоне в сентябре 1950 г. «экстренном» заседании Президиума ЦК КПСС под председательством Сталина, куда был вызван командующий 5-м ВМФ контр-адмирал Н. Г. Кузнецов, рассматривалась возможность боевого применения по американским авианосным соединениям ракет «Комета».

Единственное опубликованное упоминание об этом событии имеется в книге С. Л. Берия², который являлся одним из руководителей коллектива разработчиков системы «Комета». Однако упоминает об этом и Н. Г. Кузнецов, правда, с несколько иными акцентами [4].

Поскольку документальных подтверждений личного присутствия Н. Г. Кузнецова на совещании с участием Сталина после 1950 г. не обнаружено, можно считать, что Николай Герасимович упоминал именно об этом неординарном в его послужной биографии событии. Для нас же важно то, что Н. Г. Кузнецов почему-то «не вспомнил», что работы и по береговой, и по авиационной крылатой ракете для флота начались четырьмя годами ранее, когда он еще был главнокомандующим ВМС.

Что же касается «дискуссионного вопроса» о возможности или невозможности применения специальной боевой части авиационной крылатой ракеты (КР) по американским авианосцам в 1950 г., то надо сказать следующее:

- во-первых, СССР на тот момент располагал малым количеством ядерных боеприпасов (лишь к началу 1953 г. изготовили 75 ед.);
- во-вторых, по утверждению непосредственных участников, было принято решение не создавать для «Кометы» СБЧ, поскольку обеспечиваемая системой управления точность наведения на цель КР с обычной 800-килограммовой боевой частью считалась достаточной для поражения авианосца [5].

² Берия С. Мой отец – Лаврентий Берия. М.: Современник, 1994. С. 401–403.



Бомбардировщик-ракетоносец Ту-4 КС

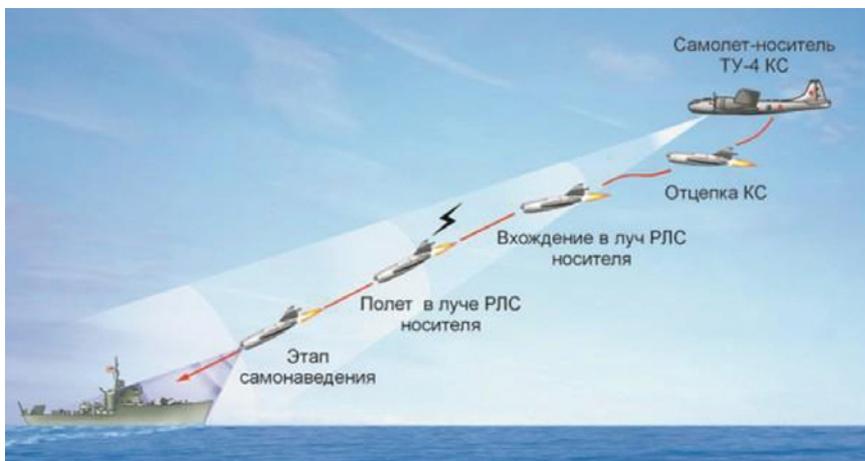


Схема боевого применения самолета-снаряда «Комета»

Вернемся в 1946 г. Современной крупнокалиберной артиллерии для борьбы с надводными кораблями противника наш флот не имел, поэтому планировалось строительство линейных кораблей и большого количества крейсеров. Теоретически, трофейное «оружие возмездия» годилось для стрельбы по береговым площадным целям и в решении этой задачи могло конкурировать с корабельной артиллерией. Поэтому ракеты, способные доставить большее количество взрывчатки на большие расстояния, хоть и не обладавшие точностью попадания в цель, воспринимались моряками плавсостава как вполне реальная угроза скорейшему появлению в составе ВМС новых артиллерийских кораблей.

С другой стороны, структурами центрального аппарата ВМС СССР, которые заказывали морское оружие, были артиллерийское и минно-торпедное управления, новое оружие сулило им большие перспективы, которые ясно усматривались всеми, кто был знаком с содержанием правительственного Постановления № 1017–419 сс «Вопросы реактивного вооружения» от 13 мая 1946 г. [6. С. 36–42].

В трех промышленных министерствах создавались Главные управления по реактивной технике, а приказом Министра Вооруженных сил СССР от 24 мая 1946 № 007 сформированы Управление реактивного вооружения в со-

ставе Главного артиллерийского управления и Военно-морских сил и утверждены положения об этих управлениях.

Управление реактивного вооружения ВМС (Управление № 4) в составе восьми отделов становилось «органом главнокомандующего ВМС по разработке, развитию и внедрению и обеспечению реактивным вооружением ВМС (снаряды дальнего действия, зенитные снаряды и установки, управляемые и самоуправляемые бомбы, стартовые устройства, устройства управления и самоуправления)». На Управление № 4 ВМС штатной численностью военнослужащих 80 человек (а также контрольно-приемный аппарат со штатом 25 военнослужащих) возлагалась решение следующих задач:

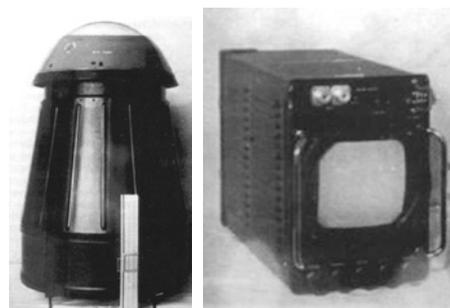
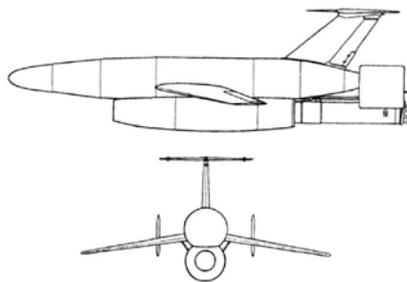
- а) разработка на основе оперативно-тактических заданий Главного штаба ВМС тактико-технических условий на проектирование образцов реактивного вооружения и его модернизации;
- б) рассмотрение и утверждение технических проектов и технических условий на изготовление образцов реактивного вооружения;
- в) отработка и подготовка материалов для принятия на вооружение ВМС образцов реактивного вооружения;
- г) рассмотрение и заключение по проектам реактивного вооружения кораблей ВМС;

- д) изучение производственной базы промышленности, выполняющей заказы ВМС по реактивное вооружение;
- е) составление плана заказов на основе указаний Главного штаба ВМС, производство заказов промышленности, контроль за выполнением договорных обязательств промышленностью и прием готовой продукции;
- ж) планирование и руководство полигонными испытаниями образцов реактивного вооружения;
- з) контроль и наблюдение за выполнением промышленностью опытных и научно-исследовательских работ по реактивному вооружению для ВМС;
- и) обеспечение реактивным вооружением кораблей ВМС;
- к) обеспечение ВМС техническими описаниями, чертежами и нормами эксплуатации на все виды реактивного вооружения ВМС;
- л) разработка правил и таблиц стрельбы;
- м) изучение и обобщения опыта развития реактивного вооружения в СССР и за границей для военно-морских сил;
- н) руководство подготовкой кадров по реактивному вооружению в военно-морских учебных заведениях». [б. С. 42–47]

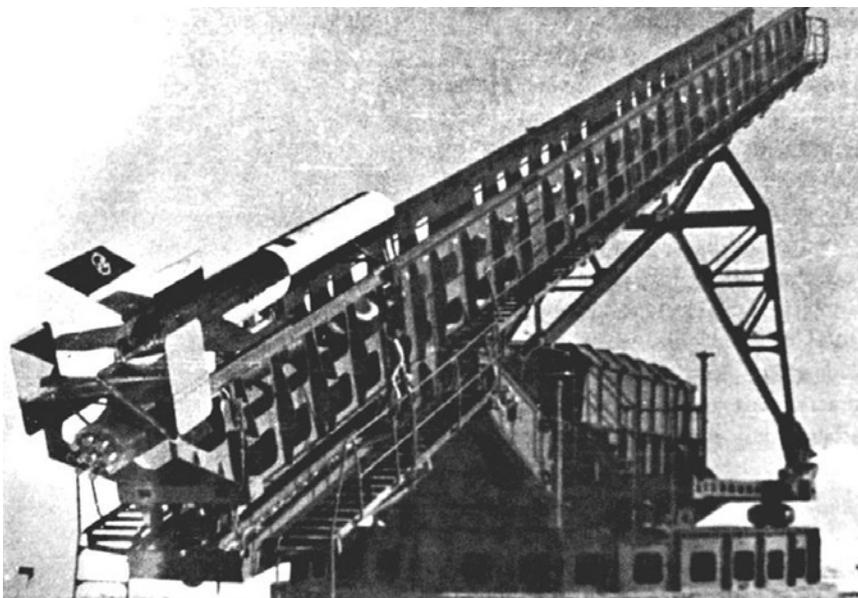
Этим же приказом в составе Военно-морской академии кораблестроения и вооружения им. А.Н. Крылова создавался факультет реактивного вооружения.

Постановлением Государственного Комитета Обороны № 9475 от 8 июля 1945 г. была создана правительственная «Комиссия по сбору материалов и изучению немецкого опыта создания реактивной техники» под руководством генерал-майора инженерно-артиллерийской службы Н.Э. Носовского, ранее возглавлявшего Главное артиллерийское управление наркомата вооружений СССР. В составе этой комиссии представителей ВМФ не было. Объясняется это тем, что НКВМФ и НКСП было поручено заниматься морским подводным оружием Германии и изучением опыта кораблестроения.

А вот Министерство судостроительной промышленности СССР постановлением от 13 мая 1946 г. назначалось исполнителем НИОКР «по аппаратуре гироскопической стабилизации, решающим приборам, корабельным радиолокационным станциям обнаружения и определения координат цели расстояния до снаряда, системам стабилизации корабельных стартовых установок, головкам самонаведения реактивных снарядов для стрельбы по надводным целям и приборам». [б. С. 37]



Крылатая ракета «Шторм» со стартовым двигателем (слева) и аппаратура телевизионной системы наведения ракеты (справа)



Крылатая ракета «Шторм» на пусковой установке

Таким образом, в важнейшем для обороны страны деле ВМФ оказался позади Армии и судостроительной промышленности, с которой главнокомандующий Адмирал флота Н.Г. Кузнецов в тот период находился в жесточайшем конфликте

В 1947 г. в целях обобщения, анализа и изучения научно-технического задела и трофейных образцов военной техники создали военно-морскую подкомиссию, председателем которой назначили вице-адмирала Л.Г. Гончарова³ – начальника кафедры тактических свойств боевых средств артиллерийского факультета ВМА КиВ, лауреата Сталинской премии 2-й степени (1943 г., за трехтомный учебник «Боевое применение корабельной артиллерии»). Комиссии была поставлена задача определить возможность создания баллистических, крылатых и зенитных ракет для вооружения боевых кораблей и береговых батарей.

В задачи подкомиссии входило обоснование тактико-технических заданий на опытные образцы морского реактивного вооружения. В состав подкомиссии были назначены офицеры, окончившие специальные курсы при ВМА КиВ им. А.Н. Крылова, Высших специальных офицерских клас-



Вице-адмирал Л. Г. Гончаров (19.02.1885–28.04.1948)

³ Начальника артиллерийского факультета ВМАКиВ им. А.Н. Крылова вице-адмирала Л.Г. Гончарова арестовали без санкции прокурора 10 апреля 1948 г. по личному указанию министра госбезопасности СССР В.С. Абакумова. Умер в Лефортовской тюрьме на 17-й день после ареста. Реабилитирован в июле 1953 г.

сов ВМС, МВТУ им. Н.Э. Баумана, а также офицеры ВМС, возвратившиеся из командировок в Германию для изучения трофейного оружия (И.Е. Аниконов, О.К. Воронин, М.Г. Иванов, П.М. Иванов, Г.И. Кузнецов, Л.Б. Нерубай, А.Ф. Мадисон, Д.П. Ткаченко, С.Г. Чернин). Работа комиссии происходила по секциям, которые территориально размещались при Морском научно-техническом комитете – в Москве, при ВМА КиВ им. А.Н. Крылова, а также, после их формирования, в Институтах № 3 и № 4 ВМС – в Ленинграде.

В следующем году появляется на основании решения Совета Министров СССР № 1175–440 сс и директивы Генерального штаба Советской армии № ОРГ/6/95985 от 1 декабря 1948 г. в структуре ВМС СССР создается новое заказывающее управление и Научно-исследовательский институт реактивного вооружения ВМС (НИИ-4 ВМС).

В своей работе «комиссия Гончарова» не могла игнорировать тот факт, что десятилетняя кораблестроительная программа уже утверждена правительством, поэтому практическое внедрение ракетного оружия во флоте могло начаться только в морской авиации и береговой обороне. На основании выводов комиссии, которая посчитала нецелесообразным вооружение кораблей образцами трофейных ракет и обосновала основные требования к системам реактивного оружия, НИИ-4 разрабатывает тактико-технические задания (ТТЗ) на противокорабельные управляемые реактивные снаряды для береговой обороны («Шторм») и для морской авиации («Щука»).

Программа научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по ракетной технике с задачей создания в весьма короткие сроки нескольких образцов управляемых ракет для трех видов Вооруженных сил задавалась Постановлением Совета Министров СССР № 1175–440 от 14 апреля 1948 г.

Этим документом назначались главные разработчики и все необходимые соисполнители комплексов реактивного вооружения для ВМС. Начаты в конструкторском бюро авиазавода № 51 в декабре 1947 г. работы по теме «Шторм» передавались КБ авиазавода № 293 (главный конструктор – М. Р. Бисноват) в подмосковных Химках.

Стартующий с береговой катапульты самолет-снаряд 15ХМ «Шторм» предназначался для стрельбы по линейным кораблям, крейсерам и крупным транспортам противника на дистанции до 80 км. Учитывая отсутствие достаточных сил для связывания кора-

бельного соединения боем на дальних подступах к нашим берегам, вероятность реального появления таких целей существовала.

Разработанным специалистами НИИ-4 ВМС ТТЗ требовалось спроектировать управляемую по радиоканалу крылатую ракету (в современной терминологии) массой не более 2,5 т с боевой частью массой 800–1000 кг, скоростью не менее 900 км/ч и диапазоном высоты полета над водной поверхностью от 1500 до 5 м.

Правительственное постановление требовало, закончив эскизный проект в сентябре 1948 г., к июню 1949 г. изготовить шесть опытных образцов и начать их испытания в ноябре. На государственные испытания следовало представить 30 самолетов-нарядов (по десять в каждом из вариантов).

Кроме того, в упомянутом постановлении НИИ-4 ВМС ставилась задача продолжать исследования и опытные работы с целью создания сверхзвуковой противокорабельной ракеты с прямоточным воздушно-реактивным двигателем с дальностью полета 100 км.

Для реализации проекта «Шторм» складывалась весьма сложная кооперация. Помимо ОКБ-3 М. М. Бондаря (двигатель РД-1 А) назначался как головной разработчик бортовой системы управления самолета-снаряда и берегового комплекса приборов управления стрельбой НИИ-49 Министерства судостроительной промышленности СССР (главный конструктор – С. Ф. Андреев). За канал радиоправления отвечал НИИ-885⁴ [НИИ-885 создан Постановлением Совета министров СССР № 1017–419 от 13 мая 1946 г. на базе завода № 1 Наркомата обороны СССР как «научно-исследовательский институт с проектно-конструкторским бюро по радио и электроприборам управления дальнобойными и зенитными реактивными снарядами». С 1991 г. – Российский НИИ космического приборостроения.], за бортовую радиолокационную систему

⁴ НИИ-885 создан Постановлением Совета министров СССР № 1017–419 от 13 мая 1946 г. на базе завода № 1 Наркомата обороны СССР как «научно-исследовательский институт с проектно-конструкторским бюро по радио и электроприборам управления дальнобойными и зенитными реактивными снарядами». С 1991 г. – Российский НИИ космического приборостроения.

⁵ Постановлением Совета народных комиссаров СССР от 15 марта 1946 г. № 527–246 и приказом Министерства электропромышленности СССР от 19 марта 1946 г. № 386 был организован Всесоюзный НИИ телевизионной техники с опытным заводом. Правительственным Постановлением от 14 июля 1947 г. № 2477–758 на его базе, с присоединением Института телевидения и физико-технической лаборатории в Арнштадте (Германия) и СКБ № 833 (Фрязино), был создан НИИ телевизионной техники и техники радиовидения (НИИ-380).

⁶ Создан Постановлением Комитета обороны СССР № 877/264 сс от 26 июля 1932 г. по инициативе А. Ф. Шорина в Москве как Всесоюзный государственный институт телемеханики и связи. В декабре 1936 г. передан наркомату тяжелой промышленности СССР и переименован в НИИ-10. В феврале 1939 г. передан в Наркомат судостроительной промышленности СССР. Ленинградский филиал НИИ-10 был объединен с филиалом НИИ-20 в НИИ-49.

самонаведения – НИИ-20 (главный конструктор – Н. А. Викторов), за телевизионную систему – НИИ-380⁵ [Постановлением Совета народных комиссаров СССР от 15 марта 1946 г. № 527–246 и приказом Министерства электропромышленности СССР от 19 марта 1946 г. № 386 был организован Всесоюзный НИИ телевизионной техники с опытным заводом. Правительственным Постановлением от 14 июля 1947 г. № 2477–758 на его базе, с присоединением Института телевидения и физико-технической лаборатории в Арнштадте (Германия) и СКБ № 833 (Фрязино), был создан НИИ телевизионной техники и техники радиовидения (НИИ-380) Министерства промышленности средств связи СССР (главный конструктор – И. П. Захаров). Тепловую (инфракрасную) систему самонаведения самолета-снаряда разрабатывал НИИ-10⁶, автопилот – ОКБ-1 московского опытного завода № 118 Министерства авиационной промышленности СССР (главный конструктор – В. М. Соркин). Наконец, стартовую установку делал Ленинградский завод подъемно-транспортного оборудования имени С. М. Кирова.

В 1949 г. флотский НИИ-4 уточнил техническое задание в части систем наведения, а максимальные скорости надводной цели увеличил до 45–55 уз.

Для радиолокационной системы самонаведения задавалась дальность и сектора захвата крупной надводной цели бортовой РЛС – 15 км в пределах 15° по пеленгу и 5° по вертикали. Дальность действия тепловой системы самонаведения – 5 км, предел дальности применения телевизионной – 10 км. Для увеличения вероятности попадания требовалось обеспечить возможность сочетания этих двух методов [7].

Для управления ракетной стрельбой требовались радиолокационные станции. Поскольку заданные постановлением сжатые сроки не позволяли рассчитывать на создание специализированных станций, в состав комплекса

решили включить РЛС обнаружения надводных целей «Риф» и артиллерийские станции «Залп» и «Якорь».

Не уложившись по вине контрагентов в сроки завершения эскизного проекта, ОКБ-293 опаздывало и с началом летных испытаний, предложив в качестве предварительного этапа испытать самолет-аналог. Начатый процесс затянулся на два года, но уже к концу 1950 г. невыполнение пунктов постановления и новые сроки пришлось узаконить выходом нового – № 4813–2094 от 4 декабря 1950 г.

Заодно в текст правительственного документа внесли увеличение стартовой массы «Шторма» до 2850 кг (без ускорителя) и увеличение минимальной высоты полета до 8 м. Последнее объяснялось неготовностью радиовысотомера (указанная величина соответствовала погрешности работы барометрического высотомера).

Возможность создания надводных кораблей, вооруженных двумя типами ракет отечественной разработки (большой и малой), изучалась в 1949 г., когда приказом главнокомандующего ВМС адмирала И. С. Юмашева для этого создали комиссию с участием специалистов ЦНИИВК ВМС под руководством начальника проектного бюро Института инженер-подполковника Л. А. Гордона. Выполненная ранее в ЦНИИВК научно-исследовательская работа рекомендовала осуществить исследование проектирование двух типов кораблей-ракетоносцев – для больших и малых управляемых реактивных снарядов. В качестве прототипов предлагалось использовать существующие корабли с артиллерийским вооружением, высказывалось предложение об использовании одного из строившихся крейсеров пр. 68 бис и обосновывалась техническая возможность перевооружения.

Несмотря на то, что стартовое оборудование береговой крылатой ракеты с 30-метровой фермой «не вписывалось» в корабельные условия, проектно-исследовательские подразделения Министерства судостроительной промышленности выполнили проработки размещения «Шторма» на серийных эсминцах и крейсерах. Результатом проработок стало *признание нецелесообразным переоборудования кораблей проектов 30 бис и 56 в связи с трудностями и малой эффективностью размещения ракет внутри корпуса кораблей, ненадежностью палубного хранения самолетов-снарядов в морских условиях и невозможностью обеспечения общей стабилизации корабля для повышения точности стрельбы и упрощения условий управления снарядами.* [8]

Из-за отсутствия надежного, освоенного в производстве турбореактивного двигателя (ТРД), как минимум, пять лет оказались потерянными для практических экспериментов по корабельному ракетному оружию, положительные результаты которых могли создать базис для своевременного определения технического облика и последующего проектирования ракетных кораблей. Однако высшее командование ВМС обратило на это внимание лишь тогда, когда отсутствие управляемого ракетного оружия на кораблях стало предметом критики нового руководства государства.

Успешному завершению комплекса работ по теме «Шторм», несмотря на значительный задел по системам управления и самонаведения самолета-снаряда все же закрытой в 1952 г. правительственным решением, препятствовало не только объективное техническое отставание СССР от поверженного противника и от недавних союзников.

В большей степени сказалось фактическое отсутствие единого руководства разработкой новых образцов военной техники и вооружения в масштабах государства (комплексного планирования и координации между работами по заказам различных видов Вооруженных сил), которое усугублялось прогрессирующей ведомственной разобщенностью промышленных министерств. К этому следует добавить некомпетентность министра обороны «маршала» Н. А. Булганина, который не мог разобраться в огромном количестве предложений разработчиков (зачастую конъюнктурных и технически весьма сомнительных), последовавшие вскоре репрессии командования ВМС и, наконец, начавшаяся кампанию «борьбы с космополитизмом».

Вместо арестованного вице-адмирала Л. Г. Гончарова работу подкомиссии ВМС по ракетному оружию возглавил начальник ВМАКиВ инженер-вице-адмирал М. И. Акулин, вскоре (7 апреля 1951 г.) скончавшийся в возрасте 52 лет. Жертвой «чисток» в минавиапроме стал Матус Рувимович Бисноват, а главным конструктором «Щуки» в ГСНИИ-642 вместо Аркадия Ионовича Эйдиса назначили М. В. Орлова.

Практически не востребованными оказались результаты ОКР НИИ-10 по тепловой системе самонаведения, которые выполнил имевший опыт создания корабельных теплопеленгаторов отдел № 6 (Н. Д. Смирнов) под научным руководством А. Ю. Ишлинского [9].



Тяжелый крейсер CA-75 «Helena», вооруженный крылатыми ракетами «Regulus»

Ко времени завершения десятилетней программы кораблестроения (1946–1955) уверенность главы государства Н. С. Хрущёва в могуществе боевых ракет и бесполезности крупных артиллерийских кораблей окрепла настолько, что отсутствие управляемого ракетного оружия стало реальной угрозой их дальнейшему существованию. Предложения ВМФ по кораблестроительной программе на следующее десятилетие в части надводных кораблей встречали непонимание и резкую критику «первого лица» и, естественно, поддерживавших его мнение высших военных руководителей.

Обстановка, которая складывалась в кабинетах власти, требовала «экстренной ракетизации» не только подводного, но и надводного флота. А поскольку пригодного для размещения на надводных кораблях ракетного оружия не имелось даже в опытных образцах, единственным вариантом было использовать уже созданный на основе авиационного ракетного комплекса «Комета» опытный образец берегового самолета-снаряда «Стрела».

Между тем, веские основания для принятия решительных мер по пересмотру направленности и сроков за-

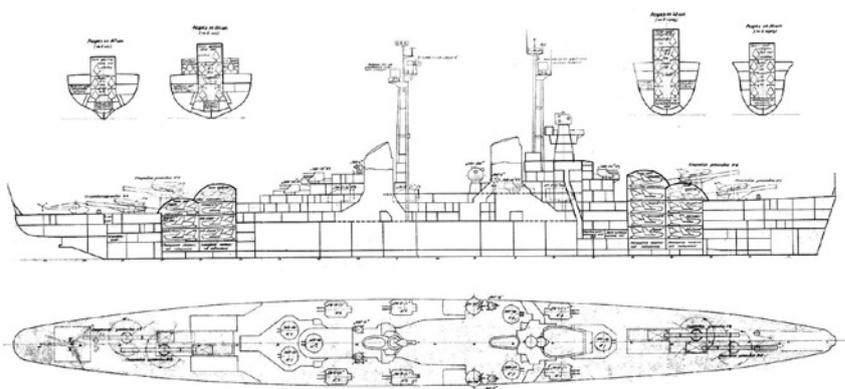
вершения работ в области морского оружия имелись и ранее.

В направленном в Президиум ЦК КПСС 18 января 1952 г. докладе начальника 2-го (разведывательного) Главного управления Морского генерального штаба контр-адмирала Л. К. Бекренёва о состоянии и перспективах разработок корабельного реактивного оружия в ВМС США, в частности, сообщалось о начатой в 1947 г. программе «Project Derby» – вооружения дизель-электрических подводных лодок радиоуправляемыми самолетами-снарядами JB-2 для поражения береговых целей. Также говорилось об уже принятых решениях по довооружению тяжелых крейсеров дальнебойными зенитными ракетными комплексами, об успешном продвижении работ по крылатым ракетам «Rigel» и «Regulus», которые предназначались для нанесения ударов по береговым целям. Особо подчеркивалось, что опытные образцы корабельного ракетного оружия, успешно прошедшие испытания, будут иметь ядерное снаряжение [10].

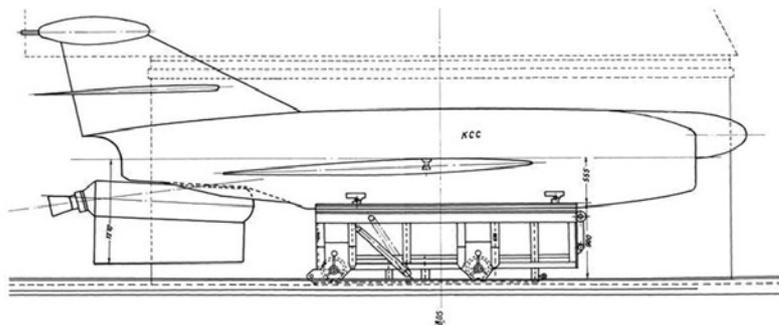
Разведка ВМФ, задачи которой уже в то время носили стратегический характер, предупреждала высшее руководство страны о новых возможностях ВМС США, что вполне могло быть использовано вероятным противником для уничтожения важнейших военных объектов СССР.

Следует признать, что, несмотря на печальный опыт Великой Отечественной войны, угроза средств воздушного нападения для надводных кораблей тогда недооценивалась. За период боевых действий советский ВМФ по различным причинам безвозвратно потерял 32 надводных корабля, а от воздействия авиации погибшими числятся 27 кораблей всех классов, в том числе крейсер «Червона Україна». Большие потери – 35 кораблей – ВМФ СССР понес только от минного оружия. [11]. При этом потопленный в Кронштадте линейный корабль «Марат» в число боевых потерь не включили!

Судя по документам и крайне малочисленным опубликованным воспоминаниям участников докладов по вопросам кораблестроения лично Сталину, тот был убежден в эффективности крупнокалиберной зенитной артиллерии и надежности «зонтика» истребительной авиации берегового базирования. Это убеждение основывалось на пределах операционной зоны советского надводного флота, боевое применение которого «у берегов Аме-



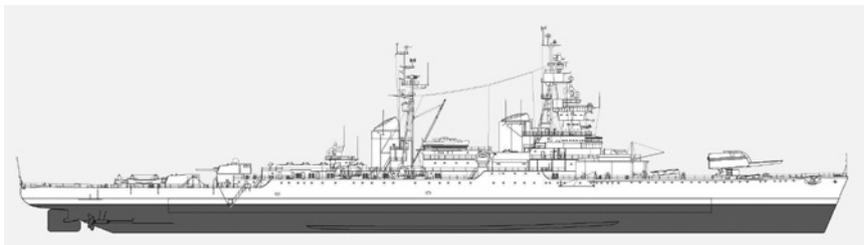
Выполненная ЦНИИВК проработка перевооружения крейсера пр. 68бис крылатыми ракетами «Стрела»



Корабельный самолет-снаряд на транспортировочной тележке. Пунктиром показаны габариты барбета башни главного калибра крейсера



Крейсер «Адмирал Нахимов», переоборудованный по пр. 67ЭП. Севастополь, осень 1955 г.



Боковой вид крейсера «Адмирал Нахимов» по пр.у 67 СИ

рики» Сталиным в тот период не рассматривалось [12]. ■

Продолжение следует

По-французски восемьдесят звучит и пишется как четыре раза по двадцать

Именно так воспринимает свое восьмидесятилетие профессор Кирилл Всеволодович Рождественский.

Он родился 29 апреля 1945 г. в Ленинграде. В 1963 году окончил с золотой медалью школу № 243 и поступил в Ленинградский кораблестроительный институт (ЛКИ), который окончил с отличием с дипломом инженера-исследователя по специальности «Гидроаэродинамика». После окончания института занимался преподавательской и научно-исследовательской работой в ЛКИ-СПбГМТУ, пройдя все ступени вузовской образовательной и административной иерархии: от ассистента кафедры гидромеханики до профессора и заведующего кафедрой прикладной математики и математического моделирования, от декана кораблестроительного факультета до проректора по международному сотрудничеству в области науки и образования. Полезным в карьере К. В. Рождественского с точки зрения освоения наук и взаимодействия с иностранными коллегами оказался его интерес к изучению иностранных языков. Английским и французским он владеет свободно со школьных лет, а после окончания в 2011 году Института Конфуция при Санкт-Петербургском государственном университете увлекся изучением китайского языка.

В 1972 г. К. В. Рождественский защитил кандидатскую диссертацию по специальности «Механика жидкости, газа и плазмы» (научный руководитель профессор Я. И. Войткунский), а в 1982 г. – докторскую диссертацию по специальности «Теория корабля». В 1984 г. Кирилл Всеволодович получил звание профессора на кафедре прикладной и вычислительной математики, и в 1986–2015 гг. руководил той же кафедрой, названной по его предложению кафедрой прикладной математики и математического моделирования (КПМММ). Это был уже четвертый профессор в семье: его прадед протоиерей Иоанн Гаврилович Рождественский был профессором богословия, дед Валерий Иванович Рождественский – профессором медицины, отец Всеволод Валерьевич Рождественский – профессором кафедры теории корабля.

С 1986 по 2015 г. в качестве заведующего КПМММ, основателем которой был известный специалист в области теории корабельных волн, доктор физико-математических наук, профессор А. Н. Шебалов, К. В. Рождественскому удалось собрать заме-

К. В. РОЖДЕСТВЕНСКОМУ - 80 ЛЕТ

*РосНТО судостроителей им. акад. А. Н. Крылова,
контакт. тел. (812)710 4011*



чательный коллектив преподавателей. В определенный период времени на кафедре одновременно трудилось 10 докторов технических и физико-математических наук, в том числе С. М. Ермаков, В. Г. Мазья, В. Н. Кублановская, Г. В. Савинов, Н. С. Григорьева, А. К. Перцев, Л. А. Руховец. Прекрасно вписались в коллектив и защитившие докторские диссертации уже их последователи, ученики В. Б. Хазанов, В. А. Рыжов и Г. М. Фридман и др. Все они в педагогической и научной деятельности руководствовались триадой «модель–алгоритм–программа», веруя в то, что в любом деле науки ровно столько, сколько в нем математики.

В 80-х гг. К. В. Рождественский содействовал организации Межведомственного инженерного центра математического моделирования в судостроении (МИЦ ММС), созданного министерствами высшего и среднего специального образования СССР, судостроительной промышленности СССР и Госкомитетом по вычислительной технике и информатике СССР. Затем он стал его научным руководителем. МИЦ ММС участвовал во многих НИР и в ряде международных проектов. Среди последних весьма интересным был проект первого в мире аналогового (в формате Philips Laser Vision) интерактивного оптического диска по русскому искусству «Русский музей на столе». В мировом рейтинге того времени диск, содержащий около шести тысяч изображений картин и других экспонатов Русского музея, занял третье место после интерактивных дисков по Лувру и Вашингтонской Национальной галерее.

В 1982–1999 гг. К. В. Рождественский был деканом кораблестроительного факультета, переименованного по его инициативе в факультет кораблестроения и океанотехники (ФКО). При нем на факультете были созданы две новые кафедры: технической эксплуатации и реновации и кафедра океанотехники и морских технологий. В 90-е гг. как известный специалист в области гидроаэродинамики скоростных судов и аппаратов, К. В. Рождественский был официальным представителем СССР и СНГ в Комитете по скоростным морским аппаратам международной неправительственной организации «Международная конференция опытовых бассейнов» (High Speed Marine Vehicles' Committee of the International Towing Tank Conference), принимал участие в заседаниях Комитета в ведущих морских инженерных организациях Великобритании, США, Голландии, Норвегии и Швеции.

В 1999–2015 гг. К. В. Рождественский – проректор по международному сотрудничеству в области науки и образования, а с 2015 г. – директор Департамента международного сотрудничества СПбГМТУ.

В 1985–2015 гг. – председатель докторского диссертационного совета по механике, с 2016 г. – член докторского диссертационного совета по кораблестроительным специальностям и член объединенного докторского диссертационного совета по специальностям история науки и философия науки и техники.

Занимался научной работой и выступал с докладами и лекциями в университетах: Австралии (университет Нового Южного Уэльса), США (Мичиганский ун-т в Энн-Арборе, Калифорнийский университет в Беркли, Массачусетский технологический институт, Виргинский политехнический университет в Блэксбурге, университет Нового Орлеана), Германии (Гамбургский технический университет), Франции (Лаборатория информатики для механики и инженерных задач Национального центра научных исследований Парижского университета в Орсе, Высшая центральная школа Нанта), Бельгии (Институт гидродинамики фон Кармана, Китае (Харбинский инженерный университет, Китайский исследовательский центр по судостроению в Уси, Хуачжунский университет науки и технологий

в Ухане), Малайзии (Технологические университеты Джохор Бару и Куала-Лумпура) и Японии (Университет Тоттори). В 2003–2006 годах – советник компании Rolls-Royce Naval Marine. В 2006–2018 годах – советник компании Transas Technologies.

Научные интересы и основные публикации К. В. Рождественского связаны с теоретической гидроаэродинамикой, в том числе:

- с теорией несущих поверхностей судов и аппаратов с динамическим поддержанием, а также экранопланов,
- теорией суперкавитирующих тел и крыльев,
- теорией движителя типа «машущее крыло»,
- несущих систем с интерцепторами,
- подводных и волновых глайдеров,
- динамикой пузырьковой кавитации,
- движением судов на мелководье, гидродинамикой и динамикой судов, движимых энергией волн,
- применением сингулярных асимптотических методов в механике жидкости и газа.

Профессор К. В. Рождественский разработал теорию несущей поверхности в зоне предельного экранного эффекта, ориентированную на гидроаэродинамическое проектирование экранопланов нового поколения типа «летающее крыло»; совместно с аспирантами и докторантами внес важный вклад в теорию и методы расчета характеристик нетрадиционных движителей типа «машущее крыло», а также в решение задач гидродинамики глиссирующих и суперкавитирующих крыльев с применением теории сингулярных возмущений.

Он – автор более 140 публикаций, в монографии «Метод сращиваемых разложений в гидродинамике крыла» (1979); учебник «Гидроаэродинамика быстроходных судов с динамическим поддержанием» (соавторы Н. Б. Плисов и В. К. Трешков, 1991); монография «Aerodynamics of a Lifting System in Extreme Ground Effect» (2000); монографических обзоров «Aerohydrodynamics of flapping wing propulsors» (соавтор В. А. Рыжов, 2003), «Wing-in-ground effect vehicles (англ.) Elsevier, Progress in Aerospace Sciences 42» (2006); учебник «Computer modeling and simulation of dynamic systems using Wolfram System Modeler» (соавторы В. А. Рыжов, Т. А. Федо-

рова, К. С. Сафронов, Н. В. Тряскин, Shaharin Anwar Sulaiman, Mark Ovinis, Suhaimi Hassan, 2020).

Подготовил 12 кандидатов и 5 докторов технических наук. В 1997 г. удостоен золотой медали Денни (Denny Gold Medal) Института морского инжиниринга, науки и технологии (Лондон) за доклад, посвященный перспективному «летающим» судам и аппаратам, использующим эффект близости опорной поверхности.

6 апреля 2000 г. указом Президента России К. В. Рождественскому присвоено почетное звание «Заслуженный деятель науки Российской Федерации».

Сегодня К. В. Рождественский ведет активную и многостороннюю научно-общественную работу как в России, так и за рубежом. С 2012 г. он – член Президиума и вице-президент РосНТО судостроителей им. акад. А. Н. Крылова, а Почетный вице-президент Института морского инжиниринга, науки и технологии, Лондон.

Являлся председателем и заместителем председателя организационных комитетов ряда крупных международных конференций, в том числе: конференции по асимптотическим методам механики *Asymptotics in Mechanics AiM94* и *AiM96*, конференцию MEET 1999 (по морскому инженерному образованию), GEM 2000 (по судам и аппаратам, использующим эффект близости опорной поверхности), SP 2001 (по судовым движителям), WMF 2003 (Всемирный морской форум), FAST 2005 (по скоростному морскому транспорту), Super FAST 2008 (по сверхскоростным судам и аппаратам, движущимся под водой, над водой и с пересечением свободной поверхности), SubSeaTECH 2007–2009–2014 (по подводной технике), World Maritime Technology Conference 2012, International Conference on Naval Architecture and Ocean Engineering NAOE2016, международных конференций по морской робототехнике для освоения океана MarineRobotics 2017/2018, Международной конференции Паназиатской Ассоциации Морских Инженерных Обществ PAAMES/AMEC2021.

В 2003–2011 гг. был организатором ознакомительных технических визитов руководителей и ведущих специалистов судостроительной промышленности России в зарубежные страны, в том числе в Великобританию (2003), Австралию (2004), Со-

единенные Штаты Америки (2005), Южную Корею (2008), Японию (2010) и Сингапур (2011). В дальнейшем распространил эту практику на организацию технических визитов студентов СПбГМТУ в Италию, Великобританию, Францию, Испанию, Финляндию и Китай.

В качестве проректора СПбГМТУ по международному сотрудничеству/директора департамента международного сотрудничества внес существенный вклад в установление и развитие научно-технического и образовательного сотрудничества с зарубежными вузами и организациями морского инженерного направления различных стран, в том числе Великобритании, США, КНР, Индии, Индонезии, Ирана, Малайзии, Вьетнама и Республики Союз Мьянма. В последние годы установлены связи и взаимодействие с Китайской государственной судостроительной корпорацией, Харбинским инженерным университетом, Северо-Западным политехническим университетом, Шанхайским транспортным университетом, Чжэцзянским океаническим университетом и Гуандунским океаническим университетом.

Заслуги К. В. Рождественского отмечены морской инженерной общностью Санкт-Петербурга. 25 января 2024 г. от имени Ассоциации судостроителей Санкт-Петербурга и Ленинградской области и Морского совета при правительстве города ему были вручены Патент Петровского корабеля и корабельный плотницкий топор. В тексте патента, в традициях этой награды, отмечено, что «Рождественский Кирилл Всеволодович во все время благородного служения своего в Санкт-Петербурге был благочестивым и мудрым строителем флота государства Российского и ревностным хранителем морских традиций...»

Центральное Правление Российской и Международного НТО судостроителей имени академика А. Н. Крылова сердечно поздравляет Кирилла Всеволодовича с юбилеем и желает ему крепкого здоровья, творческого долголетия и реализации больших планов в работе.

Редсовет, редколлегия и редакция журнала «Морской Вестник» присоединяются к этим поздравлениям и желают К. В. Рождественскому благополучия и новых организационных и научных достижений. ■

Учредители Автономной некоммерческой организации «Псковская парусная регата» начали проводить парусные соревнования на пограничном Псковском озере в 2004 г. с целью развития парусного спорта, сохранения поморского уклада и культурно-исторических традиций на Псковско-Чудском озере.

Псковская парусная регата начинается, как обычно, в День России 12 июня под неизменным девизом «А давайте вместе!». В соревнованиях на одной акватории, но на своих дистанциях соревнуются паралимпийская сборная команда России, взрослые и детско-юношеские команды в различных классах гоночных яхт, представляя фактически все регионы России.



К 420-ЛЕТИЮ АФАНАСИЯ ЛАВРЕНТЬЕВИЧА ОРДИНАЩОКИНА, ИНИЦИАТОРА КОРАБЕЛЬНОГО ДЕЛА НА РУСИ

М. Н. Савин, действительный член Санкт-Петербургского Морского собрания, исполнительный директор АНО «Псковская парусная регата»,
контакт. тел. (812) 312 7092, morskoe-sobranie@yandex.ru

На протяжении 20 лет в рамках Псковской парусной регаты проводились неоднократно парусные соревнования межрегионального, всероссийского и международного ранга, вплоть до чемпионатов России, Европы и мира, и всегда в статусе официальных спортивных мероприятий, которые включены в календарные планы различных уровней, при неперемнной поддержке Всероссийской федерации парусного спорта, Правительства Псковской области и Санкт-Петербургского Морского собрания.

XXI Псковская парусная регата будет посвящена знаменательным событиям – 80-летию Великой Победы и 420-летию Афанасия Лаврентьевича Ордина-Нащокина, инициатора корабельного дела, постройки флота на Оке, судоверфи и первого русского боевого корабля «Орел».

Афанасий Лаврентьевич Ордин-Нащокин в плане своей судостроительной программы в 1667 г. предложил еще царю Алексею Михайловичу проект строительства корабельного флота в Архангельске, реализованный Петром I в 1693 г. с основанием Соломбальской верфи. Надо отметить, что основателем крепости на мысе Пур-Наволоч в 1584 г. (позже Архангельск) был воевода Петр Афанасьевич Нащокин, сын наместника в Изборске Афанасия Нащокина-Злобы.

Идей же у А. Л. Ордина-Нащокина, возглавившего в 1667 г. Посольский приказ, было много, большинство которых реализовал Петр Первый.

Вступив де-факто в права единоличного правителя России в конце 1689 г., Петр I начал знакомиться с работой государственных служб с посещения Посольского приказа. Вероятно, именно тогда ученики и наследники дела А. Л. Ордина-Нащокина дьяки Посольского приказа И. М. Волков и А. А. Виниус могли передать молодому правителю России сборник, включающий «Хроник Псковский». С учетом компилятивной структуры и смыслового содержания документов, помещенных в сборник, можно полагать, что он создан самим А. Л. Ордина-Нащокиным для передачи наследнику

русского престола. Состав документов не случаен и достаточен.

Главный документ сборника – «Хроник Псковский» – содержит «отеческие корабельные пристанища» на морях, обеспечивающие свободное функционирование путей-артерий. Согласно «Хронике», центром управления корабельными пристанищами в полуночной стороне был Изборск, а также одним из родовых центров «скифо-славено-рустиих» князей. Непревзойденный аналитик древнерусских летописей А. А. Шахматов писал, что «объяснить, почему резиденцией Трувора стал Изборск, не представляется возможным». Второй концептуальный вопрос в «Хронике» – «Синдерская земля» с центром в Киеве. Его решение способствовало бы свободному функционированию внутренних путей-артерий в полуденной стороне. Этот вопрос был ключевым в политике А. Л. Ордина-Нащокина. Третий концептуальный вопрос в «Хронике» – Северный морской путь «в Поморскую страну на горы и на холмы, по всему по взморью того студеного акияна моря великаго, в население посла великий князь Рюрик Прусский земли мать з детми ея». Так начинается в «Хронике» описание маршрутов поморского мореплавания по освоению северных земель.

Великий преобразователь прежде всего морского дела Петр I в 1710-х гг. запретил псковским судостроителям применять архаичный метод «дорожения скобами» стыков досок обшивки судов. (Вероятно, от Петра I вошло в историю прозвище псковичей – скобари). При этом основные конструктивно-технологические особенности псковских судов указал оставить неизменными и, более того, подвергнуть изучению, с последующим внедрением в конструкции некоторых типов «новоманерных» судов.

«Да с того ж Псковского и Пусторжевского уездов во Пскове и Дерпте те же уездные люди готовят горючего и алтилерного лесу и досок многие тысячи. Да у тех же уездных людей построено в прошлых годах в 10 кумпанствах 35 людей болших, да

100 лодок поменьши, да 100 стругов старых, всего болших и малых лодей и стругов 235 со всеми к водяному ходу припасы. И ныне те лодыи и припасы они ж, уездные люди, починяют, и на те лодыи и струги кормщиков и работников к водяному ходу наймут, и сами ездят и припасы вновь ставят, и все те лодыи и припасы за их сторожею по се время», – свидетельствует о развитом судостроении в тех местах письмо обер-коменданта Дерпта и Пскова Кирилла Алексеевича Нарышкина графу Гавриле Ивановичу Головкину, главе Посольского приказа от 5 ноября 1707 г.

В Государственном историческом музее хранится единственный экземпляр сборника, содержащего «Хроник Псковский» из собрания И. Е. Забелина (№ 460/468 (129)-Q). На титульном листе сборника указано, что «списывал сий кроник многогрешный Иван Псковко з древних кроников в 1689 го, марта в 26 день». Здесь прежде всего важен год создания сборника – 1689 г., когда 17-летний Петр I фактически перешел к единоличному правлению. Год указывает, кому был предназначен этот сборник.

Важно установить личность его автора или авторов. С большей долей вероятности можно полагать то, что автором был дьяк Посольского приказа Иван Михайлович Волков, Псковко, очевидно, уменьшительный псевдоним, соответствующий принятым тогда порядкам. А. Л. Ордин-Нащокин после вступления в должность главы Посольского приказа в 1667 г. пригласил Волкова, которого знал достаточно хорошо, будучи воеводой Пскова в 1665–1667 гг. Известно, что в 1671 г. Волков подавал челобитную об отставке и возвращении во Псков в связи с уходом с поста главы Посольского приказа А. Л. Ордин-Нащокина. Но Афанасий Лаврентьевич убедил его остаться в приказе. В архиве Посольского приказа – большое количество документов, составленных и подписанных Волковым, его переводов различной корреспонденции. С конца 70-х гг. он уже в должности дьяка, в статусе посланника во многих Посольствах (в том числе в 1687 г. в Польшу, Вену, Венецию с воеводой Пскова боярином Б. П. Шереметевым). С конца 80-х гг. он – на первых ролях в Посольском приказе, и его деятельность прослеживается вплоть до конца первого десятилетия XVIII в. Несомненно, дьяк И. М. Волков был в прямых контактах с Петром I. Важно то, что он продолжал общение с Афанасием Лаврентьевичем Ордин-Нащокиным, принявшим постриг по возвращении во Псков в 1672 г., и то, что после смерти А. Л. Ордин-Нащокина в 1680 г. его личный архив, находившийся во Пскове, был перевезен в Москву в Посольский приказ по запросу дьяка Волкова и передан ему лично.

Очевидно, к созданию сборника имеет прямое отношение ближайший соратник Петра I Андрей Андреевич Виниус, автор по крайней мере двух

документов, включенных в сборник. Это «Поучение патриарха Геннадия» (перевод с греческого) и «Описание местных расстояний некоторых городов от царствующего града Москвы». Виниус в начале своей службы в Посольском приказе трудился в статусе переводчика в непосредственном взаимодействии с главой приказа А. Л. Ордин-Нащокиным. В конце 1668 г. А. А. Виниус подает в Посольский приказ проект заведения галерного флота на Каспийском море, который был реализован Петром I.

По свидетельству князя Б. И. Куракина, именно Виниус обучал молодого наследника престола Петра I голландскому языку, очевидно, предметно – на документах по судостроению и морскому делу, которые получал как руководитель и организатор почтового дела в России от своего родственника из Амстердама Николааса Витсена. Не менее важно то, что нормы торговых Уставов 1693 и 1698 гг. были приведены Виниусом в полное соответствие с Новоторговым уставом 1667 г., автором которого был А. Л. Ордин-Нащокин. О неоченимом вкладе главного соратника Петра I Виниуса в создание российского флота и артиллерии широко известно.

В работе «Изборск в раннем средневековье» автор В. В. Седов отмечает: «Информация о происхождении Ольги из Изборска содержится в Раскольничьем летописном списке. По предположению М. Н. Тихомирова, он мог стать прототипом той летописи, которой пользовался В. Н. Татищев, до нас не дошедшей (Тихомиров, 1994), учитывая то обстоятельство, что Василий Никитич был родом, как и А. Л. Ордин-Нащокин, с Псковской земли (Пусторжевский уезд). Хотя в «Хронике» и показаны отличные от традиционных хронология и генеалогия, но это не отменяет общепринятую парадигму в целом.

Есть еще один существенный аспект, указывающий на А. Л. Ордин-Нащокина как на вероятного автора «Хроника», который повествует о том, что «великорустии» князя до крещения Ольги в Царьграде изначально почитали Единого Бога «Садца и Волна», которого идентифицирует однозначно, как «Господа Вседержителя». Показательно то, что такое же значение в санскрите имеет имя Бога Садеша, или Садешвара. Литовские архивариусы, оперирующие историческими документами, хранителями которых являются, утверждают, что на отписках личной печати воеводы А. Л. Ордин-Нащокина изображены сидящий на троне Нептун, птица и трубы вверх. В Общем гербовнике дворянских родов Российской империи, утвержденном Указом Павла I в 1797 г., на щите герба рода Нащокиных показан тот же «сюжет», который описывают литовские архивариусы. С тем существенным отличием, что сидит на «троне» Юпитер с молниями («Вседержитель» в римском пантеоне), а у его ног – орел.



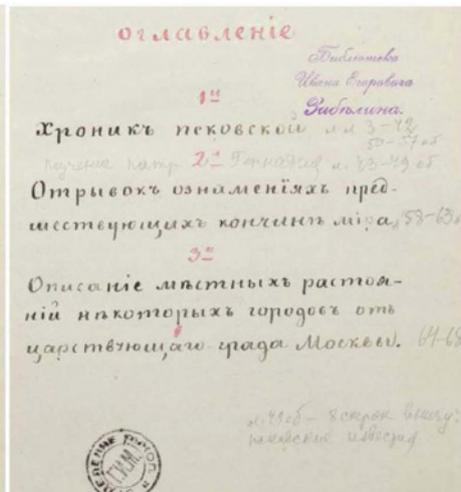
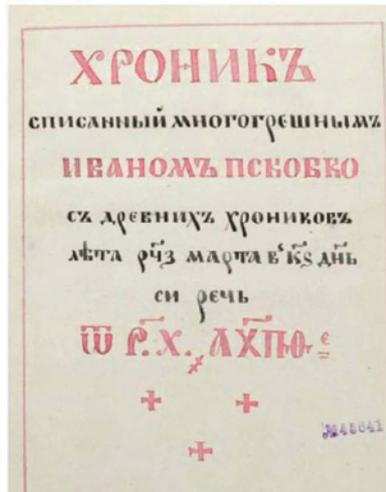
Фрагмент герба рода Нащокиных. Гравюра

Об уникальных качествах талабских лодей, называя их «чудская лодка», пишет в своей известной книге Георгий Васильевич Эш, владелец суверенитетов в Санкт-Петербурге, знамени-

https://catalog.shm.ru/entity/OBJECT/168182?index=0&paginator=entity-set&entityType=OBJECT&entityId=168181&attribute=like_predm



Забел. 460. Сборник, содержащий "Хроник Псковский" XVII в.
Датировка: XVII в. (1689 г.)
Номер ГИМ: ГИМ 45641/546



Титульный лист «Хроник» списанный с древних хроников Иваном Псковко»

тый яхтсмен Императорского яхт-клуба: «Петр I, как правило, в своих письмах о строительстве судов во Пскове использовал терминологию Талабских островов, называя суда «большими лодьями» и «меньшими лодками». Он неоднократно бывал во Пскове в начальный период Северной войны с 1701 по 1708 г., а с июля по октябрь 1701 г. находился во Пскове практически постоянно, организуя строительство псковской крепости и озерного флота. Во Пскове его окружали люди, хорошо знавшие и помнящие А. Л. Ордин-Нащокина. Петр всегда останавливался на проживание у одного из них – в палатах псковского купца Никифора Ивановича Ямского, своего сверстника, поставщика различной амуниции для армии, владевшего большими лодьями на Псковском озере.

Очевидно, здесь на реке Пскове великая княгиня Ольга крестила Псков. Эти три церкви Богоявления упоминаются в «Хронике Псковском», но из них сохранилась лишь церковь Богоявления с Запсковья.

Ближайшим соратником А. Л. Ордин-Нащокина был известный дьяк Псковской Приказной избы Мина Иванович Гробов. Его поместье располагалось вблизи церкви Николая в Устье у Псковского озера, при впадении реки Каменки в реку Великую. Здесь же находилась древняя псковская застава, где останавливались суда, следовавшие с озера во Псков, а во время эпидемии чумы – на трехдневный карантин.

Петра I в поездках, как правило, сопровождал его личный ученик, бомбардир Преображенского полка, первый русский судостроитель – Филипп Петрович Пальчиков. Вероятно, здесь, у заставы близ Николая в Устье, Филипп Петрович мог познакомиться с Пелагеей Миничной Гробовой. В 1711 г. в Санкт-Петербурге, в Исакиевской церкви близ Адмиралтейства, состоялось их венчание, на котором шафером был Петр I. С 1711 по 1713 г. Ф. П. Пальчиков, по указу Петра I находится во Пскове – восстанавливал суда плененной в 1704 г. шведской эскадры, а также псковские лоды, снимая при этом их чертежи. По возвращении в Санкт-Петербург Пальчиков разработал проект новой плоскодонной галеры, используя особенности конструктива талабских лодей для действий в прибрежной зоне Балтики. Вероятно, в Санкт-Петербург Ф. П. Пальчиков вернулся не один, а с псковскими плотниками и матросами для работы на Партикулярной и Галерной верфях (в документах 1727 г. упоминается Старый Псковский морской двор, очевидно располагавшийся вблизи Ад-

миралтейства). Неслучайно в феврале 1718 г. Петр I приказал вице-адмиралу К. Крюйсу, чтобы он «галеры велел делать Ивану Немцову по чертежу Филиппа Пальчикова».

Интересно, что Триумфальный столп, который планировалось возвести на главной площади Санкт-Петербурга, должны были украшать литые формы работы «личного токаря царя» Андрея Нартова, выполненные по барельефам Б.-К. Растрелли, утвержденным Петром I. Среди них – «Сильна ладья российская на Чудском озере». В основе сюжета барельефа – фрагмент гравюры А. Шхонебека «Победа на Амовже» (1704 г.).



Круглый барельеф Андрея Нартова, Государственный Эрмитаж

Таким образом, царь Петр I в своих сподвижнических делах продолжил реализацию идеи, высказанных А. Л. Ордин-Нащокиным. В Санкт-Петербургском Морском собрании считают, что роль и значение Афанасия Лаврентьевича Ордин-Нащокина в российской истории и истории Российского флота недооценены.

А. Л. Ордин-Нащокин основал судостроительную верфь в Царевиче-Дмитриево, начал строительство кораблей для плавания в Балтийском море. Пригласил голландских кораблестроителей в помощь русским мастерам в село Дединово, расположенное на реке, где зимой 1667 года началось строительство судов. В течение двух лет были построены четыре корабля: фрегат «Орел» и три меньших судна. «Орел» считается первым русским парусным кораблем.

Посвящая XXI Псковскую парусную регату 420-летию со дня рождения этого незаурядного государственного деятеля руководители регаты, старшины Санкт-Петербургского Морского собрания считают, что это будет способствовать привлечению интереса общественности к личности Афанасия Лаврентьевича Ордин-Нащокина, к его первым попыткам создать русский флот ■



Выступление старшины СПБМС С. Н. Ирютин (в настоящее время – Председатель СПБМС) на церемонии открытия бюста Афанасию Ордин-Нащокину 30.10.2015 г. на территории пансионата «Кривск» Печорского района Псковской области



Открытие бюста Афанасию Ордин-Нащокину 30.10.2015 г. на территории пансионата «Кривск» Печорского района Псковской области



Бюст Афанасию Ордин-Нащокину на территории пансионата «Кривск» Печорского района Псковской области

1. Автор представляет статью в электронном виде объемом до 20 000 знаков, включая рисунки. Текст набирается в редакторе MS Word под Windows, формулы – в формульном редакторе MathType. Иллюстрации, помещенные в статье, должны быть представлены дополнительно в форматах: TIFF CMYK (полноцветные), TIFF GRAYSCALE (полутонные), TIFF BITMAP (штриховые), EPS, JPEG, с разрешением 300 dpi для полутонных, 600 dpi для штриховых и в размерах, желательных для размещения.

2. Статья должна содержать реферат объемом до 300 знаков, ключевые слова и библиографо-библиотечный индекс УДК. Автор указывает ученую степень, ученое звание, место работы, должность и контактный телефон, а также дает в письменной форме разрешение редакции журнала на размещение статьи в Интернете и Научной электронной библиотеке после

публикации в журнале. Статья представляется с рецензией.

3. Статьи соискателей и аспирантов принимаются к публикации на бесплатной и безгонорарной основе.

4. Контрольное рецензирование этих статей осуществляет редакционная коллегия с привлечением при необходимости профильных специалистов. Рецензии на статьи хранятся в редакции журнала в течение 5 лет.

5. В случае отказа в публикации автору высылается рецензия. Копии рецензий направляются в Минобрнауки России при поступлении соответствующего запроса в редакцию журнала.

6. Содержание журнала ежеквартально представляется на рассмотрение редакционному совету. Решение о выпуске очередного номера оформляется протоколом.

РЕФЕРАТЫ

УДК 621.82 **Ключевые слова:** ЗАО «ЦНИИ СМ», судовое машиностроение, устройство передачи грузов, аэрофинишер, манипуляторное устройство

Ю.А. Лебедев. ЦНИИ судового машиностроения – 55 лет служения флоту России//Морской вестник. 2025. № 21 (94). С. 6

Показана деятельность Центрального научно-исследовательского и проектного института судового машиностроения за 55 лет с момента создания. Сегодня ЗАО «ЦНИИ СМ» – ведущий научно-исследовательский и инженерный центр машиностроительного кластера судостроительной отрасли России по созданию судовых машин и механизмов, устройств и комплексов специальной техники и имеющаяся научно-инженерная школа позволяет создавать и осваивать производство современных механизмов на уровне лучших мировых образцов морской техники. Ил. 3. Библиогр. 13 назв.

УДК 621.436:621.438 **Ключевые слова:** ЦМКБ «Алмаз», скоростные катера, пропульсивный комплекс, импортозамещение, перспектива

К.Г. Голубев, В.В. Барановский, В.С. Домнин, А.В. Довличарова. Решение проблемы импортозамещения пропульсивных комплексов быстроходных судов – важная задача отечественного судостроения на краткосрочную перспективу//Морской вестник. 2025. № 2 (94). С. 11

Показана необходимость скорейшего создания отечественных пропульсивных комплексов для скоростных катеров (маломерных судов). Т. 1. Ил. 4.

УДК 620:691 **Ключевые слова:** психологический фактор, дизайн-проект, служебное помещение, жилое помещение, эргономика, психология труда, психология цвета, цветовая гамма, корабельная среда, техническое решение, стресс, эргономика, эффективность

П.А. Зубков, О.В. Захарова. Психологические аспекты разработки сложных технических решений в области дизайн-проектов служебных и жилых помещений перспективных кораблей ВМФ//Морской вестник. 2025. № 21 (94). С. 15

Рассмотрены психологические факторы, влияющие на процесс разработки и реализации сложных технических решений в области дизайн-проектирования служебных и жилых помещений перспективных кораблей ВМФ. Авторы статьи дали рекомендации по применению цветовых решений помещений для повышения эффективности работы членов экипажа. Т. 4. Ил. 8. Библиогр. 6 назв.

УДК 658.58 **Ключевые слова:** АО «СПО «Арктика», цех № 8, ремонт электрооборудования, техническая база, диагностика, восстановительные работы

В.Н. Тарасов. СПО «Арктика»: специфика ремонта и поддержания технического состояния электрооборудования//Морской вестник. 2025. № 2 (94). С. 25

Дана информация о возможностях цеха № 8 СПО «Арктика» по выполнению диагностических, ремонтных и восстановительных работ, а также испытанию широкого ассортимента различных видов судового электрооборудования. Ил. 3.

УДК 658.5 **Ключевые слова:** судостроение, автоматизация процессов, производственная система, трудоемкость

М.Д. Мовчанова, А.А. Коноплёв, А.В. Ровдо, А.Б. Фомичёв. Анализ производственных потерь при работе с программным обеспечением//Морской вестник. 2025. № 2 (94). С. 28

Рассмотрены непроизводительные потери при строительстве заказа. Полученные при проведении производственного эксперимента данные позволили выявить недостатки работы в сопряженном между конструкторским бюро и заводом программном обеспечении, которое применяется сегодня. Полученные выводы исследования имеют практическую значимость для оптимизации производственной системы судостроительных заводов страны. Т. 2. Библиогр. 4 назв.

УДК 593.3 **Ключевые слова:** иллюминатор, стеклоэлемент, обойма, обжимная шайба, вспомогательный конический элемент

В.П. Лянзберг, Н.М. Вихров. Определение параметров обоймы иллюминатора со стеклоэлементом в форме диска//Морской вестник. 2025. № 2 (94). С. 31

Рассмотрены иллюминаторы высокого давления с обжимными шайбами. На основе выполненных экспериментов предложено подразделять данные иллюминаторы на три группы. Ил. 6. Библиогр. 4 назв.

УДК 681.2.08, 629.5.054.03, 629.5.058.4 **Ключевые слова:** расходомер, судовые условия эксплуатации, исследовательский стенд, экспериментальная оценка качества

А.Е. Васильев, Р.Р. Касимов, В.Д. Ковалев, Д.Е. Кунгурцев, С.А. Токаренко. Стендовое оборудование для оценки характеристик систем измерения расхода жидких сред//Морской вестник. 2025. № 2 (94). С. 34

Обозначены подходы к разработке архитектуры технологической оснастки, обеспечивающей организацию измерительных схем и регистрацию параметров функционирования жидкостных расходомеров. Ил. 6. Библиогр. 8 назв.

УДК 62–351 **Ключевые слова:** оксидированный титановый сплав, плоская золотниковая пара, ресурс, загрязнение гидравлики, абразивный износ

Д.А. Булатов, А.В. Ершов. Ресурсные ограничения гидравлических распределителей с плоским золотником из бронзового сплава в паре трения с оксидированным титановым сплавом//Морской вестник. 2025. № 2 (94). С. 36

Исследованы результаты ресурсных испытаний гидравлического распределителя с плоской золотниковой парой, в которой золотник выполнен из бронзового сплава, а ответная плоскость трения – из титанового сплава, оксидированного в графите. Результаты подтверждают целесообразность применения оксидированного титана в паре с бронзовыми сплавами. Ил. 7. Библиогр. 6 назв.

УДК 629.5 **Ключевые слова:** гребной вал, момент инерции, балка, консоль, частота, поперечные колебания, резонанс

А.А. Халаякин, Е.О. Логинова, В.Б. Симягина, Б.М. Саббах, Р.Ю. Друзенко. О влиянии момента инерции гребного вала на значение собственной частоты поперечных колебаний гребного вала//Морской вестник. 2025. № 2 (94). С. 39

Выполнено исследование поперечных колебаний балки с распределенными параметрами применительно к судовому валопроводу. Дана оценка влияния момента инерции вала на значение собственной частоты гребного вала. Отмечается, что алгоритм расчета на основании граничных условий сводится к системе однородных уравнений, которая характеризует исследуемую расчетную схему. Т. 1. Ил. 5. Библиогр. 13 назв.

УДК 621.512.3 **Ключевые слова:** прогнозирование, поршневого компрессора, вариационная модовая декомпозиция, рекуррентные

нейронные сети, долговременная память, конечная память

Р.Р. Хотский, А.В. Бураков, А.В. Макшанов, Л.Н. Тындыкар. Прогнозирование технического состояния поршневого компрессора на основе вариационной модовой декомпозиции и рекуррентной нейронной сети//Морской вестник. 2025. № 2 (94). С. 45

С целью прогнозирования технического состояния поршневого компрессора предлагается методика, основанная на вариационной модовой декомпозиции и рекуррентной нейронной сети архитектуры типа долговременной памяти с выборочным забыванием. Производительность предложенной методики оказалась на 50–70% выше, чем других методов, и она имеет достаточную точность прогнозирования технического состояния отечественных компрессоров, применяемых в судостроении. Т. 1. Ил. 6. Библиогр. 11 назв.

УДК 621.64 **Ключевые слова:** подводная лодка, кингстон, цистерна главного балласта, система погружения и всплытия, коэффициент расхода и т.д.

Д.Л. Аверьянов, А.В. Сихимбаев. Экспериментальное определение расходных характеристик кингстона двухпозиционного//Морской вестник. 2025. № 2 (94). С. 50

Предложено решение актуальной проблемы подводного кораблестроения – экспериментальное определение фактического коэффициента расхода кингстона двухпозиционного, который применяется в системе погружения и всплытия подводной лодки (ПЛ). Расчетное время заполнения цистерн главного балласта, полученное с использованием фактического коэффициента расхода двухпозиционного кингстона, было подтверждено при испытаниях ПЛ. Т. 1. Ил. 5. Библиогр. 4 назв.

УДК 629.5.03 **Ключевые слова:** износ, смазочное масло, судовый дизель, скорость изнашивания, техническое состояние, спектральный анализ, концентрация металлов

А. Саламех, А.А. Халаякин, Е.М. Хуссам, Ю.И. Матвеев. Исследование технического состояния судового дизеля по анализу масла//Морской вестник. 2025. № 2 (94). С. 52

Рассмотрена задача определения технического состояния судового дизеля по анализу используемого смазочного масла, которая позволит принимать решение о необходимости проведения технического обслуживания и ремонта дизеля. Т. 2. Ил. 7. Библиогр. 6 назв.

УДК 620.9 **Ключевые слова:** электроснабжение, источник электроэнергии, автономный объект, дизель-генераторная установка, аккумуляторная батарея, преобразователь напряжения, полевой кабель, мобильное средство доставки оборудования, автоматизация, роботизация, эффективность

В.В. Камлюк, И.О. Прутчиков, А.В. Подгорный, И.В. Гречушкин. Повышение эффективности дистанционного электроснабжения потребителей электроэнергии, удаленных от ее источников//Морской вестник. 2025. № 2 (94). С. 56

Проведен анализ известных способов дистанционного электроснабжения потребителей электроэнергии, удаленных от ее источников, и на его основе предложен новый способ электроснабжения, который позволяет повысить ее надежность, расширить функциональные возможности и область применения способа за счет оперативной подачи потребителям электроэнергии требуемого вида. Ил. 1. Библиогр. 13 назв.

УДК 629.12 **Ключевые слова:** дейдвудное устройство, дейдвудный подшипник, ласточкин хвост, гребной вал, валопровод, фрезерование, фреза, электрошпindel, ремонт

А.А. Халаякин, В.В. Бондаренко, В.В. Куц, Ю.И. Мат-

веев. Технология ремонта дейдвудных подшипников валопроводов судов//Морской вестник. 2025. № 2 (94). С. 59

Рассмотрен ремонт дейдвудных подшипников, который представляет собой корпус с расположенными внутри – в пазах типа «ласточкин хвост» – вкладышами из антифрикционного материала. Указано, что выбор материалов для изготовления корпуса и вкладышей зависит от условий эксплуатации самого судна. Представлена и описана новая технология ремонта корпуса дейдвудного подшипника путем проведения технологической операции в виде фрезерования пазов типа «ласточкин хвост» на металлорежущих станках в соответствии с нормативной и регламентирующей документацией. Т. 1. Ил. 7. Библиогр. 19 назв.

УДК 62–112.4 **Ключевые слова:** подводная лодка, блоки секционных распределителей, система дистанционного управления арматурой, дистанционно-управляемые клапаны, снижение трудоемкости, оптимизация размещения

В.Ш. Вахитов, Е.В. Сальников. Применение блоков секционных распределителей в системах дистанционного управления арматурой на подводной лодке//Морской вестник. 2025. № 2 (94). С. 63

Предложено решение актуальных проблем подводного кораблестроения – снижения трудоемкости монтажных работ, сокращения сборки и проверки работоспособности системы дистанционного управления арматурой, а также оптимизации размещения оборудования за счет уменьшения его массогабаритных характеристик при применении блоков секционных распределителей. Т. 1. Ил. 3. Библиогр. 1 назв.

УДК 62–97/–98 **Ключевые слова:** Рудольф Дизель, совершенный цикл, идеальный двигатель, термодинамика, второй закон термодинамики

Д.И. Дымов, Д.О. Глазырина, Е.Н. Алексин. Термодинамический анализ совершенного цикла Р.Дизеля//Морской вестник. 2025. № 2 (94). С. 65

Проанализированы концепция совершенного цикла, предложенная Рудольфом Дизелем, и его влияние на развитие двигателей внутреннего сгорания, попытки реализовать цикл Карно и препятствия, с которыми он столкнулся на пути к цели. Рассмотрена история создания цикла, его соответствие законам термодинамики и попытки Дизеля создать «идеальный двигатель» – двигатель с тремя цилиндрами. Приведен критический анализ ограничений, связанных с термодинамическими законами. Библиогр. 6 назв.

УДК 623.624.2 **Ключевые слова:** оптико-электронное средство (ОЭС), телевизионная камера, тепловизор, визуальный ориентир

Л.С. Хабаров, А.П. Ларин. Исследование, разработка и применение оптико-электронного средства в целях наблюдения, слежения и сопровождения объекта//Морской вестник. 2025. № 2 (94). С. 67

Описаны цели разработки ОЭС и проведен анализ его применения. Приведены технические подробности реализации ОЭС и его структура. Т. 2. Ил. 1. Библиогр. 3 назв.

УДК 629.052.7/531.383 **Ключевые слова:** безэкипажная надводная платформа, инерциальный измерительный модуль, инерциальная навигационная система, комплексирование данных, фильтр Калмана, МЭМС-технологии

М.А. Еремеев. Инерциальные измерительные модули на малогабаритных безэкипажных катерах: современные решения и перспективы//Морской вестник. 2025. № 2 (94). С. 71

Инерциальные измерительные модули – критически важный компонент навигационных систем современных малогабаритных безэкипажных катеров. Благодаря развитию МЭМС-технологий и алгоритмов обработки данных, эти устройства становятся компактнее, точнее и энергоэффективнее, что открывает новые возможности для автономной навигации в морской среде. Т. 2. Ил. 1. Библиогр. 6 назв.

УДК 621.391 **Ключевые слова:** многоантенные системы, технологии ММО, пропускная способность, каналы с замираниями, интерференционные помехи

С.А. Якушенко, А.А. Ларионов, С.В. Дворников, А.А. Маслова. Пропускная способность радиолиний

с многоантенными системами в условиях замираний//Морской вестник. 2025. № 2 (94). С. 74

Представлены результаты исследования пропускной способности многоантенных систем, реализующих технологии ММО в условиях глубоких замираний. Рассмотрены базовые способы реализации многоантенных систем. Приведены расчетные значения результатов моделирования, характеризующие зависимость снижения скорости передачи информации от уровня интерференционных помех в радиолинии. Т. 2. Ил. 1. Библиогр. 22 назв.

УДК 621.396.61 **Ключевые слова:** радиосвязь, усилитель мощности, сложение мощностей, мостовое устройство

П.И. Хибенков, П.В. Прошин. Особенности построения широкополосных передающих антенно-аппаратурных комплексов повышенной мощности на базе унифицированных 5-киловаттных модулей//Морской вестник. 2025. № 2 (94). С. 78

Рассмотрены особенности построения широкополосных передающих антенно-аппаратурных комплексов повышенной мощности, использующих принцип сложения унифицированных 5-киловаттных усилительных модулей. Ил. 1.

УДК 621.391.01 **Ключевые слова:** двухкомпонентный случайный процесс, двумерная характеристическая функция, плотность распределения вероятностей, автокорреляция парциальных компонент, смешанные моменты

Е.К. Самаров. Двумерная плотность распределения вероятностей двухкомпонентного случайного процесса с учетом автокорреляции парциальных компонент//Морской вестник. 2025. № 2 (94). С. 79

Рассмотрена задача определения двумерной плотности распределения вероятностей двухкомпонентного случайного процесса, обрабатываемого в корабельных радиолокационных системах (РЛС) и средствах автоматической радиолокационной прокладки (САРП), с учетом автокорреляции парциальных компонент. Выполнен расчет смешанных моментов. Показано, что полученные соотношения обобщают известные результаты и позволяют определять энергетические характеристики радиосистем без использования формальных операций, связанных с наличием белого гауссовского шума. Библиогр. 10 назв.

УДК 621.371.3 **Ключевые слова:** гидроакустический канал, модем высокоскоростной гидроакустической связи, модуляция, вероятность битовой ошибки (BER)

А.В. Драников, С.Г. Козьмин, А.В. Исаев. Техническая реализация модема высокоскоростной гидроакустической связи//Морской вестник. 2025. № 2 (94). С. 81

Оботзначены проблемы организации подводной гидроакустической связи при проведении глубоководных работ различной сложности. Опытный образец модема успешно прошел натурные испытания и был представлен на форуме «Армия–2024». Ил. 6. Библиогр. 5 назв.

УДК 621.372.2 **Ключевые слова:** оптическая мощность, передатчик, скрытность передачи сообщений, атмосфера, рассеивающая среда, оптические системы связи, техническая разведка

А.А. Катанович, К.В. Гольдибаев, В.А. Цыванюк. Метод передачи сообщений по атмосферным оптическим линиям связи//Морской вестник. 2025. № 2 (94). С. 87

Предложен метод оптической связи для передачи сообщений через атмосферу, содержащую рассеивающее оптическое излучение образований, например, таких, как туман, дымка, дождь, снегопад, облака и пр., который повышает их скрытность, а именно затрудняет перехват, обнаружение местоположения оптического передатчика и факт передачи. Ил. 2. Библиогр. 4 назв.

УДК 621.376.6 **Ключевые слова:** речевой сигнал, шумоподавление, узкополосная помеха, спектральное вычитание, детектор речевой активности

Ю.Т. Загидуллин, А.С. Свояков. Алгоритм автоматического шумоподавления для цифровой системы передачи речи//Морской вестник. 2025. № 2 (94). С. 91

Приведен алгоритм подавления шума и узкополосных помех, основанный на принципе спектрального вычитания в системах детектирования речевой активности. Представлены результаты моделирования алгоритма при различных условиях в канале передачи речи. Ил. 8. Библиогр. 7 назв.

УДК 621.391 **Ключевые слова:** частотная расстройка, взаимные помехи, линии спутниковой связи VSAT, вероятность ошибки в канале

И.М. Жданова, С.С. Дворников, С.В. Дворников. Оценка влияния частотной расстройки помех на качество связи в линиях спутниковой связи VSAT//Морской вестник. 2025. № 2 (94). С. 94

Представлены результаты анализа влияния взаимных помех на линиях спутниковой связи, организованных с использованием VSAT, от величины их частотной расстройки. Т. 1. Ил. 2. Библиогр. 19 назв.

УДК 004.056 **Ключевые слова:** локальная вычислительная сеть корабля, синхронизация времени, расхождение шкал времени, вариации задержки, симметрия и асимметрия канала, фильтр Калмана

К.В. Лапшин, Т.М. Татарникова, Ю.А. Ямщиков. Обеспечение синхронизации времени в локальной вычислительной сети корабля//Морской вестник. 2025. № 2 (94). С. 97

Показано, что для решения задач навигации и освещения обстановки корабля оснащаются многофункциональными образцами радиоэлектронного вооружения, которые объединены в единую локальную вычислительную сеть. Работа узлов корабельной сети должна быть синхронизирована во времени, поскольку для решения задач в реальном времени требуются непротиворечивые и актуальные данные. Ил. 6. Библиогр. 13 назв.

УДК 621.396 **Ключевые слова:** плотность распределения вероятностей, пуассоновское распределение, комплексная система обработки информации

Е.К. Самаров. Квазиоптимальный алгоритм обнаружения импульсов в радиолокационных корабельных радиосистемах в классе загрязненных пуассоновских распределений//Морской вестник. 2025. № 2 (94). С. 102

Проанализирован квазиоптимальный алгоритм обнаружения импульсов в классе загрязненных пуассоновских распределений при произвольном алгоритме формирования сигнальной и контрольной выборок. Рассмотрена обобщенная модель фоновых совпадений в данном классе распределений. Приведены формулы для вычисления параметров указанных распределений по выборочным оценкам начальных моментов фоновых совпадений. Библиогр. 5 назв.

УДК 534.26 **Ключевые слова:** гидролокация, импульсный сигнал, модель подводного аппарата, преобразование Фурье, численный метод

С.Л. Ильменков. Математическая модель рассеяния гидролокационного сигнала корпусом подводного аппарата//Морской вестник. 2025. № 2 (94). С. 104

Разработана математическая модель отражения акустических импульсов от упругих тел сложной формы, аппроксимирующих корпус подводного аппарата. Ил. 4. Библиогр. 11 назв.

УДК 614.843 **Ключевые слова:** корабельная система пожарной сигнализации, противопожарная ситуация, пожароопасное состояние, противопожарная защита, метод анализа иерархий

В.Н. Грачев, А.В. Алексеев, Н.С. Давыдов. Совершенствование корабельной пожарной сигнализации: методика отбора и ранжирования дополнительных информативных параметров для раннего обнаружения возгорания//Морской вестник. 2025. № 2 (94). С. 107

Рассмотрена методика идентификации и ранжирования наиболее значимых информационных показателей пожарной ситуации на основе метода анализа иерархий (МАИ). Т. 7. Ил. 3. Библиогр. 3 назв.

УДК 623.8/9 **Ключевые слова:** ракетный корабль, управляемое ракетное оружие корабельного базирования, противокорабельная ракета, ВМФ, самолет-снаряд

Д.Ю. Литинский. Первые советские противокорабельные ракеты и ракетные корабли. Часть 1//Морской вестник. 2025. № 2 (94). С. 116

Изложена история создания в СССР первых надводных ракетных кораблей – носителей противокорабельных ракет. Особое внимание уделено взглядам отечественных военно-морских специалистов и руководства государства в конце 40-х – 50-х гг. на необходимость оснащения ВМС ракетным оружием, актуальность «экстренной ракетизации». Ил. 12.

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 621.82 **Keywords:** JSC CRIME, marine engineering, cargo transfer device, arresting gear, manipulator device

Yu. A. Lebedev. Central Research Institute of Marine Engineering – 55 Years of Serving the Russian Navy//Morskoy Vestnik. 2025. No. 2 (94). P. 6

The article shows the activities of the Central Research and Design Institute of Marine Engineering over 55 years since its establishment. Today, JSC CRIME is a leading research and engineering center of the mechanical engineering cluster of the Russian shipbuilding industry for the creation of marine machines and mechanisms, devices and complexes of special equipment. The accumulated many years of experience in research and development work, as well as the established scientific and engineering school, make it possible to create and master the production of modern mechanisms at the level of the best world examples of marine equipment. Fig. 3. Bibliography 13 titles.

UDC 621.436:621.438 **Keywords:** Almaz CMDB, high-speed boats, propulsion system, import substitution, prospects

K. G. Golubev, V.V. Baranovsky, V.S. Domnin, A.V. Dovli-charova. The solution to the problem of import substitution of propulsion systems for high-speed vessels is the most important task of domestic shipbuilding in the short term//Morskoy Vestnik. 2025. No. 1 (93). P. 11

The necessity of the earliest possible creation of domestic propulsion systems for high-speed boats (small-size vessels) is shown. Confidence is expressed that the issue of state importance on conducting experimental work on the creation of domestic propulsion systems for use on small-size vessels of the required power range with the involvement of organizations with experience in this field of activity will be resolved in the very near future. T. 1. Fig. 4.

UDC 620:691 **Keywords:** psychological factor, design project, utility space, living space, ergonomics, labor psychology, color psychology, color scheme, ship environment, technical solution, stress, ergonomics, efficiency

P.A. Zubkov, O.V. Zakharova. Psychological aspects of developing complex technical solutions in the field of design projects for utility and living spaces of prospective Navy ships//Morskoy Vestnik. 2025. No. 2 (94). P. 15

The article considers psychological factors that influence the process of developing and implementing complex technical solutions in the field of designing utility and living spaces of prospective Navy ships. T. 4. Fig. 8. Bibliography 6 titles.

UDC 658.58 **Keywords:** JSC SPO Arktika, workshop No. 8, electrical equipment repair, technical base, diagnostics, restoration work

V.N. Tarasov. NPA Arktika: specifics of repair and maintenance of technical condition of electrical equipment//Morskoy Vestnik. 2025. No. 2 (94). P. 25

Information is given on the capabilities of workshop No. 8 of NPA Arktika to perform diagnostic, repair and restoration work, as well as testing a wide range of various types of marine electrical equipment. Fig. 3.

UDC 658.5 **Keywords:** shipbuilding, process automation, production system, labor intensity

M.D. Movchanova, A.A. Konoplev, A.V. Rovdo, A.B. Fomichev. Analysis of non-production losses when working with software//Morskoy Vestnik. 2025. No. 2 (94). P. 28

Non-production losses during the construction of an order are considered. The data obtained during the production experiment made it possible to identify the shortcomings of the work in the software interfaced between the design bureau and the plant, which is used today. The findings of the study are of practical importance for optimizing the production system of shipbuilding plants in the country. T. 2. Bibliography 4 titles.

UDC 593.3 **Keywords:** porthole, glass element, clamps, compression washer, auxiliary conical element

V.P. Lyansberg, N.M. Vikhrov. Determination of parameters of a porthole clamp with a glass element in the form of a disk//Morskoy Vestnik. 2025. No. 2 (94). P. 31

High-pressure portholes with compression washers are considered. Based on the experiments performed, it is proposed to divide these portholes into three groups. Fig. 6. Bibliography 4 titles.

UDC 681.2.08, 629.5.054.03, 629.5.058.4 **Keywords:** flow meter, marine operating conditions, research rig, experimental quality assessment

A.E. Vasil'ev, R.R. Kasimov, V.D. Kovalev, D.E. Kungurtsev, S.A. Tokarenko. Rig equipment for assessing the characteristics of liquid flow measurement systems//Morskoy Vestnik. 2025. No. 2 (94). P. 34

The article considers approaches to the development of the architecture of technological equipment that ensures the organization of measuring circuits and recording the operating parameters of liquid flow meters. Fig. 6. Bibliography 8 titles.

UDC 62–351 **Keywords:** oxidized titanium alloy, flat spool pair, service life, hydraulic contamination, abrasive wear.

D.A. Bulatov, A.V. Ershov. Service life limitations of hydraulic distributors with a flat spool made of bronze alloy in a friction pair with an oxidized titanium alloy//Morskoy Vestnik. 2025. No. 2 (94). P. 36

The article examines the service life test results of a hydraulic distributor with a flat spool pair, in which the spool is made of bronze alloy and the mating friction plane is made of titanium alloy oxidized in graphite. The results confirm the inappropriateness of using oxidized titanium in a pair with bronze alloys in highly loaded units of hydraulic equipment to ensure significant service life. Fig. 7. Bibliography 6 titles.

UDC 629.5 **Keywords:** propeller shaft, moment of inertia, beam, console, frequency, transverse oscillations, resonance

A.A. Khalyavkin, E.O. Loginova, V.B. Simagina, B.M. Sabakh, R.Yu. Druzenko. On the influence of the moment of inertia of the propeller on the value of the natural frequency of transverse oscillations of the propeller shaft//Morskoy Vestnik. 2025. No. 2 (94). P. 39

A study of transverse oscillations of a beam with distributed parameters is carried out in relation to a ship's propeller line. An assessment is made of the influence of the moment of inertia of the propeller on the value of the natural frequency of the propeller shaft. Calculation schemes in the form of a cantilever beam of length L are considered. An algorithm for calculating transverse oscillations with distributed parameters based on the initial parameter method is presented. It is noted that the calculation algorithm based on boundary conditions is reduced to a system of homogeneous equations, which

characterizes the studied calculation scheme. T. 1. Fig. 6. Bibliography 13 titles.

UDC 621.512.3 **Keywords:** forecasting, piston compressor, variational mode decomposition, recurrent neural networks, long-term memory, finite memory

R.R. Khotskiy, A.V. Burakov, A.V. Makshanov, L.N. Tyn-dykar'. Forecasting the technical condition of a piston compressor based on variational mode decomposition and a recurrent neural network//Morskoy Vestnik. 2025. No. 2 (94). P. 45

In order to forecast the technical condition of a piston compressor, a technique is proposed based on variational mode decomposition and a recurrent neural network of the long-term memory architecture with selective forgetting. The productivity of the proposed method turned out to be 50–70% higher than other methods, and it has sufficient accuracy in predicting the technical condition of domestic compressors used in shipbuilding. T. 1. Fig. 6. Bibliography 11 titles.

UDC 621.64 **Keywords:** submarine, kingston, main ballast tank, diving and surfacing system, flow rate coefficient, etc.

D.L. Aver'yanov, A.V. Sikhimbayev. Experimental determination of the flow characteristics of a two-position kingston//Morskoy Vestnik. 2025. No. 2 (94). P. 50

This paper proposes ways to solve actual problem of underwater shipping – experimental determination of the actual flow rate of two-position kingston used in submarine's diving and surfacing system. The estimated time for filling the man ballast tanks obtained using the actual flow rate of two-position kingston was confirmed during submarine testing. T. 1. Fig. 5. Bibliography 4 titles.

UDC 629.5.03 **Keywords:** wear, lubricating oil, marine diesel engine, wear rate, technical condition, spectral analysis, metal concentration

A. Salameh, A.A. Khalyavkin, E.M. Khussam, Yu.I. Matveyev. Study of the technical condition of a marine diesel engine based on oil analysis//Morskoy Vestnik. 2025. No. 2 (94). P. 52

The article considers the problem of determining the technical condition of a marine diesel engine by analyzing the lubricating oil used, which will allow making a decision on the need for maintenance and repair of the diesel engine. T. 2. Fig. 7. Bibliography 6 titles.

UDC 620.9 **Keywords:** power supply, power source, autonomous facility, diesel generator set, storage battery, voltage converter, field cable, mobile equipment delivery vehicle, automation, robotics, efficiency

V.V. Kamlyuk, I.O. Prutchnikov, A.V. Podgorniy, I.V. Grechushkin. Improving the efficiency of remote power supply to consumers of electricity located far from its sources//Morskoy Vestnik. 2025. No. 2 (94). P. 56

The article analyzes the known methods of remote power supply to consumers of electricity located far from its sources, and, based on this analysis, proposes a new power supply method that improves its reliability, expands the functionality and scope of application of the method due to the prompt supply of electricity of the required type to consumers, for example, DC and/or AC voltage, quality, automation and robotics of the process. Fig. 1. Bibliography 13 titles.

- UDC 629.12 **Keywords:** stern tube device, stern tube bearing, dovetail, propeller shaft, shaft line, milling, cutter, electric spindle, repair
A.A. Khalyavkin, V.V. Bondarenko, V.V. Kuts, Yu.I. Matveyev. Technology of repair of stern tube bearings of ship shaft lines//Morskoy Vestnik. 2025. No. 2 (94). P. 59
 The article considers the repair of stern tube bearings, which are a hull with liners made of antifriction material located inside – in dovetail grooves. It is indicated that the choice of materials for the manufacture of the hull and liners depends on the operating conditions of the vessel itself. A new technology for repairing the stern tube bearing housing by performing a technological operation in the form of milling dovetail grooves on metal-cutting machines in accordance with normative and regulatory documentation is presented and described. T. 1. Fig. 7. Bibliography 19 titles.
- UDC 62 – 112.4 **Keywords:** submarine, sectional distributor blocks, remote control system for valves, remote controlled valves, reduction of labor intensity, placement optimization
V.Sh. Vakhitov, E.V. Sa'nikov. Application of sectional distributor blocks in remote control systems for valves on a submarine//Morskoy Vestnik. 2025. No. 2 (94). P. 63
 The article proposes a solution to a pressing problem in shipbuilding – reducing the labor intensity of installation work, reducing the assembly time and testing the functionality of the remote control valve system, as well as optimizing the placement of equipment by reducing its weight and size characteristics when using sectional distributor blocks that provide for the relocation of remotely controlled valves on submarines. T. 1. Fig. 3. Bibliography 1 title.
- UDC 62 – 97/-98 **Keywords:** Rudolf Diesel, perfect cycle, ideal engine, thermodynamics, second law of thermodynamics
D.I. Dymov, D.O. Glazyrina, E.N. Aleksin. Thermodynamic analysis of R. Diesel's perfect cycle //Morskoy Vestnik. 2025. No. 2 (94). P. 65
 The concept of the perfect cycle proposed by Rudolf Diesel and its influence on the development of internal combustion engines are analyzed. His attempts to implement the Carnot cycle and the obstacles he encountered on the way to the goal. The history of the cycle's creation, its compliance with the laws of thermodynamics and Diesel's attempts to create an "ideal engine" – an engine with three cylinders are considered. A critical analysis of the limitations associated with thermodynamic laws is carried out. Bibliography 6 titles.
- UDC 623.624.2 **Keywords:** optical-electronic means (OEM), television camera, thermal imager, visual reference
L.S. Khabarov, A.P. Larin. Research, development and application of optical-electronic means for the purposes of observation, tracking and tracking of an object//Morskoy Vestnik. 2025. No. 2 (94). P. 67
 The objectives of the OEM development are described and an analysis of its application is carried out. Technical details of the OEM implementation and its structure are provided. T. 2. Fig. 1. Bibliography 3 titles.
- UDC 629.052.7/531.383 **Keywords:** unmanned surface platforms, inertial measurement unit, inertial navigation system, data integration, Kalman filter, MEMS technologies
M.A. Eremeev. Inertial measurement units on small-sized unmanned boats: modern solutions and prospects//Morskoy Vestnik. 2025. No. 2 (94). P. 71
 Inertial measurement units are a critical component of the navigation systems of modern small-sized unmanned boats. Thanks to the development of MEMS technologies and data processing algorithms, these devices are becoming more compact, more accurate and energy efficient, which opens up new possibilities for autonomous navigation in the marine environment. T. 2. Fig. 1. Bibliography 6 titles.
- UDC 621.391 **Keywords:** multi-antenna systems, MIMO technologies, throughput, channels with fading, interference noise
S.A. Yakushenko, A.A. Larionov, S.V. Dvornikov, A.A. Maslova. Capacity of radio links with multi-antenna systems in fading conditions//Morskoy Vestnik. 2025. No. 2 (94). P. 74
 The article presents the results of the study of the throughput of multi-antenna systems implementing MIMO technologies under conditions of deep fading. The basic methods of implementing multi-antenna systems are considered. The calculated values of the modeling results are given, characterizing the dependence of the reduction in the information transfer rate on the level of interference noise in the radio link. T. 2. Fig. 1. Bibliography 22 titles.
- UDC 621.396.61 **Keywords:** radio communication, power amplifier, power combining, bridge devices
P.I. Khibenkov, P.V. Proshin. Features of the construction of broadband transmitting antenna-equipment complexes of increased power based on unified 5-kilowatt modules //Morskoy Vestnik. 2025. No. 2 (94). P. 78
 The article considers the features of the construction of broadband transmitting antenna-equipment complexes of increased power using the principle of combining unified 5-kilowatt amplifier modules. Fig. 1.
- UDC 621.391.01 **Keywords:** two-component random process, two-dimensional characteristic function, probability distribution density, autocorrelation of partial components, mixed moments
E.K. Samarov. Two-dimensional probability distribution density of a two-component random process taking into account the autocorrelation of partial components//Morskoy Vestnik. 2025. No. 2 (94). P. 79
 The problem of determining the two-dimensional probability distribution density of a two-component random process processed in shipboard radar systems (radars) and automatic radar laying facilities (SARPs), taking into account the autocorrelation of partial components, is considered. Bibliography 10 titles.
- UDC 621.371.3 **Keywords:** hydroacoustic channel, high-speed hydroacoustic communication modem, modulation, bit error rate (BER)
A.V. Drannikov, S.G. Koz'min, A.V. Isaev. Technical implementation of a high-speed hydroacoustic communication modem//Morskoy Vestnik. 2025. No. 2 (94). P. 81
 The problems of organizing underwater hydroacoustic communication during deep-sea operations of varying complexity are considered. The results of the development of a high-speed hydroacoustic communication modem are presented. The prototype of the modem successfully passed full-scale tests and was presented at the «Army 2024» forum. Fig. 6. Bibliography 5 titles.
- UDC 621.372.2 **Keywords:** optical power, transmitter, message transmission secrecy, atmosphere, scattering medium, optical communication systems, technical intelligence
A.A. Katanovich, K.V. Gol'dibaev, V.A. Tsyvanyuk. Method of message transmission via atmospheric optical communication lines//Morskoy Vestnik. 2025. No. 2 (94). P. 87
 An optical communication method is proposed for transmitting messages through an atmosphere containing optical radiation scattering formations, for example, fogs, haze, rain, snowfall, clouds, etc., which increases the secrecy of message transmission, namely, makes it difficult to intercept them, detect the location of the optical transmitter and the fact of message transmission. Fig. 2. Bibliography 4 titles.
- UDC 621.376.6 **Keywords:** voice signal, noise reduction, narrowband interference, spectral subtraction, voice active detector
Yu.T. Zagidullin, A.S. Svoayakov. The adaptive noise reduction algorithm for digital voice communication system//Morskoy Vestnik. 2025. No. 2 (94). P. 91
 The automatic algorithm of noise and narrowband interference reduction is presented. It is based in spectral subtraction principle, used in voice active detection systems. The results of algorithm simulation under different noise conditions are shown. Fig. 8. Bibliography, 7 titles.
- UDC 621.391 **Keywords:** frequency detuning, mutual interference, VSAT satellite communication lines, channel error probability
I.M. Zhdanova, S.S. Dvornikov, S.V. Dvornikov. Evaluation of the impact of frequency detuning of interference on the quality of communication in VSAT satellite communication lines//Morskoy Vestnik. 2025. No. 2 (94). P. 94
 The article presents the results of the analysis of the impact of mutual interference on satellite communication lines organized using VSAT on the value of their frequency detuning. The article presents graphs of the dependence of the bit error probability in the 8-PSK signal reception channel on the interference attenuation coefficient caused by its frequency detuning and on the SNR value in the channel. T. 1. Fig. 2. Bibliography 19 titles.
- UDC 004.056 **Keywords:** ship local area network, time synchronization, time scale divergence, delay variations, channel symmetry and asymmetry, Kalman filter
K.V. Lapshin, T.M. Tatarnikova, Yu.A. Yamshchikov. Ensuring time synchronization in the ship's local computing network//Morskoy Vestnik. 2025. No. 2 (94). P. 97
 It is shown that in order to solve navigation and situational awareness problems, ships are equipped with multifunctional electronic weapons that are combined into a single local area network. The operation of the ship's network nodes must be synchronized in time, since consistent and up-to-date data are required to solve problems in real time. The results of a full-scale experiment are presented. Fig. 6. Bibliography 13 titles.
- UDC 621.396 **Keywords:** probability density function, Poisson distribution, integrated information processing system
E.K. Samarov. A quasi-optimal algorithm for detecting pulses in shipborne radar radio systems in the class of polluted Poisson distributions//Morskoy Vestnik. 2025. No. 2 (94). P. 102
 A quasi-optimal algorithm for pulse detection in the class of contaminated Poisson distributions is analyzed for an arbitrary algorithm for generating signal and control samples. A generalized model of background coincidences in this class of distributions is considered. Formulas are given for calculating the parameters of these distributions based on sample estimates of the initial moments of background coincidences. Bibliography 5 titles.
- UDC 534.26 **Keywords:** sonar, pulse signal, underwater vehicle model, Fourier transform, numerical methods
S.L. Il'menkov. Mathematical model of sonar signal scattering by the underwater vehicle hull//Morskoy Vestnik. 2025. No. 2 (94). P. 104
 A mathematical model of acoustic pulse reflection from elastic bodies of complex shape approximating the underwater vehicle hull has been developed. Fig. 4. Bibliography 11 titles.
- UDC 614.843 **Keywords:** ship fire alarm system, pre-fire situation, fire hazardous condition, fire protection, hierarchy analysis method
V.N. Grachev, A.V. Alekseev, N.S. Davydov. Improving ship fire alarm: methodology for selecting and ranking additional informative parameters for early fire detection //Morskoy Vestnik. 2025. No. 2 (94). P. 107
 The article considers the methodology for identifying and ranking the most significant information indicators of a fire hazardous situation based on the hierarchy analysis method (HAM). T. 7. Fig. 3. Bibliography 3 titles.
- UDC 623.8/9 **Keywords:** missile ship, ship-based guided missile weapon, anti-ship missile, Navy, flying projectile
D.Yu. Litinsky. The First Soviet Anti-Ship Missiles and Missile Ships. Part 1//Morskoy Vestnik. 2025. No. 2 (94). P. 116
 The article examines the history of the creation of the first surface missile ships in the USSR – carriers of anti-ship missiles. Particular attention is paid to the views of domestic naval specialists and the state leadership in the late 1940s – 1950s on the need to equip the Navy with missile weapons and the relevance of «emergency missileization». The work of TSNIIVK specialists to determine the technical feasibility and expediency of re-equipping artillery cruisers with anti-ship aircraft-missiles is shown. They confirmed the fundamental possibility of such re-equipment, but expressed a negative opinion about its effectiveness. Fig. 12.