

Морской



Вестник

№2(86)

И Ю Н Ъ

2 0 2 3

ISSN 1812-3694

Morskoy Vestnik

ЭГО  ХОЛДИНГ



АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ
ЗАВОД «ВОЛНА»

ПРОИЗВОДСТВО

РАЗРАБОТКА

**90
ЛЕТ**

СЕРВИСНОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ

ВООРУЖЕНИЯ И ВОЕННОЙ ТЕХНИКИ

Санкт-Петербург, ул. Маршала Говорова, 29 лит. Н

Тел: +7 (812) 448-69-60

VOLNASPB.RU

Фольклорный вариант цитаты одного из основоположников современной российской науки М. В. Ломоносова гласит: «Народ, не знающий своего прошлого, не имеет будущего». Сегодня в рамках одной из новейших научных дисциплин – менеджмента – рассматриваются стадии жизненного цикла организации, которые в основных чертах соответствуют этапам жизни любого человека. Поэтому и для организации важно помнить исторические вехи своего развития.

В 2023 г. исполняется 140 лет со дня основания одного из ведущих предприятий морского приборостроения оборонно-промышленного комплекса нашей страны – «Научно-производственной фирмы «Меридиан». История предприятия, равно как и множества других, начиналась весьма скромно. Однако, несмотря на всю череду выпавших трудностей и обширных преобразований, центральная площадка предприятия и по сей день располагается в историческом здании в центральной части Санкт-Петербурга. Именно здесь, в доме № 19 по улице Блохина (ранее – Церковная улица), был размещен «Механический завод Г. М. Пекъ», который в 1883 г. Георгий Мартынович Пек основал как небольшую слесарно-механическую мастерскую.

Номенклатура изделий, выпускаемых заводом Г. М. Пека, была весьма разнообразной: производились токарные и сверловочные станки, режущий и мерительный инструмент, электродвигатели, реостаты, оптические приборы, детали автомобилей, сельскохозяйственный инвентарь. Продукцию механического завода Г. М. Пека – инструмента, выполненного из рус-



Г. М. Пек, основатель завода, ставшего предтечей современного АО «НПФ «Меридиан», с женой и дочерью (фото около 1893 г.)

140 ЛЕТ В МОРСКОМ ПРИБОРОСТРОЕНИИ К ЮБИЛЕЮ АКЦИОНЕРНОГО ОБЩЕСТВА «НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ФИРМА «МЕРИДИАН»

*А. А. Копанев, д-р техн. наук, проф., ген. директор АО «НПФ «Меридиан»,
контакт. тел. (812) 232 3975*



*А. А. Копанев, ген. директор
АО «НПФ «Меридиан»*

ской стали, отличало высочайшее качество и было отмечено медалями на всероссийских технических выставках. Архивные документы также красноречиво свидетельствуют, что на предприятии работали высококвалифицированные рабочие.

Постепенно основным заказчиком Г. М. Пека становится Морское ведомство Российской империи. Оснащенность современным станочным парком, наличие квалифицированных рабочих, дисциплина труда и традиционная связь завода с Морским ведомством позволили использовать завод как базу для проверки и реализации изобретений по заказу научно-технической лаборатории Электротехнического института. Из архивных справок следует, что некоторые свои изобретения воплощал «в металле» видный отечественный судостроитель А. Н. Крылов, который жил по соседству, на Зверинской улице, в доме № 6. Незадолго до начала Первой мировой войны завод Г. М. Пека выполнял крупные заказы на поставку различной электроарматуры, приборов и принадлежностей для строящихся на российских верфях кораблей «Павел I», «Бородино», «Адмирал Макаров».

Новый виток в истории предприятия связан с известным советским изобретателем Владимиром Ивановичем Бекаури, создателем, руководи-

телем и вдохновителем Экспериментальной мастерской научных изобретений (ЭКСМАНИ). Это происходило в условиях разрухи, когда фабрики и заводы Петрограда начали оживать. В городе, несмотря на небывало высокий уровень безработицы, не хватало квалифицированных рабочих. Тогда Бекаури привлекает к восстановлению предприятия бывшего заводского мастера А. И. Вильде, поручая ему найти старых механиков и станочников. Опытный мастер с этой задачей справляется.

В 1921 г. В. И. Ленин выдает мандат, действуя по которому, В. И. Бекаури организует «Остехбюро». Под эгидой этой новой организации бывший завод Г. М. Пека в 1923 г. продолжает свои работы экспериментально-изобретательского характера уже в новом ключе начала советской эпохи. Начинает постепенно создаваться поколение рабочих и управленцев нового времени – времени трудового революционного энтузиазма. В 1924 г. по решению общего собрания рабочих 31 марта бывшему предприятию Г. М. Пека присвоено новое официальное наименование – «Красный изобретатель». Прежние неофициальные названия – «Бывший Пека», «Экспериментальная мастерская», «Завод новейших изобретений» – становятся достоянием истории. Академическая стезя предприятия в 1933 г. ознаменовалась открытием школы фабрично-заводского ученичества (ФЗУ). В школе введено преподавание специальных предметов – прикладной математики, графики, основ технологического процесса. Благодаря этому, началась подготовка для «Остехбюро» технически грамотных кадров.

В сентябре 1939 г., после ряда реорганизаций, решением Экономического совета Совнаркома СССР предприятие передано в ведение Наркомата судостроения. С этого момента оно становится центральной производственной базой по разработке и изготовлению нетипового оборудования, монтажно-установочных изделий, электрической аппаратуры, пультов

Продолжение на стр. 94

Морской Вестник



№ 2 (86)

И Ю Н Ь

2 0 2 3

Morskoy Vestnik

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Редационный совет

Председатель

А.Л. Рахманов, генеральный директор
АО «Объединенная судостроительная корпорация»

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. Веселов, генеральный директор
АО «Адмиралтейские верфи»

Н.М. Вихров, генеральный директор

ЗАО «Канонерский судоремонтный завод»

В.Э. Гель, генеральный директор

АО «УК «Радиостандарт»

В.Ю. Дорофеев, генеральный директор

АО «СПМБМ «Малахит»

В.В. Дударенко, генеральный директор

ООО «Судпромкомплект»

М.В. Захаров, генеральный директор

ООО «Пумори-северо-запад»

С.Н. Ирютин, председатель

Санкт-Петербургского Морского Собрания

М.В. Исполов, директор

ЗАО «ЦНИИ СМ»

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

А.А. Копанев, генеральный директор

АО «НПФ «Меридиан»

Г.А. Коржавин, научный руководитель

АО «Концерн «Гранит-Электрон»

А.В. Кузнецов, председатель совета директоров

АО «Армалит»

Л.Г. Кузнецов, генеральный конструктор

АО «Компрессор»

Н.В. Кулык, генеральный директор

АО «НПО Завод «Волна»

И.Е. Маренич, генеральный директор

АО «Ситроникс КТ»

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

И.М. Мухутдинов, генеральный директор

ПАО «СФ «Алмаз»

О.А. Остапко, врио генерального директора

АО «Северное ПКБ»

А.А. Павлов, генеральный директор

АО «НТИ «Радиосвязь»

Д.А. Посадов, врио генерального директора

АО КБ «Вымпел»

Е.А. Рылов, генеральный директор АО «ПКБ «РИО»

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

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

И.С. Суховинский, директор ООО «ВИНЕТА»

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

С.Г. Филимонов, генеральный директор

АО «Концерн Морфлот»

К.Ю. Шилов, генеральный директор

АО «Концерн НПО «Аврора»

А.В. Шляхтенко, генеральный директор

АО «ЦМКБ «Алмаз»

И.В. Щербаков, генеральный директор

ООО ПКБ «Петробалт»

СОДЕРЖАНИЕ

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И КОНСТРУКЦИЯ СУДОВ

- П. Г. Тенишев, А. И. Гайкович, Ю. А. Чаиков, А. В. Архипов, Д. В. Курочкин, Г. Г. Никитина.** К концепции надводных кораблей ледового класса 7
- А. В. Шляхтенко, Б. А. Лейкис, А. Л. Ивченко.** От легендарного катера
МО-4 до арктического ледокола типа «Ермак» 15
- Р. Н. Караев.** Инженерно-технологическое обеспечение кабелеукладочных
работ. Часть 2 22
- К 80-летию Ш. Г. Алиева 25
- В. В. Волков.** Универсальные сухогрузы повышенной контейнерместимости 27
- На Средне-Невском судостроительном заводе спущен на воду корабль
противоминной обороны «Лев Чернавин» 29
- Д. В. Никущенко – 50 лет 31
- С. А. Манцеров, М. С. Аносов, Д. С. Итальянцев.** Диагностика структурной
поврежденности стали 09Г2С, полученной с использованием технологии WAAM
при малоцикловой усталости на основе нейро-нечеткой классификации 32
- А. В. Махшианов, В. А. Колесник, Д. В. Быков, Л. Н. Тындыкарь.** Алгоритмы
анализа виброакустических сигналов на основе моделей нестационарности
и нелинейности 38

ТЕХНОЛОГИЯ СУДОСТРОЕНИЯ, СУДОРЕМОНТА И ОРГАНИЗАЦИЯ СУДОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

- К. С. Рогозина.** Пути внедрения цифрового производства при изготовлении
трубопроводов на судостроительном предприятии 43
- С. Г. Черный, А. А. Зинченко, П. А. Ерофеев.** Профилактическое обслуживание
судовых механизмов с помощью технологии машинного обучения 6
- М. А. Баранов.** Изготовление полимерных композиционных материалов
для производства изделий методом пултрузии 49

СУДОВЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ И ИХ ЭЛЕМЕНТЫ

- О. О. Лебедев.** Сравнительный анализ методик расчета конденсаторов пара .. 55
- В. В. Камлюк, И. О. Прутчиков, И. В. Гречушкин.** Перспективы создания
и применения высокоэффективных энергоустановок гарантированного
электропитания автономных объектов 57
- А. Н. Дядик, А. В. Юшков.** Система преобразования и коммутации
электроэнергии в воздухонезависимой энергетической установке
с электрохимическим генератором 60
- Л. Г. Кузнецов, А. В. Бураков, Д. А. Грибанов, Р. Р. Хотский.** Методика
расчета трудоемкости разработки судовых компрессорных станций с использо-
ванием аналога на основе ранжирования технических характеристик 65
- А. З. Багерман.** Оценка выносливости жаропрочных сплавов на основе никеля
при переменных режимах работы и параметрах малоцикловой усталости 68



ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ ПРИБОРОСТРОЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ

- Н. В. Кулык.** С первых шагов к достижениям настоящих дней. К 90-летию Научно-производственного объединения «Завод «Волна» 70
- П. В. Лебедев, Л. В. Воробьев, Е. А. Рылов.** Способ оптимального распределения канального ресурса информационных направлений сети связи по типам трафика с учетом приоритетов 77
- А. А. Павлов, С. В. Дворников.** Повышение энергетического потенциала линий радиосвязи с амплитудной модуляцией 81
- А. С. Гринвальд.** Внедрение волоконно-оптических технологий в гидроакустическую систему с целью повышения ее чувствительности и улучшения качества связи между судами 83
- В. Д. Пашкевич.** Антенные поля передающих радиоцентров ДКМВ диапазона на основе сверхширокополосных антенных систем 86

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ И УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ

- А. А. Копанев.** 140 лет в морском приборостроении. К юбилею Акционерного общества «Научно-производственная фирма «Меридиан» 1, 94
- Б. Ю. Семёнов.** Перспективы улучшения качества средств настройки корабельных систем компенсации низкочастотных электромагнитных полей .. 97
- Ю. В. Копытов, М. Л. Маринов, Д. А. Скороходов.** Исследование системы управления интерцепторами скоростного судна 103
- В. Г. Пушкин, В. В. Филиппов, Л. А. Просвирякова.** Модель выбора метода диагностики неисправностей электрической цепи из набора альтернатив 109
- П. Г. Федоров, Ю. А. Ушев.** Вопросы надежности сети CAN со структурно-информационным резервированием 111
- Д. В. Казунин, В. М. Амбросовский, Е. М. Леонова.** Программно-аппаратный комплекс для комплексной проверки оборудования группы МАНС, конвенционных судов и береговой инфраструктуры в условиях плотного судопотока 115

ИСТОРИЯ СУДОСТРОЕНИЯ И ФЛОТА

- Г. А. Гребеницкова, В. С. Никитин, В. Н. Илюхин.** Роль и значение экспедиции подводных работ особого назначения в развитии судоподъемного, водолазного и спасательного дела России. К 100-летию ЭПРОН. Часть 1 120
- К 70-летию В. Н. Илюхина 123
- И. М. Кузинец.** Адмиралтейств-коллегии – 305 лет 125

В АССОЦИАЦИИ СУДОСТРОИТЕЛЕЙ

- Итоги собрания Ассоциации судостроителей Санкт-Петербурга и Ленинградской области 128

Главный редактор

Э. А. Конов, канд. техн. наук

Зам. главного редактора

Д. С. Глухов

Тел.: (812) 6004586

Факс: (812) 6004586

E-mail: morvest@gmail.com

www.morvest.ru

Редакционная коллегия

Г. Н. Антонов, д-р техн. наук

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

А. И. Гайкович, д-р техн. наук, проф.

Е. А. Горин, д-р эконом. наук, проф.

С. В. Дворников, д-р техн. наук, проф.

В. Н. Илюхин, д-р техн. наук, проф.

Б. П. Ионов, д-р техн. наук, проф.

Д. В. Казунин, д-р техн. наук

Р. Н. Караев, канд. техн. наук

В. В. Кобзев, д-р техн. наук, проф.

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

П. А. Кротов, д-р истор. наук, проф.

П. И. Малеев, д-р техн. наук

Д. В. Никущенко, д-р техн. наук

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

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

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

А. А. Родионов, д-р техн. наук, проф.

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

А. Б. Фомичёв, д-р техн. наук, проф.

В. И. Черненко, д-р техн. наук, проф.

Редакция

Тел./факс: (812) 6004586

E-mail: morvest@gmail.com

Редактор

Т. И. Ильичёва

Дизайн, верстка

С. А. Кириллов, В. Л. Колпакова

Адрес редакции

190068 Санкт-Петербург,

наб. реки Мойки, 84, пом. 13Н

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

Учредитель-издатель

ООО Издательство «Мор Вест»,

190068, Санкт-Петербург,

наб. реки Мойки, 84, пом. 13Н

Электронная версия журнала

размещена на сайте ООО «Научная электронная

библиотека» www.elibrary.ru и включена

в Российский индекс научного цитирования

Решением Президиума ВАК журнал «Морской вестник»

включен в перечень ведущих научных журналов

и изданий, выпускаемых в РФ, в которых должны быть

опубликованы основные научные результаты диссертаций

на соискание ученой степени доктора и кандидата наук.

www.perchen.vak2.ed.gov.ru

Подписка на журнал «Морской вестник»

(индекс ПМ 467) может быть оформлена по

каталогу Почты России «Подписные издания»

или непосредственно в редакции журнала через

издательство «Мор Вест»

Отпечатано в ООО «Типография «Премиум-пресс»

Адрес типографии: 190020, Санкт-Петербург,

Нарвский пр., д.18 лит. А

Тираж 400 экз. Заказ № 777

Дата выхода в свет – 08. 06. 2023

Каталожная цена – 675,42 руб.

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

Морской Вестник

№ 2 (86)

J u n e

2 0 2 3

Morskoy Vestnik

SCIENTIFIC, ENGINEERING, INFORMATION AND ANALYTIC MAGAZINE

ABSTRACTS

SHIP DESIGN AND CONSTRUCTION

- P. G. Tenishev, A. I. Gaikovich, Yu. A. Chashkov, A. V. Arkhipov, D. V. Kurochkin, G. G. Nikitina.** *To the concept of surface ships of the ice class* 7
- A. V. Shlyakhtenko, B. A. Leikis, A. L. Ivchenko.** *From the legendary boat MO-4 to the Arctic icebreaker of the Ermak type* 15
- R. N. Karaev.** *Engineering and technological support of cable-laying works. Part 2. To the 80th anniversary of Sh. G. Aliev* 25
- V. V. Volkov.** *Multipurpose dry cargo ships with increased container capacity Sredne-Nevisky Shipyard launched the mine defense ship «Lev Chernavin»* 29
- D. V. Nikushchenko** – 50 years old 31
- S. A. Mantserov, M. S. Anosov, D. S. Italiantsev.** *Diagnosis of structural damage in steel 09G2S obtained using WAAM technology with low-cycle fatigue based on neuro-fuzzy classification* 32
- A. V. Makshanov, V. A. Kolesnik, D. V. Bykov, L. N. Tyndykar.** *Algorithms for the analysis of vibroacoustic signals based on models of non-stationarity and nonlinearity* 38

TECHNOLOGY OF SHIPBUILDING, SHIP REPAIR AND ORGANISATION OF SHIPBUILDING

- K. S. Rogozina.** *Ways of introducing digital production in the manufacture of pipelines at a shipyard* 43
- S. G. Cherny, A. A. Zinchenko, P. A. Erofeev.** *Preventive maintenance of ship mechanisms using machine learning technology* 46
- M. A. Baranov.** *Production of polymer composite materials for the production of products by pultrusion* 49

SHIP POWER PLANTS AND THEIR ELEMENTS

- O. O. Lebedev.** *Comparative analysis of methods for calculating steam condensers* ... 55
- V. V. Kamlyuk, I. O. Prutchikov, I. V. Grechushkin.** *Prospects for the creation and use of highly efficient power plants for guaranteed power supply of autonomous objects* 57
- A. N. Dyadik, A. V. Yushkov.** *The system for converting and switching electricity in an air-independent power plant with an electrochemical generator* 60
- L. G. Kuznetsov, A. V. Burakov, D. A. Gribanov, R. R. Hotsky.** *Method for calculating the labor intensity of the development of ship compressor stations using an analogue based on the ranking of technical characteristics* 65
- A. Z. Bagerman.** *Evaluation of the endurance of nickel-based heat-resistant alloys under variable operating conditions and parameters of low-cycle fatigue* 68

Editorial Council

Chairman

A.L. Rakhmanov, General Director of JSC United Shipbuilding Corporation

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:

V.Yu. Dorofeev, General Director JSC SPMD Malachite

V.V. Dudarenko, General Director JSC Sudpromkomplekt

S.G. Filimonov, General Director JSC Concern Morflot

V.E. Gel, General Director JSC MC Radiostandart

S.N. Iryutin, Chairman

St. Petersburg Marine Assembly

M.V. Ispolov, Director JSC CRIME

E.A. Konov, Director

JSC Publishing House Mor Vest

A.A. Kopanov, General Director

JSC RPF Meridian

G.A. Korzhavin, Scientific Director

JSC Concern Granit-Elektron

N.V. Kulyk, General Director JSC NPO Zavod Volna

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

L.G. Kuznetsov, General Designer

JSC Compressor

I.M. Mukhutdinov, General Director

JSC Almaz Shipbuilding Company

I.E. Marenich, General Director

JSC Sitronics KT

G.N. Muru, General Director JSC 51 CDTISR

O.A. Ostapko, Acting General Director

JSC Severnoye Design Bureau

A.A. Pavlov, General Director JSC NTI Radiosvyaz

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

E.A. Rylov, General Director JSC PKB RIO

I.V. Scherbakov, General Director JSC PDB Petrobalt

V.A. Seredokho, General Director JSC SNSZ

K.Yu. Shilov, General Director

JSC Concern SPA Aurora

A.V. Shlyakhtenko, General Director JSC Almaz CMDB

K.A. Smirnov, General Directors JSC MNS

I.S. Sukhovinsky, Director JSC VINETA

V.S. Tatarsky, General Director JSC ERA

A.A. Veselov, General Director

JSC Admiralty Shipyards

N.M. Vikhrov, General Director

JSC Kanonersky Shiprepairing Yard

M.V. Zakharov, General Director

JSC Pumori-north-west



DESIGN AND TECHNOLOGY OF INSTRUMENT MAKING AND RADIO ELECTRONIC EQUIPMENT

- N. V. Kulyk.** *From the first steps to the achievements of today. To the 90th anniversary of the Research and Production Association Zavod «Volna»* 70
- P. V. Lebedev, L. V. Vorobyov, E. A. Rylov.** *The method of optimal distribution of the channel resource of information directions of the communication network by types of traffic, taking into account priorities* 77
- A. A. Pavlov, S. V. Dvornikov.** *Increasing the energy potential of radio communication lines with amplitude modulation* 79
- A. S. Greenwald.** *Implementation of fiber-optic technologies in the hydro-acoustic system in order to increase its sensitivity and improve the quality of communication between ships* 83
- V. D. Pashkevich.** *Antenna fields of transmitting radio centers of the DHMW range based on ultra-wideband antenna systems* 86

INFORMATION-MEASURING AND MANAGEMENT SYSTEMS

- A. A. Kopanev.** *140 years in marine instrumentation. To the anniversary of the Joint-Stock Company «Scientific and Production Company «Meridian»* 1, 94
- B. Yu. Semyonov.** *Prospects for improving the quality of shipboard tuning tools compensation systems for low-frequency electromagnetic fields* 97
- Yu. V. Kopytov, M. L. Marinov, D. A. Skorokhodov.** *Study of the control system of high-speed ship interceptors* 103
- V. G. Pushin, V. V. Filippov, L. A. Prosviryakova.** *Model for choosing a method for diagnosing electrical circuit malfunctions from a set of alternatives* 109
- P. G. Fedorov, Yu. A. Ushev.** *Issues of reliability of the CAN network with structural-information redundancy* 111
- D. V. Kazunin, V. M. Ambrosovskiy, E. M. Leonova.** *Software and hardware complex for comprehensive testing of equipment of the IANS group, conventional ships and coastal infrastructure in conditions of heavy traffic* 115

THE HISTORY OF SHIPBUILDING AND FLEET

- G. A. Grebenshchikova, V. S. Nikitin, V. N. Ilyukhin.** *The role and significance of the expedition of special underwater works in the development of ship-lifting, diving and rescue business in Russia. To the 100th anniversary of EPRON. Part 1* 120
- To the 70th anniversary of V. N. Ilyukhin* 123
- I. M. Kuzinets.** *Admiralty Board – 305 years* 125

IN THE ASSOCIATION OF SHIPBUILDERS

- Results of the meeting of the Association of Shipbuilders of St. Petersburg and the Leningrad Region* 128

Editor-in-Chief

E.A. Konov, Ph. D.

Deputy Editor-in-Chief

D.S. Glukhov

Phone: +7 (812) 6004586

Fax: +7 (812) 6004586

E-mail: morvest@gmail.com

www.morvest.ru

Editorial Collegium

G.N. Antonov, D. Sc.

V.V. Baranovsky, D. Sc., Prof.

V.I. Chernenko, D. Sc., Prof.

S.V. Dvornikov, D. Sc., Prof.

A.B. Fomichyov, D. Sc., Prof.

A.I. Gaikovich, D. Sc., Prof.

E.A. Gorin, D. Sc., Prof.

V.N. Ilyukhin, D. Sc., Prof.

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

D.V. Kazunin, D. Sc.

R.N. Karaev, Ph. D.

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

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

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

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

P.I. Maleev, D. Sc.

D.V. Nikushchenko, D. Sc.

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

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

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

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

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

Editorial staff

Phone/Fax +7 (812) 6004586

E-mail: morvest@gmail.com

Editor

T.I. Ilyichiova

Design, imposition

S.A. Kirillov, V.L. Kolpakova

Editorial office

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

The magazine is registered by RF Ministry of Press, TV and Radio Broadcasting and Means of Mass Communications, Registration Certificate

ПИ № 77-12047 of 11 march 2002

Founder-Publisher

JSC Publishing House «Mor Vest»

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

The magazine electronic version

is placed on the site LLC «Nauchnaya 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 Premium Press Printing House LLC

Printing house address 190020 St. Petersburg

Narvsky prospect, 18, letter A

Circulation № 777

Publication date – 08. 06. 2023

Catalog price – 675,42 rubles

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

Reprinting is allowed only with permission of the editorial staff

Освоение Арктики (рис. 1) становится стратегическим приоритетом. О запасах нефти, газа и пресной воды в Арктике упоминали не раз. Так, 2011 г. журнал «Science» писал, что в Арктике все неоткрытые запасы газа составляют до 30% мировых, а запасы нефти до 13%. По предварительным оценкам, их стоимость может составлять около 35 трлн. долл.

В Министерстве обороны России Арктику называют ведущей транспортной артерией и незаменимым полигоном для тестирования уникальных образцов вооружения в экстремальных условиях. В обстановке усиливающегося противостояния в мире этот регион становится полем конкуренции. Россия, Канада, Норвегия, Дания, США и даже Китай – это лишь неполный список стран, которые претендуют на Арктический регион.

Министр обороны России С. К. Шойгу на заседании коллегии Минобороны заявил, что Арктика стала центром интересов многих государств, вследствие чего в регионе возрастает вероятность военных конфликтов: «Сегодня Арктика превратилась в объект территориальных, ресурсных и военно-стратегических интересов ряда государств. Это может привести к нарастанию конфликтного потенциала в данном районе».

Кроме того, геополитическая обстановка в настоящее время существенно усложнилась: Россия фактически ведет боевые действия против западного альянса. В процессе этой борьбы противниками используются диверсии против элементов ее инфраструктуры. Недавний пример – взрыв на трубопроводах «Северный поток» и «Северный поток-2».

Арктический регион, как это было указано выше, является кладовой полезных ископаемых, в том числе и углеводородов. Комплексы добычи этих полезных ископаемых включают в себя морские добывающие платформы и необходимую инфраструктуру. Данные объекты нуждаются в постоянной охране и прикрытии, причем эти функции выходят за рамки задач Северного флота. Разработку морских месторождений ведут государственные и частные компании. В их состав включается морская составляющая в виде судов различного назначения, в том числе и судов обеспечения (см.рис. 11).

На рис. 1 показаны арктические границы в период СССР.

Растет значение Северного морского пути в системе мировых транспортных коммуникаций, а также превращения Арктики в регион глобальной конкуренции не только с экономической, но и с военной точки зрения. В этих условиях возрастает роль военно-морского флота в обеспечении обороны страны

К КОНЦЕПЦИИ НАДВОДНЫХ КОРАБЛЕЙ ЛЕДОВОГО КЛАССА

П.Г. Тенишев, канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник,
А.И. Гайкович, д-р техн. наук, проф., ст. науч. сотрудник,
 НИИ КИВ ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия»,
Ю.А. Чашков, капитан дальнего плавания,
 советник ЦС ВОВИР по водному транспорту,
А.В. Архипов, д-р техн. наук, проф.,
 зам. ген. директора по военному кораблестроению,
Д.В. Курочкин, канд. техн. наук, начальник отдела ВЭД,
 АО «Северное ПКБ»,
Г.Г. Никитина, учебный мастер СПбГМТУ,
 контакт. тел. (812) 702 3005, +7 (921) 922 2205, +7 (950) 012 2408,
 +7 (921) 944 2031



Рис. 1. Границы Арктики в период СССР

в Арктической зоне Российской Федерации.

ПРЕТЕНДЕНТЫ НА АРКТИКУ

Россия, США, Канада, Норвегия и Дания сегодня стараются определить зоны своего влияния и закрепить принадлежность континентального шельфа. Между этими странами существует ряд нерешенных территориальных проблем. В Арктическом совете на данный момент состоят восемь государств, еще 39 стран и различных государственных и негосударственных организаций являются наблюдателями при совете.

Интерес к Арктике проявляет также Китайская Народная Республика, которая рассматривает ее как судоходную магистраль и локацию для расположения объектов космической и навигационной инфраструктуры. Китай и Финляндия подписали договор о создании совместного исследовательского центра

при Арктической космической обсерватории в Лапландии, который будет заниматься спутниковым мониторингом климатических изменений в Арктике и анализом возможностей навигации в водах Северного морского пути. В 2016 г. Китай сделал похожие вложения в Швеции, где была построена китайская полярная наземная станция управления спутниками дистанционного зондирования (CNPGS).

Китайский контр-адмирал Инь Чжо заявил, что «Арктика принадлежит всему миру, так что ни у одного народа нет над ней единоличной власти», и Китай должен играть свою роль в развитии этого региона, так как в стране проживает одна пятая населения планеты. При публикации «Белой книги» по развитию «Полярного шелькового пути» китайские чиновники высказывались более дипломатично – они не будут никому мешать и вмешиваться в суверенные дела

приарктических государств, но при этом Китай обязательно будет присутствовать в регионе.

С учетом изложенного наличие и развитие ледокольного флота Российской Федерации становится важнейшим фактором как освоения Арктического региона, так и защиты своих интересов в экономическом и военном сегменте.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ФЛОТА ПРИАРКТИЧЕСКИХ СТРАН В АРКТИЧЕСКОМ РЕГИОНЕ

Россия. В Российской Федерации существует проект создания трех самых мощных в мире атомных ледоколов нового поколения пр. 10510 «Лидер». Этот 120-мегаттватный ледокол должен иметь ледопробитность до 4 м при скорости хода 1,5–2 уз. Прокладываемый коридор шириной в 50 м, он будет обеспечивать круглогодичную навигацию по Северному морскому пути. Стоимость одного такого ледокола оценивается в 70–95 млрд. руб.

Кроме гражданских ледоколов, у России есть военно-морской дизель-электрический ледокол «Илья Муромец», предназначенный для патрулирования, буксировки, перевозки грузов. Он имеет ледопробитность 0,9 м. Вертолетная площадка может принимать вертолеты Ка-32 или Ка-27, а, по некоторым данным, при необходимости на судне может быть установлена автоматическая корабельная артиллерийская установка.

В планах ВМФ – ввод в строй универсальных патрульных и пограничных кораблей ледового класса пр. 23550. Первый корабль, получивший название «Иван Папанин», был заложен 19 апреля 2017 г. Он сможет преодолевать сплошной лед толщиной в 1 м. Корабль будет вооружен ракетным комплексом «Калибр» и артиллерийской установкой. Второй корабль этого проекта «Николай Зубов» заложен в 2019 г. Пограничный корабль этого проекта «Пурга» заложен в 2020 г.

США. ВМС и Береговая охрана США уделяют все больше внимания Арктическому региону в ходе своих учений и планирования операций. Также прорабатываются варианты создания новых портов на Аляске и развития береговой и навигационной инфраструктуры.

Американский военно-морской эксперт Рональд О’Рурк в августе 2022 г. представил в Конгресс США две работы, посвященные вопросам геополитической ситуации вокруг Арктики и проблемам ледокольного флота. Это подтверждает тот факт, что американское руководство уделяет повышенное внимание данной теме.

В США в рабочем состоянии находятся два из трех ледоколов Береговой охраны. «Polar Sea» (1978 г. ввода в строй) не функционирует с 2010 г. из-за проблем с двигателем, «Polar Star» (1976 г. ввода в строй) исчерпал срок службы (30 лет), и для поддержания его в рабочем состоянии США заимствуют ЗИП с ледокола «Polar Sea». Скорость ледокола составляет 3 уз при ледопробитности 1,8 м, максимальная ледопробитность – 6,4 м.

Средний ледокол «Healy» (введен в строй в 1999 г.), который классифицируется как научно-исследовательское судно, имеет ледопробитность до 1,4 м при скорости в 3 уз, при этом его максимальная ледопробитность составляет 3 м. Срок службы «Healy» заканчивается в 2030 г.

Ледокол «Nathaniel B. Palmer» с более слабыми возможностями работы во льдах принадлежит частной компании и сдается государственным агентствам в аренду для проведения научных исследований. Также зарегистрировано судно «Aiviq» с ледокольными возможностями, которое использовалось компанией «Royal Dutch Shell» в водах Аляски.

Осознавая проблематику Арктического региона, США еще в 2013 г. определили, что необходимо планировать постройку шести ледоколов (трех тяжелых и трех средних) стоимостью от 700 млн. до 1 млрд. долларов за каждый. Строительство первого тяжелого ледокола началось в 2019 г. США рассматривают возможность строительства ледоколов по военным стандартам и спецификациям, но на данный момент от этой идеи отказались, так как строительство по гражданским правилам снизит стоимость каждого ледокола минимум на 100 млн. долл.

Китай. Имеет несколько малоразмерных военных ледоколов, технические характеристики которых не позволяют работать в полярных регионах, и один большой гражданский ледокол «Снежный дракон», который приобретен Китаем у Украины еще в 90-х гг. XX в. Это, по сути, судно-снабженец усиленного ледового класса типа «Витус Беринг», а не ледокол. Строилось оно на Херсонском судостроительном заводе в 1993 г. и к моменту его покупки КНР было готово на 83%.

Первый крупный неатомный ледокол собственного проектирования и постройки – научно-исследовательское судно, имеющее ограничения по ледопробитности, «Снежный дракон 2» водоизмещением около 14 тыс. т. Китай начал строить совместно с Финляндией в 2016 г. Должен был войти в строй в 2019 г. Планировалось, что оба китайских ледокола должны уйти в экспе-

дицию и на испытания в Антарктику, а затем, вероятнее всего, сконцентрироваться на работе в Арктике. На данный момент реализация проекта несколько затягивается.

Военные эксперты КНР рассматривают создание этого атомного ледокола как шаг к строительству собственного атомного авианосца. Китай располагает судовыми атомными реакторами, которые работают на атомных подводных лодках, но разработка собственных атомных технологий для энергоснабжения крупных судов и кораблей – уже следующий шаг. Китайская судостроительная корпорация официально заявила, что намерена «ускорить процесс достижения технологических прорывов» в сфере строительства атомных авианосцев. Китайский авианосец (в теории) сможет работать на нескольких реакторах, которые будут разработаны для атомного ледокола.

К примеру, первый атомный авианосец США «USS Enterprise» работал на восьми реакторах Westinghouse A2W, а авианосцы класса «Nimitz» – уже на двух реакторах. КНР может пойти тем же путем, уменьшая число реакторов и при этом увеличивая их мощность.

Канада последовательно отстаивает свои интересы в Арктике. Особое внимание при этом уделяет контролю за Северо-Западным морским проходом, который в недалекой перспективе будет свободен ото льда в период летней навигации. Противоречий с Канадой в Арктическом регионе у Российской Федерации нет, хотя эта страна – член НАТО.

Дания – также член НАТО. Она заявила, что претендует на подводную горную цепь хребта Ломоносова, тянущуюся от Гренландии в сторону Российской Федерации. Этот район представляется перспективным для разработок полезных ископаемых.

Норвегия – еще один член НАТО. Политика этой страны непосредственно затрагивает интересы России из-за ситуации с архипелагом Шпицберген. Возможны противоречия также в распределении зон рыбного промысла.

РАЗВИТИЕ АРКТИЧЕСКОГО РЕГИОНА В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Внимание Российской Федерации к арктическому региональному направлению определяется особой важностью обеспечения свободного выхода военно-морского флота и коммерческих судов в Атлантику и Тихий океан. В связи с этим значение Северного морского пути возрастает, а значит, повышается и необходимость охраны и контроля мест добычи и переработки полезных ископаемых, сети подводных газопроводов в этой зоне, а также всей необходи-

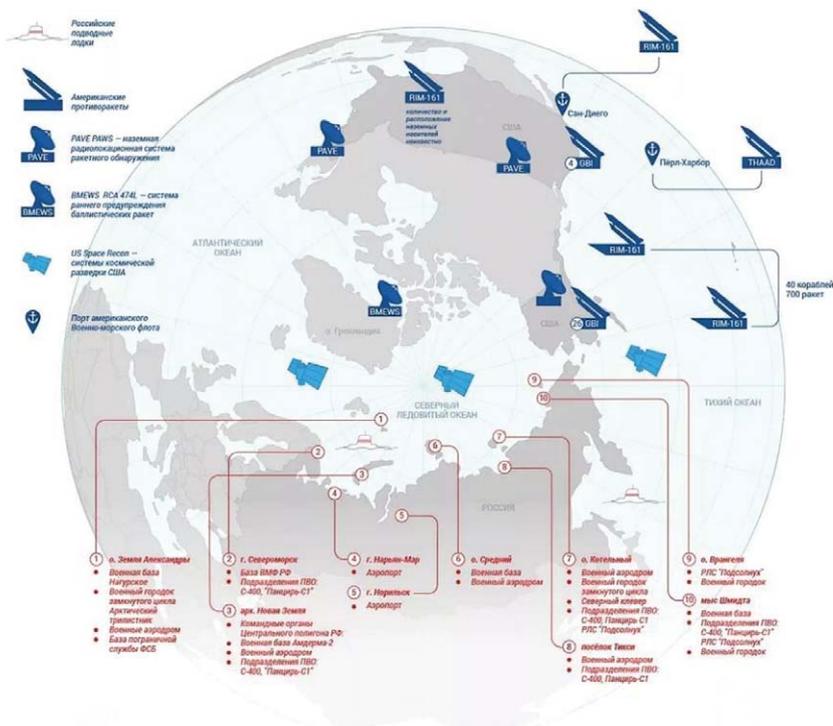


Рис. 3. Карта арктических военных баз блока НАТО



Рис. 4. Карта портов Северного морского пути

димы боевые надводные корабли ледового класса. Проводка за ледоколами существенно снижает боевую эффективность таких кораблей, тем самым видоизменяются и их основные боевые задачи.

К таким задачам в первую очередь относятся:

- противодействие надводным силам противника;
- возможность ударов по береговым целям противника с новых направлений;
- мониторинг водного и воздушного пространства, в том числе подводной обстановки;
- выполнение задач противовоздушной и противоракетной обороны;

- мониторинг космического пространства посредством аппаратуры расположенной на морских носителях;
- противолодочные и противоминные задачи (с учетом доработки и переразмещения систем гидроакустической станции по отношению к классическим схемам при размещении гидроакустической станции (далее – ГАС) в бульбовом обтекателе). Это может быть, например, миделевое размещение или использование буксируемых станций, или беспилотных роботизированных подводных необитаемых аппаратов с корабля-носителя.

Оценивая состав вооружения кораблей потенциальных противников Российской Федерации на арктичес-

ком направлении, следует отметить, что к обычному составу ракетного и артиллерийского оружия (в том числе сверхзвуковых ракет), минно-торпедного и авиационного вооружения должны быть добавлены беспилотные летательные аппараты различного назначения, а также автономные подводные аппараты.

Таким образом, принимая во внимание вышеизложенное, архитектурно-конструктивный тип новых кораблей ледового класса может существенным образом измениться.

Качественно толщина льда, преодолеваемого ледокольным судном, обратно пропорциональна корню квадратному из его ширины. Это означает, что при той же энерговооруженности рациональные соотношения главных размеров, характерных для боевых кораблей, позволят достичь большей ледопроеходимости. Естественно, это потребует дополнительных экспериментальных исследований и теоретических проработок.

Далее рассмотрим варианты принципиальной идеологии облика перспективных ледоколов как в области гражданского, так и военного сегмента, а также предпосылки исследовательского и поискового проектирования, опираясь на обобщение опыта и поиск инноваций, а также их оптимальных сочетаний (комбинаций). При этом следует отметить, что формирование облика корабля требует проведения научных работ по математическому моделированию, оптимизации, а также модельных испытаний и формирования методологической базы по обоснованию концепции в области проектирования и строительства перспективных ледокольных судов и боевых надводных кораблей повышенной ледовой проходимости.

Получение научно-технического задания следует рассматривать в совокупности с базовой моделью эксплуатации, т. е. отражать вопросы надежности, ремонтопригодности и разработки модели полного жизненного цикла судна (корабля) с учетом ремонтов и глубокой модернизации.

ИСТОРИЧЕСКИЙ ОПЫТ ПОЛЯРНОГО ПЛАВАНИЯ ЛЕДОРЕЗА «Ф. ЛИТКЕ»

Судно «Федор Литке», которое названо в честь мореплавателя и географа, президента Петербургской Академии наук, адмирала Ф. П. Литке (1797–1882), было построено в 1909 г. на британской верфи «Виккерс». Судно предполагали использовать для перевозки почты и людей, охраны рыбных промыслов (рис. 6).

Отношение длины корпуса к ширине для традиционных ледоколов составляет 3,5–4,8, у «Ф. Литке» – 5,5. Носовая оконечность с обшивкой толщиной

31 мм была заостренной, борта прямыми, поэтому судно резало лед, расталкивая обломки в стороны.

По воспоминаниям участника похода 1929 г., «ледорез «Литке» показал, что это прекрасное судно. Он останавливался только в тяжелых льдах в 10 баллов, в условиях, в которых вообще не может идти ни один ледокол. Но уже при 9 баллах «Литке» мог продвигаться. Наличие двух «крепких» винтов являлось не недостатком, как доказывали противники посылки «Литке» на остров Врангеля, а, наоборот, большим преимуществом его перед судном с одним винтом, так как облегчало управление судном во льдах».

В 1934 г. ледорез «Федор Литке» совершил свое историческое плавание, пройдя за одну арктическую навигацию всю трассу Северного морского пути с востока на запад – из Владивостока в Мурманск.

Ледорез «Федор Литке» несколько раз был мобилизован. Так, 25 июля 1941 г. на нем подняли военно-морской флаг, установили две 45-мм пушки и несколько пулеметов, присвоив обозначение СКР-18. Вскоре вооружение признали недостаточным, и сорокапятки заменили 130-мм орудиями.

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ КЛАССИЧЕСКОЙ ЛЕДОКОЛЬНОЙ АРХИТЕКТУРЫ КОРАБЛЕЙ И СУДОВ

Проектирование и постройка кораблей ледового класса могут быть реализованы несколькими путями: созданием кораблей (судов) новых проектов или путем глубокой модернизации существующих.

Основной задачей при проектировании и строительстве ледоколов является обеспечение требуемой (в нашем случае – максимальной) ледопроеходимости. При этом под ледопроеходимостью понимается предельная толщина ровного сплошного льда, в котором судно, используя полную мощность, способно двигаться непрерывным прямолинейным ходом с минимальной устойчивой скоростью около 2 уз. В зависимости от решаемых задач, в том числе и боевых, взаимная корреляция скорости хода и толщины ломаемого льда могут варьироваться.

Ледопроеходимость определяется следующими характеристиками корабля:

- обводы носовой оконечности;
- водоизмещение;
- длина и ширина судна по КВЛ;
- суммарная тяга винтов на режиме, близком к швартовному;
- угол наклона форштевня к КВЛ;
- угол заострения к КВЛ;
- угол развала 0-го теоретического шпангоута;

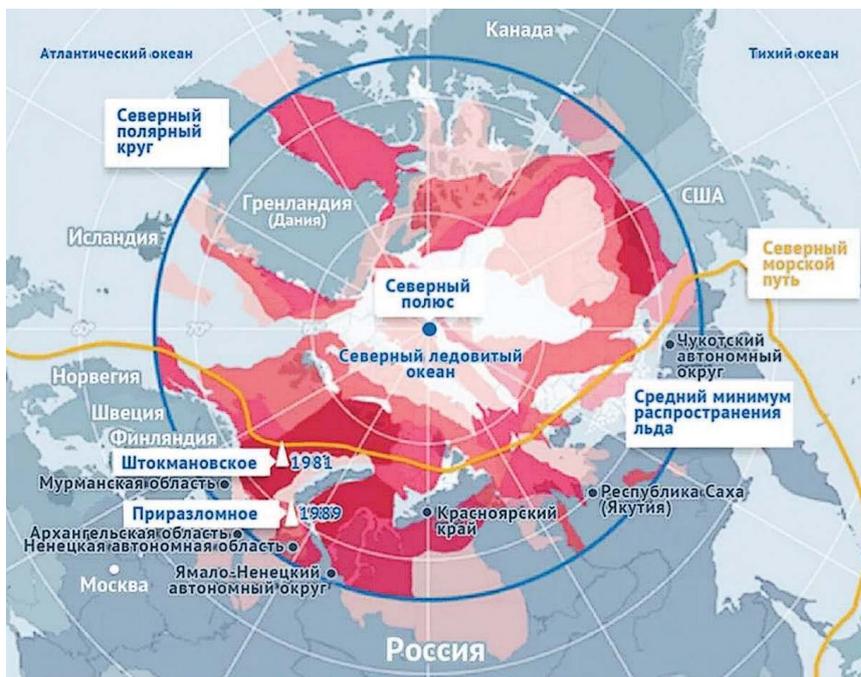


Рис. 5. Карта распределения запасов природного газа

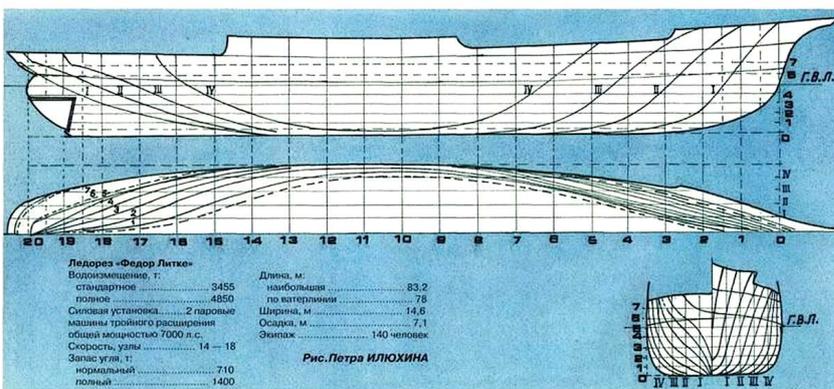
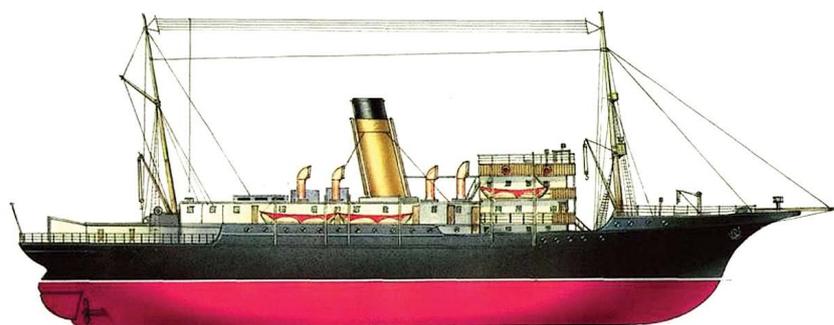


Рис. 6. Ледорез «Ф. Литке»

– угол развала мидель-шпангоута.

Для перспективного надводного корабля ледового класса необходим поиск компромисса между требованиями ледового класса и его тактической эффективностью.

Основная форма носовых обводов судов ледового класса показана на рис. 7. Для боевого корабля использование таких обводов затруднительно для традиционного размещения гидроакустического комплекса. При этом возможна либо установка телескопической выдвигаемой ГАС ближе к миделю, что может ухудшить условия ее работы,

либо опускаемую ГАС с кормы, что может потребовать изменения компоновки кормовой оконечности корабля.

ПОИСК ИННОВАЦИОННЫХ КОНЦЕПЦИЙ КОРАБЛЕЙ И СУДОВ ЛЕДОВОГО КЛАССА

Для разработки проектов перспективных боевых надводных кораблей повышенной (ледокольной) ледопроеходимости требуется применение инновационных проектных решений или их взвешенных и обоснованных комбинаций. Одним из них является разработка Ю. А. Чашковым судна с «ледовыми»

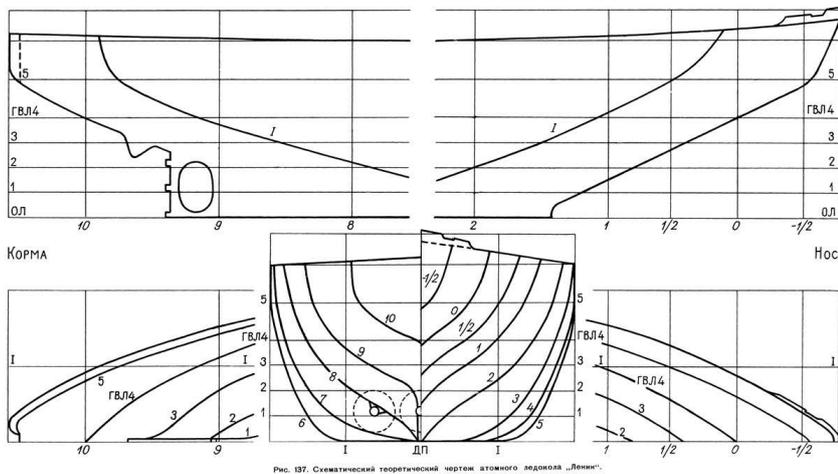


Рис. 7. Типовые («классические») носовые обводы ледокола

ступенями, специальными корпусными конструкциями, которые позволяют эффективно разрушать ледовый покров при эксплуатации судов в Арктическом регионе (рис. 8).

«Помор-ВОИР». На базе Крыловского государственного научного центра были проведены испытания инновационной формы корпуса ледокола, которая, по расчетам и модельным испытаниям, даст возможность сни-

зить водоизмещение (до 4 раз), осадку и мощность главной энергетической установки (до 6 раз) ледокола, что позволит судну (кораблю) с таким корпусом ходить также по мелководным акваториям Арктики. При этом эффективность его ледопроеходимости ожидается сравнимой с таковой ледоколов проекта «Лидер».

ных рулевых движителей, расположенных в изолированном кормовом канале. **«Sea Axe» («Морской топор»).** Среди иностранных разработок следует выделить корпус с носовыми обводами типа ледореза «Ф. Литке» и двухвальной энергетической установкой, которые типичны для боевых кораблей, а состав артиллерийского вооружения не уступает современным иностранным арктическим патрульным кораб-



Рис. 8. Ледокол по патенту Ю.А. Чашкова

зять водоизмещение (до 4 раз), осадку и мощность главной энергетической установки (до 6 раз) ледокола, что позволит судну (кораблю) с таким корпусом ходить также по мелководным акваториям Арктики. При этом эффективность его ледопроеходимости ожидается сравнимой с таковой ледоколов проекта «Лидер».

Концептуальный проект «Помор-ВОИР» предусматривает строительство мелкоосидающего ледокола (с малой осадкой) для эксплуатации на шельфе Арктики и в устьях рек с шириной прокладываемого канала 20–26 м. Параллельно в рамках идеологии представленной архитектуры корпуса прорабатывается проект арктического судна снабжения с возможностью высадки техники на необорудованный берег по аппаратам при выходе техники с кормы. Высадка с кормы обеспечивается посредством установки винтов в тоннелях на отстоянии до 30% от длины со стороны кормы судна и применения водометных поворот-

лям (за исключением ракетного и минно-торпедного оружия).

Более того, обводы корпуса «Sea Axe» (рис. 9) подобны носовым обводам ледореза «Ф. Литке», что позволяет совместить хорошие ледовые и мореходные качества.

МНОГОКОРПУСНЫЕ ЛЕДОКОЛЫ

Отдельного изучения заслуживают многокорпусные гидродинамические схемы для боевых кораблей ледового класса.

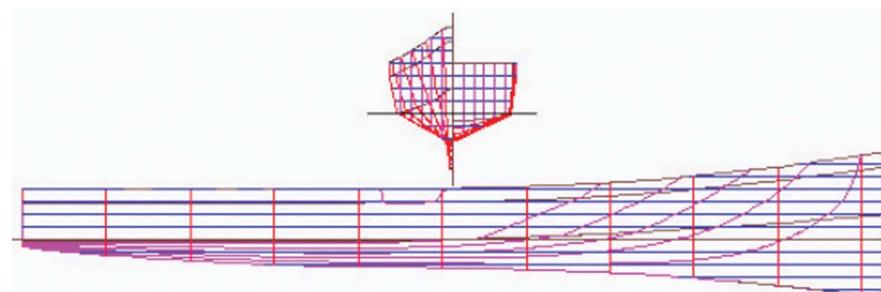


Рис. 9. Обводы типа «Sea Axe»

Перспективность многокорпусной схемы для ледокольного судна с точки зрения качества пробиваемого канала высока.

Перед боевым надводным кораблем не ставится задача проводки каравана судов в Арктике, поэтому с учетом потенциальных возможностей ледорезной схемы может быть предложена схема полупогруженного судна с малой площадью ватерлинии (СМПВ) (рис. 10).

Роль «режущего инструмента» выполняют прочные стойки, соединяющие несущую платформу с размещенной на ней целевой подсистемой, и подводные корпуса с пропульсивной системой. Высота стоек должна обеспечивать безопасную высоту платформы над кромкой льда с учетом снежного покрова и принятой высотой торосов, а также необходимое углубление подводных корпусов под нижней кромкой ледяного поля. Поскольку площадь поперечного сечения стоек, контактирующая со льдом, существенно меньше, чем у обычного судна, следует ожидать улучшения ледопроеходимости СМПВ.

Идея радикального уменьшения площади контакта со льдом судна ледового класса была рассмотрена еще в работе В. И. Каштеляна «Приближенное определение усилий, разрушающих ледяной покров», где предлагалось полупогруженное судно с ледостойким пилонном, который выполняет ледокольно-ледорезные функции.

Для кораблей ледового класса перераспределяются приоритеты качества. Так, скорость хода на чистой воде и управляемость являются менее приоритетными, чем прочность корпуса и непотопляемость.

Предполагается проработать концепцию оптимизированной топологической модели, которая сочетала бы передовые и классические технологии формирования перспективной ледокольной архитектуры корпуса судна.

НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ СУДОСТРОИТЕЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ В СООТВЕТСТВИИ С ПЛАНАМИ ПОСТРОЙКИ СУДОВ ЛЕДОВОГО КЛАССА

Если предположить, что концепция боевых надводных кораблей ледового

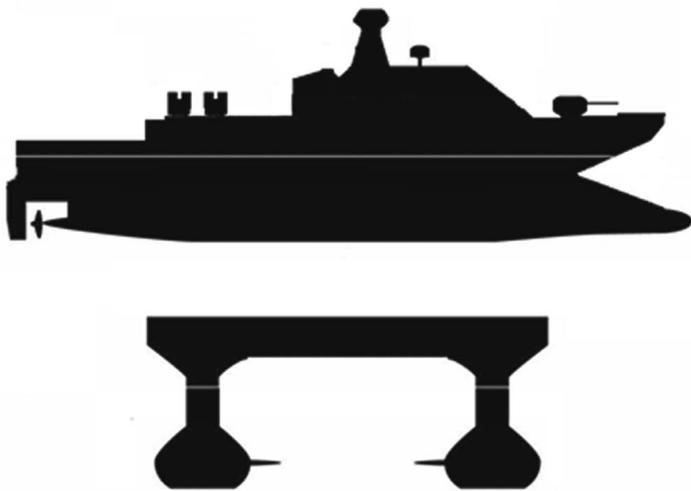


Рис. 10. Эскиз судна с малой площадью ватерлинии (СМПВ) ледового класса

класса будет принята целесообразной, то потребуются скорректировать программу использования и строительства новых стапельных мест для постройки таких кораблей и судов, что приведет к корректировке судостроительных программ, а также потребует значительного расширения судостроительного кластера на Дальнем Востоке России.

Таким образом, основной концепцией боевого корабля ледового класса может стать корабль класса фрегат, который сможет преодолевать ледовый покров в 2–3 м. В качестве энергетической установки могут использоваться среднеоборотные дизели или, возможно, малогабаритная ЯЭУ.

Однако по мере развития данного направления следует ожидать разработки проектов кораблей и судов других классов, таких как сухогруз, танкер и эсминец.

Наличие в составе ВМФ кораблей автономного ледового класса позволит существенно увеличить боевой потенциал ВМФ. Например, судно пр. 22240 имеет высокий ледовый класс и большую площадь рабочей палубы для возможного расположения вооружения и оборудования. Для осуществления охранных функций такие корабли могут оснащаться оборудованием и вооружением в контейнерном исполнении, которое включает в себя:

- опускаемую гидролокационную станцию;
- средства радиоэлектронной борьбы;
- средства борьбы с автономными подводными аппаратами;
- средства борьбы с боевыми пловцами;
- средства борьбы с беспилотными летательными аппаратами.

При проектировании судов обеспечения, подобных судам пр. 22240, требуется учитывать их мобилизационные

возможности в рамках создания судов двойного назначения.

В настоящее время для ВМФ России строится несколько серий кораблей, специально спроектированных для применения контейнерных систем. В частности, это патрульные корабли пр. 22160 «Василий Быков», корветы пр. 20380 20385, патрульные ледоколы пр. 23550 типа «Иван Папанин» [13].

В контейнерах для противолодочной обороны могут быть размещены гидроакустическая станция и торпедные аппараты. При необходимости на борту корабля в таком контейнере может быть смонтирована мощная система ПВО на базе комплексов «Редут» и «Панцирь-М».

Помимо боевых модулей разработаны также контейнеры для размещения беспилотных летательных аппаратов, подводных автономных обитаемых аппаратов и модулей для выполнения гидрографических работ.

Из вышеизложенного следует, что для строительства кораблей ледового класса как для военно-морского флота,

так и для частных или государственных охранных компаний, требуется корректировка судостроительных программ.

Необходимо провести исследования новых архитектурно-конструктивных типов кораблей и судов ледового класса, которые позволят повысить эффективность защиты акватории Арктического региона Российской Федерации, а также боевой модели использования группировок надводных кораблей в ледовой обстановке Арктики и Северного морского пути.

ЛИТЕРАТУРА

1. <https://flot.com/2022/Канада10>
2. Смолов М. Военно-морские силы Дании // Зарубежное военное обозрение. – 2020. – № 12. – С. 58–63.
3. Военно-морские силы Норвегии. – <https://ru.wikipedia.org/wiki/>
4. Цой Л. Г. Морские ледоколы. Особенности проектирования. – СПб.: Изд. СПбГМТУ, 2003. – 109 с.
5. Каштелян В. И., Рывлин А. Я., Фаддеев О. В., Ягодкин В. Я. Ледоколы. – Л.: Судостроение, 1972. – 288 с.
6. Каштелян В. И. Приближенное определение усилий, разрушающих ледяной покров // Проблемы Арктики и Антарктики. – 1960. – Вып. 5.
7. Рихтер З. В. На «Литке» к острову Врангеля. – М.: Молодая гвардия, 1931.
8. Фомичев Н. Ледорез «Федор Литке» – <http://smena-online.ru/node/46126/print>
9. <http://orwww.narod.ru/mmtm/25.htm>
10. Апполонов Е. М., Добродеев А. А., Клементьева Н. Ю., Сазонов К. Е., Тимофеев О. Я. Инновационные решения в области создания широких каналов для проводки крупнотоннажных судов во льдах. – Вестник НГУ: Сер.: Математика, механика, информ. – 2012. – Том 12. – Вып. 4. – С. 3–8.
11. <https://iz.ru/1038280/roman-kretcul-aleksei-ramm/konteiner-s-pritelom-boevye-moduli-vmf-protestiruiut-dokontca-leta>. ■



Рис. 11. Судно обеспечения пр. 22240

Защита рубежей Отечества – священный долг каждого государства. Общая протяженность границ Российской Федерации составляет 60,9 тыс. км (самая большая в мире), в том числе 38,8 тыс. км морских границ.

В 1922 г. после окончания Гражданской войны и изгнания из страны интервентов перед молодым Советским государством остро встал вопрос об охране государственной границы. Для этой цели в ведении Наркомата внутренних была организована Пограничная служба, преемницей которой стала нынешняя Пограничная служба ФСБ России. С первых же дней в составе этой Погранслужбы был создан морской отдел, ведавший охраной морских границ.

В первые годы в распоряжении морских пограничников были в основном небольшие по водоизмещению тихоходные парусно-моторные шхуны, с помощью которых нельзя было эффективно бороться с нарушителями границы и контрабандистами. Поэтому в 1931 г. было принято решение об организации в Петрограде специализированной верфи, на которой бы строились катера для нужд Морпогранохраны. В 1932 г. такая верфь начала свою работу на Петровском острове. Одновременно при верфи был создан конструкторский отдел, затем преобразованный в конструкторское бюро, которое явилось одним из предшественников нынешнего АО «ЦМКБ «Алмаз».

Первыми катерами, спроектированными под руководством главного конструктора С. В. Пугавко и построенными на новой верфи, были сначала катера МО-2, а затем, в результате совершенствования – МО-4. Эти катера создавались по заданию Морпогранохраны. После всесторонних испытаний головного катера было запущено серийное строительство МО-4. Отработка документации катера на серию велась под руководством главного конструктора Л. Л. Ермаша. Этот катер длиной около 27 м и полным водоизмещением 56,5 т, оснащенный тремя бензиновыми моторам мощностью по 850 л. с., развивал скорость хода 26 уз и был вооружен двумя 45-мм орудиями и двумя 12,7-мм пулеметами. Экипаж катера оставлял 24 человека. По своим характеристикам они опережали многие зарубежные катера подобного типа. До Великой Отечественной войны было построено более 180 таких катеров, которые успешно несли службу по охране государственной границы, а во время войны были переданы ВМФ и блестяще проявили себя, участвуя в боевых операциях, особенно при сопровождении конвоев и в десантных операциях. С окончанием войны они вернулись вновь к охране государственной границы.

После окончания войны в 1950-е гг. в ЦКБ-5, в которое превратилось бывшее КБ завода, на базе торпедного катера пр. 183 был спроектирован сторожевой катер пр. 199, во-



Катер типа МО-4

ОТ ЛЕГЕНДАРНОГО КАТЕРА МО-4 ДО АРКТИЧЕСКОГО ЛЕДОКОЛА ТИПА «ЕРМАК»

*А.В. Шляхтенко, д-р техн. наук, проф., ген. директор,
Б.А. Лейкис, гл. конструктор,
А.Л. Ивченко, гл. конструктор, АО ЦМКБ «Алмаз»,
контакт. тел. (812) 373 8300,*

оруженный двумя 25-мм артиллерийскими 2М-3М, который также строился и для морских пограничников. Катера МО-4 и пр. 199, корпуса которых сконструированы и построены из дерева, можно отнести к кораблям первого поколения, созданным по проектам АО «ЦМКБ «Алмаз» для Морпогранохраны страны.

В 1960-е гг. с переходом на металлическое судостроение началось создание кораблей второго поколения для Морпогранохраны. В эти годы были созданы уникальные для своего времени сторожевые катера проектов 125А на подводных крыльях и 1400 «Гриф» с модификацией 1400М, а также малый сторожевой корабль пр. 205П «Тарантул», ставшие на довольно большой срок основным ядром флота морских пограничников.



Пограничный катер пр. 125А

Катер пр. 125А, разработанный под руководством главного конструктора В. М. Бурлакова, в то время был единственным катером на подводных крыльях у пограничников. Оснащенный двумя дизелями М-503, передающими мощность на наклонные гребные валы, катер при водоизмещении около 60 т развивал скорость хода до 65 уз. Вооружен он был двумя авиационными пушками АУ-23 с управлением от оптико-прицельной станции. Экипаж катера составлял 17 человек. В 1963–1964 гг. на феодосийский Завод №831 построил 16 таких катеров, которые несли службу на Черном море и на Балтике. Спецификационная скорость хода катеров составляла 62 уз, а на 4-балльном волнении они развивали скорость хода до 42 уз и стали грозой для всех нарушителей и контрабандистов.

Несколько позднее, в 1967 г., по техническому заданию Морпогранохраны также под руководством главного конструктора В. М. Бурлакова был разработан пр. 1400 патрульный катер «Гриф», предназначенного для несения пограничной службы в прибрежных районах морей, проливов и в акваториях портов и баз. При водоизмещении около 40 т катер, оснащенный двумя дизелями М-50 мощностью по 1000 л. с., развивал скорость хода около 30 уз. Вооружен катер был двумя крупнокалиберными пулеметами 2М-7 (калибром 14,5 мм). В дальнейшем катера вооружались башенными установками со спаренным пулеметом «Утёс-М» калибром 12,7 мм. Корпус и надстройка первых катеров изготавливались из алюминий-магниевого сплава клепаными, а затем с освоением цельнопрессованных панелей из алюминий-магниевого сплава – сварными (пр. 1400М). Производство этих катеров было освоено на ФПО «Море» в г. Феодосия, где их было построено около 100 ед., некоторые

из них несут службу до настоящего времени. Следует отметить, что эти патрульные катера благодаря удачной конструкции успешно поставлялись на экспорт. Более 100 катеров типа «Гриф-М» было поставлено в 34 страны.



Катер пр. 1400М

Катера проектов 125А и 1400М имели малую дальность плавания и малую автономность и предназначены для патрулирования ближней прибрежной зоны морей в районе портов, гаваней и небольших проливов. Для патрулирования ближней морской зоны в конце 60-х гг. под руководством главного конструктора А. П. Городянка на базе ракетных катеров пр. 205 был разработан пр. 205П «Тарантул».

Использование в качестве базового пр. 205 позволило в короткие сроки развернуть строительство новых ПСКР на тех же заводах, где строились корабли по основному проекту. Главные размеры корабля были сохранены без изменений по сравнению с кораблями пр. 205, а водоизмещение возросло до 245 т. При сохранении неизменной главной энергетической установки скорость хода корабля составила 35 уз, дальность плавания при скорости хода 12 уз – 1500 миль. Артиллерийское вооружение корабля, как и на катерах пр. 205, состояло из двух 30-мм артустановок АК-230 с управлением от РЛС МР-104 «Рысь», а вместо ракетного оружия были установлены 4 однотрубных торпедных аппарата ОТА-40, бомбосбрасыватели, две гидроакустические станции – МГ-329 и МГ-11, навигационная РЛС «Рейд». Численность экипажа составляла 35 человек. За счет значительного увеличения объема надстройки была намного улучшена обитаемость корабля, все жилые и служебные помещения были оборудованы системой кондиционирования воздуха. Головной корабль был построен на Ленинградском Приморском заводе (ЛПЗ) и сдан в 1967 г. Там же, в основном, осуществлялось быстрыми темпами (до 5 ед. в год) и строительство серийных кораблей. Всего по заказу Морпогранохраны было построено более 120 ПСКР пр. 205П «Тарантул», из них около 100 на ЛПЗ, а остальные на Владивостокском судостроительном заводе. ПСКР пр. 205П явились самым массовыми кораблями Морпогранохраны и, наверное, нет ни одного морского офицера-пограничника, который не служил бы на этих кораблях.



Пограничный сторожевой корабль пр. 205П

В 1970-е гг. в связи с расширением задач, стоящих перед морскими пограничниками (охрана 200-мильной экономической зоны), их внимание привлекли малые противолодочные корабли (МПК) пр. 1241–2 «Молния-2» (главный конструктор – Е. И. Юхнин), строившиеся для ВМФ. Эти корабли водоизмещением 455 т по сравнению с ПСКР пр. 205П были более мореходными и имели более мощное вооружение. На этих кораблях был установлен две артустановки: АК-176М калибром 76,2 мм в носу и АК-630М калибром 30 мм в корме с управлением от РЛСУ «Вымпел», две реактивные бомбометные установки РБУ-1200, четыре однотрубных торпедных аппарата ОТА-40, бомбосбрасыватели, ГАС «Бронза», НРЛС «Рейд». Два дизеля М-507 мощностью по 10 000 л.с. обеспечивали ему скорость хода около 35 уз, дальность плавания корабля при скорости хода 14 уз составляла 1600 миль, автономность – 10 суток. Численность экипажа корабля для Морпогранохраны была увеличена на 4 человека и составила 45 человек. Всего для пограничников было построено 19 таких кораблей: 9 на Владивостокском судостроительном заводе для Дальневосточного региона и 10 на Ярославском судостроительном заводе, все они несли службу на Черном море и на Балтике. Эксплуатация ПСКР пр. 1241–2 показала, что постройка и эксплуатация этого корабля экономически весьма затратны для решаемого круга задач, поэтому заказчиком в лице Морпогранохраны была поставлена задача создать новый корабль на замену ПСКР проектов 205 П и 1241–2 с учетом новых задач, обусловленных введением 200-мильной экономической зоны.

В 1984 г. под руководством главного конструктора К. Ж. Аванесова в ЦМКБ «Алмаз» был разработан технический пр. 10410, а в 1988 г. закончен постройкой и передан Морпогранохране головной корабль нового поколения, который стал в настоящее время одним из основных в морских силах Пограничной службы ФСБ России. ПСКР пр. 10410 получили высокую оценку моряков-пограничников, благодаря хорошим мореходным качествам, современному вооружению и отличной обитаемости. Этот корабль, в первоначальном варианте имевший водоизмещение 375 т, оснащенный тремя двигателями М-520, развивал скорость хода более 31 уз, дальность плавания его составляла 1500 миль при скорости хода 12 уз, автономность – 10 суток. В качестве артиллерийского вооружения на корабле были предусмотрены две артустановки: АК-176М калибром 76,2 мм в носу и АК-630М калибром 30 мм в корме с управлением от РЛСУ «Вымпел», два однотрубных торпедных аппарата ОТА-40, бомбосбрасыватели, две гидроакустические станции МГ-349 и МГ-7, навигационная РЛС «Вайгач-Найда». Экипаж ПСКР составлял 41 человек. Для высадки десантной партии была предусмотрена моторная шлюпка РШПМ-5,5.

Подробно история создания ПСКР пр. 10410 изложена в статье «Светляк» – 30 лет на охране морских границ», опубликованной в журнале «Морской вестник» № 4 (72) за 2019 г.

Во второй половине 90-х и начале 2000-х гг. ЦМКБ «Алмаз» приступило к созданию третьего поколения кораблей для Морпогранохраны, исходя из предположения, что морские пограничники выполняют задачи, условно в трех зонах:

- 1 зона – прибрежные районы морей, проливов, акватории портов и баз, морские контрольно-пропускные пункты;
- 2 зона – ближняя морская зона;
- 3 зона – дальняя морская и исключительная экономическая зона, в том числе зона морского шельфа.

Для решения задач в 1-й зоне ЦМКБ «Алмаз» предложило ряд быстроходных патрульных катеров, начиная от самого маленького «Ястреба» водоизмещением 9 т, которой благодаря малой осадке можно использовать на реках, до вполне солидного 127-тонного «Миража», обладающего хорошей мореходностью. Основные тактико-технические характеристики этих катеров приведены в таблице.



Пограничный сторожевой корабль пр. 10410

Сокращенные технические проекты быстроходных катеров этого ряда были выполнены на основе имевшихся в ЦКБ наработок частично за счет собственных средств, а затем совместно с рядом заинтересованных предприятий доведены до постройки головных образцов. В содружестве с Рыбинским судостроительным объединением «Вымпел» были построены катера «Мираж» и «Мангуст», с Ярославским судостроительным заводом – катер «Ястреб», с «СФ «Алмаз» – катер «Соболь». Все эти катера успешно прошли испытания, хорошо себя зарекомендовали и нашли применение на службе в составе Морпогранохраны.

Пр. 12260 «Ястреб» разрабатывался под руководством главного конструктора Б. А. Лейкиса. Обводы типа «глубокое V» в сочетании с дизельной установкой (два двигателя фирмы «Вольво-Пента» мощностью по 450 л.с.) и двумя водометами обеспечивают катеру скорость хода свыше 40 уз. Малая осадка благодаря применению водометных движителей позволяет использовать катер как в прибрежной морской зоне, так и на реках и озерах. Экипаж катера состоит из двух человек, на борт может приниматься пограничный

наряд из шести человек с личным оружием. На вооружении катера имеется ручной пулемет ПК калибром 7,62 мм, который имеет три точки установки: в носовой части на комингсе люка и две по бортам на фальшборте в корме. Катер оснащен средствами навигации и связи и спутниковым аварийным радиобуем. На катере имеются двухместная каюта для отдыха личного состава, кают-компания, камбуз для подогрева пищи и санблок. Помещения обслуживаются системой кондиционирования воздуха. Катер оборудован всеми необходимыми системами, удовлетворяющими требованиям по защите окружающей среды. На Ярославском судостроительном заводе построена серия таких катеров по заказу Морпогранохраны.

Пр. 12150 «Мангуст», разработанный под руководством главного конструктора Б. А. Лейкиса, отличается тем, что на нем впервые в практике бюро в качестве движительно-рулевого комплекса применены приводы Арнесона с частично-погруженными гребными винтами (ЧПВ). Они обеспечивают катеру высокое пропульсивное качество, отличную маневренность и малую осадку. На катере имеется морская тумбовая пулеметная установка калибром 14,5 мм, в допол-



Катер пр. 12260



Пограничный катер пр. 12150

Таблица

Основные характеристики быстроходных патрульных катеров

Характеристика	Значение характеристик катеров проектов			
	12260 «Ястреб»	12150 «Мангуст»	12200* «Соболь»	14310* «Мираж»
Вооружение	Пулемет 1×7,62	Пулемет 1×14,5	Пулемет 1×12,7; 4 ПЗРК	АУ 1×30; 2×14,5; 8 ПЗРК
Кораблестроительные элементы: – водоизмещение полное, т – главные размерения L×B×T, м	9,0 12,7×3,4×0,66	29,5 19,5×4,6×1,13	56,5 28,0×5,8×1,4	127 35,4×6,6×1,8
Главная энергетическая установка: – тип** – количество и мощность ГД, л.с. – мощность ДГ, кВт	Дизель 2 2×450 1×6	Дизель 2 2×1500 1×16	Дизель 2 2×1800 2×24	Дизель 2 2×4800 2×40
Тип движителя	Водометы	Приводы Арнесона	Приводы Арнесона	Гребные винты
Полная скорость хода, уз	42	50	48	50
Дальность плавания, мили/скорость хода, уз	310/30	400/30	600/30	1500/12
Экипаж, чел.	2	6	7	12
Наличие плавсредств	–	Надувная резиновая лодка	Жестконадувная лодка	Жестконадувная лодка

Примечания: *Катер оборудован комплексом автоматически управляемых интерцепторов.

** Конкретный тип двигателя подбирается по согласованию с заказчиком.



Пограничный корабль пр. 14310

нение к которой может быть установлен ручной пулемет ПК калибром 7,62 мм или 30-мм автоматический гранатомет. Катер оснащен средствами навигации и связи и спутниковым аварийным радиобуем. Для высадки досмотровой партии в кормовой части катера на специальном устройстве для спуска и подъема предусмотрена надувная резиновая шлюпка с подвесным мотором. Экипаж из шести человек размещается в двух каютах (командный состав) и четырехместном кубрике. На катере имеются кают-компания, камбуз для подогрева пищи и санблок. Помещения обслуживаются системой кондиционирования воздуха. Катер оборудован всеми необходимыми системами, удовлетворяющими требованиям к защите окружающей среды. Головной катер, построенный на Рыбинском «СЗ «Вымпел», заслужил высокую оценку Морпогранохраны, и с 2006 г. ведется серийное строительство этих катеров. Они очень хорошо зарекомендовали себя в борьбе с браконьерами на Каспии.

Интерес к этому катеру проявил и ряд других ведомств, в частности МЧС. По просьбе этого ведомства был построен такой катер с водометными движителями. Следует отметить, что имела место транспортировка катера «Мангуст» самолетом Ан-124 «Руслан». Всего на сегодняшний день построено свыше 70 катеров.

Особого внимания заслуживает пр. 14310 быстроходного патрульного катера «Мираж». Разработка его начиналась под руководством главного конструктора А. В. Шляхтенко, затем работами руководили главные конструкторы Н. А. Серков и Ю. В. Арсенев, в настоящее время главным конструктором является Б. А. Лейкис. Хотя обводы его корпуса близки к традиционным для ЦМКБ «Алмаз», катер оборудован и традиционной пропульсивной установкой с наклонными гребными валами и суперкавитирующими гребными винтами. При водоизмещении 126 т он развивает скорость хода 50 уз на тихой воде. Это достигается благодаря использованию на нем впервые комплекса автоматически управляемых интерцепторов (КАУИ). Использование комплекса КАУИ позволило уменьшить влияние центровки на ходовые качества, улучшить маневренные качества и снизить амплитуду бортовой качки. Катер оборудован четырьмя носовыми и четырьмя кормовыми днищевыми интерцепторами. На волнении высотой волны 1,8 м (3%-й обеспеченности) была достигнута скорость хода 43 уз.

Вооружение катера включает 30-мм артустановку АК-306 в носу и две расположенные по бортам морские тумбовые установки с пулеметами калибром 14,5 мм. Кроме этого, на катере могут быть размещены ПЗРК типа «Игла». Катер оснащен средствами навигации и связи и спутниковым аварийным радиобуем. Для высадки досмотровой партии имеется жестко-надувная лодка с подвесным мотором. Экипаж катера из 12 человек размещается в одно-, двух- и четырехместных каютах, на катере имеются кают-компания, столовая команды, камбуз, душевая, галлюн и умывальная команды. Все помещения оборудованы сис-

темой кондиционирования воздуха. На Рыбинском судостроительном заводе «Вымпел» построено для Морпогранохраны три катера.

На катере пр. 12200 «Соболь», разработанном под руководством главного конструктора Б. А. Лейкиса, применены одновременно два новшества: комплекс КАУИ, как на «Мираже», и в качестве движительно-рулевого комплекса – привод Арнесона с частично погруженными гребными винтами. Головной катер, построенный на АО «СФ «Алмаз», показал высокие скоростные и мореходные качества. При водоизмещении 56,5 т он развил скорость 48 уз. На катере имеется морская тумбовая пулеметная установка калибром 14,5 мм. Для борьбы с воздушными целями предусмотрено размещение четырех ПЗРК «Игла». Катер оснащен средствами навигации и связи и спутниковым аварийным радиобуем. Для высадки досмотровой партии в кормовой части катера на специальном устройстве для спуска и подъема предусмотрена жестко-надувная надувная лодка с подвесным мотором. Экипаж из семи человек размещается в одно- и двухместной каютах (командный состав) и четырехместном кубрике. На катере имеются кают-компания, камбуз для подогрева пищи и санблок. Помещения обслуживаются системой кондиционирования воздуха. Катер оборудован всеми необходимыми системами, удовлетворяющими требованиям по защите окружающей среды. Всего по заказу морских пограничников построено 22 таких катера.

Для решения задач во 2-й зоне остается актуальным благодаря своим высоким тактико-техническим данным и эксплуатационным качествам ПСКР пр. 10410 «Светляк», тем более что АО «ЦМКБ «Алмаз» постоянно работает над совершенствованием этого проекта, чутко откликаясь как на пожелания заказчика, так и на веяния времени. Это наглядно видно на примере этого корабля, который строят уже в течение почти 35 лет.

Так, если на первых кораблях постройки 90-х гг. для высадки досмотровой партии устанавливали тихоходную шлюпку РШПМ 5.5, которую спускали с помощью шлюпблук системы Иолко, то в нулевые годы ей на смену пришла быстроходная лодка жестко-надувной конструкции с мощным подвесным мотором, спускаемая электрогидравлическим краном. На последующих кораблях появились уже два катера такой же конструкции с дизельными двигателями и со специальными спуско-подъемными устройствами, позволяющими выполнять спуски и подъемы катеров вместе с досмотровой партией на малом ходу корабля.

Существенно возросла и степень автоматизации управления кораблем, так, если на первых кораблях постройки 90-х гг. была применена система ДАУ «Орион-10410–2 МЗ» главными двигателями и дизель-генераторами, то на последующих кораблях уже предусмотрена комплексная система управления всеми техническими средствами корабля, включая систему видеонаблюдения в отсеках. Это позволило сократить численность личного состава корабля до 27 человек.

В свою очередь, сокращение численности личного состава позволило улучшить условия обитаемости: офицеры размещаются в одноместных каютах, а старшины и матросы – в двух- и четырехместных. Во всех жилых и служебных помещениях предусмотрена эффективная чиллерная система кондиционирования воздуха.

Большая работа была проведена по оптимизации состава энергетической установки, что позволило значительно повысить ее ресурс, улучшить маневренные характеристики корабля.

Менялся и состав вооружения корабля. Когда в нулевые годы возник дефицит артустановок АК-176 М и существенно возросла их стоимость, ЦМКБ разработало первоначально вариант корабля с двумя артустановками АК-630 М с управлением стрельбой от визирных колонок, затем с одной артустановкой АК-306 с управлением от оптико-электронной станции и двумя 12,7-мм пулеметами «Корд» по бортам. Однако когда напряженная обстановка на Черном море потребовала от корабля быть «зубастым», в кратчайшие сроки был разработан его вариант с артустановками АК-176 МА и АК-306 с управлением от РЛСУ «Багира». Вновь на корабле появились средства борьбы с подводными диверсантами. Два таких корабля уже переданы заказчику в 2022 г.

Все перечисленные мероприятия привели к увеличению водоизмещения корабля и некоторому снижению скорости хода, но в целом повысили его боевые и эксплуатационные качества. Работами по модернизации ПСКР пр. 10410 руководит главный конструктор В. В. Кучер.

Всего с момента сдачи первого корабля на трех заводах построено и находятся в стадии строительства 42 корабля.

Для решения задач в 3-й зоне первоначально предполагалось предложить ПСКР на базе корвета пр. 20380, однако, проанализировав опыт эксплуатации уже имевшихся в составе Морпогранохраны кораблей, от этой идеи отказались в пользу специализированного корабля, так как предыдущий опыт показал, что приспособление кораблей, спроектированных для ВМФ, для пограничной службы в силу ее специфики, себя не оправдало.

До недавнего времени для охраны дальней морской зоны, особенно с введением 200-мильной исключительной экономической зоны, в составе морских сил ПС ФСБ России имелось в основном два типа кораблей: ПСКР пр. 745, спроектированного на базе морского буксира, и ПСКР пр. 11351 – на базе СКР пр. 1135. Однако эти корабли не могли эффективно выполнять стоящие перед ними задачи по следующим причинам:

- морские буксиры имели недостаточную скорость хода, слабое вооружение (30-мм артустановки) и не имели вертолета;
- ПСКР пр. 11351 были плохо приспособлены к несению длительной патрульной службы и очень дороги в эксплуатации из-за комбинированной газотурбинной установки, которая имеет относительно небольшой моторесурс и рас-

ходует большое количество топлива даже на экономическом ходу, а также из-за избыточного количества личного состава, необходимого для обслуживания сложной техники.

Учитывая это, в 2008 г. специалисты береговой охраны по результатам проведения НИР сформулировали основные требования к кораблю, предназначенному для несения службы в исключительной экономической зоне. Они заключались в следующем: продолжительность пребывания в море для выполнения оперативно-служебных задач (50% времени – на ходу, 50% времени – в дрейфе) – до 60 суток; дальность плавания – до 12 000 миль; категория усиления корпуса – достаточная для плавания в разряженном льду толщиной 0,6–0,8 м. На корабле с постоянным базированием поисково-спасательного вертолета требовалось разместить не менее трех быстроходных высадочных средств, включая стационарный катер в кормовом слипе и две полужесткие или надувные шлюпки.

По результатам предварительных проработок, выполненных рядом ведущих ЦКБ отрасли, в феврале 2010 г. было окончательно сформулировано тактико-техническое задание (ТТЗ) и объявлен конкурс на проектирование корабля, в котором принимали участие Северное ПКБ, Нижегородское ЦКБ «Вымпел», Зеленодольское ПКБ и ЦМКБ «Алмаз». По результатам конкурса победителем было признано ЦМКБ «Алмаз», с которым Департаментом Береговой охраны ПС ФСБ России был заключен договор на разработку эскизного и технического проектов 22100 «Океан». Главным конструктором проекта был назначен Б. А. Лейкис, под руководством которого выполнялись все предварительные проработки. В соответствии с ТТЗ было принято эшелонное расположение двухвальной ГЭУ. Определяющим для выбора производителя главных механизмов было основное требование: их ресурс должен соответствовать расчетному сроку службы корабля – 40 лет (120 000 ч). Было также решено, что для работы в режиме патрулирования корабля на малых ходах в дизельной ГЭУ предусмотреть режим частичного электроподвижения с использованием обратимого валогенератора. На головном корабле комплексную поставку ГЭУ (главные двигатели, дизель-генераторы, движительный комплекс и система управления) финская фирма «Wärtsilä» с контрагентом, изготавливающим валопроводы, ВРШ и системы управления к ним предусматривалось НПО «Винт».

Главные размеры корабля определяли, исходя из площадей и объемов, необходимых для расположения всех корабельных помещений, цистерн, открытых палуб, взлетно-посадочной площадки для корабельного вертолета и ангара, рабочих и досмотровых шлюпок, спасательных средств с обеспечением оптимальной остойчивости, ходкости, управляемости и мореходности. Для возможности использования оружия и вертолета на заданном волнении моря установлены активные средства умерения качки – бортовые управляемые рули, которые при плавании в ледовых условиях убираются в корпус. В их эффективности убедился экипаж, когда



Пограничный корабль пр. 22100



Пограничный сторожевой корабль пр. 23550

корабль попал в 7-балльный шторм в Баренцевом море при переходе к постоянному месту базирования в Мурманск.

При проектировании корабля особое внимание было уделено обитаемости. С целью уменьшения воздействия качки все жилые и служебные помещения, как и основные боевые посты, расположены в районе миделя. Офицеры и команда (все контрактники) размещаются только в одно- и двухместных каютах с индивидуальными санблоками. Жилая зона отделена от помещений с повышенными уровнями шума. Для снижения его уровня применена чиллерная система кондиционирования воздуха, работающая от датчиков температуры в автоматическом режиме.

Созданный специально для головного корабля «Океан» уникальный навигационно-тактический комплекс (НТК) «Мателот-22100» позволил интегрировать все средства управления самим кораблем и управлять пограничными силами с борта корабля из так называемого ситуационного центра, решать задачи мобильного управления межведомственными разнородными силами в районе проведения операций, создавать единое информационно-управляющее пространство корабля и региона в составе единой системы освещения обстановки в оперативном районе.

В состав НТК входят интегрированная мостиковая система, информационная система ГКП, подсистема отображения видеoinформации, комплексной обработки и трансляции навигационной информации, а также система управления полетами палубного вертолета. Информация от каждой из подсистем может быть выведена на любой экран.

Строительство головного корабля, получившего наименование «Полярная звезда», осуществлялось на Зеленодольском судостроительном заводе им. А. М. Горького. Закладка корабля состоялась в мае 2012 г., спуск на воду осуществлен в мае 2014 г., а затем весной 2015 г. он был переведен для окончательной достройки в Кронштадт, где и проводились его швартовные, заводские ходовые и государственные испытания, которые полностью подтвердили проектные характеристики. Приемный акт корабля был подписан 15 декабря 2016 г. На этапе испытаний заказчик особо отметил отличную мореходность, эффективность умерения качки. По своему техническому уровню ПСКР пр. 22100 «Океан» соответствует уровню лучших зарубежных аналогов, а во многом превосходит его.

Решение о строительстве серийных кораблей было принято еще до сдачи головного. Главным конструктором серийных кораблей стал Н. Н. Комаров. Два серийных корабля, предназначенные для Дальневосточного региона получили наименования «Петропавловск-Камчатский» и «Анадырь». Первый из них сдан в 2018 г., испытания второго заканчиваются в 2023 г. Некоторая задержка с окончанием строительства и сдачи кораблей связана с изменением внешнеполитической обстановки и началом внедрения решений по импортозамещению. На серийных кораблях

вместо финских дизелей фирмы «Wartsila» установлены дизели Коломенского завода 16 Д49, изменились поставщики дизель-генераторов, успокоителей качки, бортовых катеров и многого другого оборудования. Однако все эти изменения никак не отразились на тактико-технических характеристиках кораблей. Первые два из них уже весьма успешно несут службу в своих регионах.

В первой половине 2015 г. ЦМКБ «Алмаз» под руководством главного конструктора Б. А. Лейкиса по договору с Пограничным научно-исследовательским центром разработало аванпроект перспективного пограничного сторожевого корабля ледового плавания для охраны исключительной экономической зоны и континентального шельфа Российской Федерации. В вариантах аванпроекта были рассмотрены все основные вопросы, связанные с проектированием кораблей ледового класса, кроме того, проведены модельные испытания в бассейне Крыловского научно-исследовательского центра.

Эта работа дала возможность ЦМКБ в короткие сроки разработать сокращенный технический проект и в тандеме с «Адмиралтейскими верфями» принять участие и победить в конкурсе по выбору проектного варианта и поставщика патрульных кораблей ледового класса для ВМФ. В 2016 г. были заключены договоры между заказчиком и «Адмиралтейскими верфями» на постройку двух кораблей ледового плавания по пр.23550 «Арктика», предназначенных для контроля судоходства в Арктической зоне страны. Головной корабль получил наименование «Иван Папанин», серийный – «Николай Зубов».

При создании этих кораблей будет реализован принцип контейнеризованного вооружения, что позволит довооружать их в особый период, и полного электродвижения с использованием высоковольтного оборудования, а также внедрена интегрированная информационно-управляющая система открытой архитектуры.

Ознакомившись с этим проектом, Департамент морской охраны ПС ФСБ России, признал возможным принять его за основу для строительства ПСКР ледового плавания (шифр проекта – «Ермак») с внесением в него ряда изменений, отражающих специфику пограничной службы. Строительство головного корабля, получившего наименование «Пурга», ведется на Выборгском судостроительном заводе. В октябре 2022 г. состоялся спуск его на воду.

Как видно, корабли, построенные и строящиеся по проектам ЦМКБ «Алмаз», позволяют выполнять задачи, стоящие перед Морпогранохраной нашей страны. Специалисты ЦМКБ «Алмаз» оперативно реагируют в своей работе на запросы морских пограничников и успешно реализовать их в жизни. Традициям тесного сотрудничества проектантов АО «ЦМКБ «Алмаз» и Морпогранохраны, для которой они создают корабли, зародившимся еще в 1932 г. на Петровском острове, уже более 90 лет. ■

ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАБЕЛЕУКЛАДОЧНЫХ РАБОТ ЧАСТЬ 2*

*Р.Н. Караев, канд. техн. наук, почетный доктор СПбГМТУ,
контакт. тел. +7 (994) 50 210 9269*

Натяжное устройство представляет собой линейное укладочно-подъемное устройство гусеничного типа, состоящее из: корпуса, изготовленного из сварных стальных конструкций; неподвижного цепного блока, установленного на опорной раме агрегата; верхнего цепного блока, соединенного с корпусом опорной рамы двумя гидроцилиндрами.

Гидравлическое натяжное устройство гусеничного типа, обеспечивающее натяжение кабеля, имеет следующие параметры:

- наибольшая держащая сила при прокладке кабеля – 60 кН;
- наибольшее тяговое усилие при подъеме – 60 кН;
- максимальная скорость при прокладке – 25 м/мин (0,41 м/с);
- максимальная скорость при подъеме – 15 м/мин (0,25 м/с);
- статическая (максимальная) нагрузка на тормозе – 75 кН.

Натяжное устройство оборудовано механическим счетчиком измерения длины кабеля, который соединен с опорной рамой устройства посредством упругих роликов и электронных динамометрических датчиков.

Аварийный тормоз используется в случае неисправности натяжного устройства и способен обеспечивать удержание кабеля под статической нагрузкой 70 кН. Вспомогательная лебедка с барабаном канатоемкостью 250 м стального троса диаметром 18 мм и разрывным усилием 210 кН предназначена для подъема кабеля при ремонтных операциях, подъема и опускания направляющей балки, а также для подъема на палубу баржи буюв, указывающих трассу.

Работа лебедки обеспечивается дизель-гидравлической установкой и регулируется вручную двухпозиционным клапаном. Последний осуществляет выбор режима работы лебедки (подъем или прокладка).

Опорная конусообразная металлоконструкция, расположенная над кабельным трюмом, обеспечивает укладку кабеля в бухту и размотку кабеля из бухты при его подъеме и прокладке соответственно, а также служит опорой для вспомогательного натяжного устройства гусеничного типа.

Вспомогательное натяжное устройство, установленное на конусообразной металлоконструкции, препятствует образованию петель между основным натяжным устройством и кабельной бухтой в процессе подъема кабеля. Конструкция его соответствует конструкции основного натяжного устройства. Оно приводится в действие в случае возникновения петель. В процессе работы скорости основного и вспомогательного натяжных устройств автоматически устанавливаются одинаковыми.

Направляющий желоб стальной сварной конструкции, установленный в кормовой части баржи на двух подшипниках скольжения, предотвращает резкий перегиб кабеля при сходе его с технологической линии и исключает трение о выступающие конструкции корпуса баржи. В «походном положении» направляющий желоб заваливается на палубу с помощью вспомогательной лебедки. Отклоняющее устройство обеспечивает плавное изменение направления кабеля при сходе его с конусообразной металлоконструкции.

* Окончание. Начало см. «Морской вестник», 2022, №1 (85)

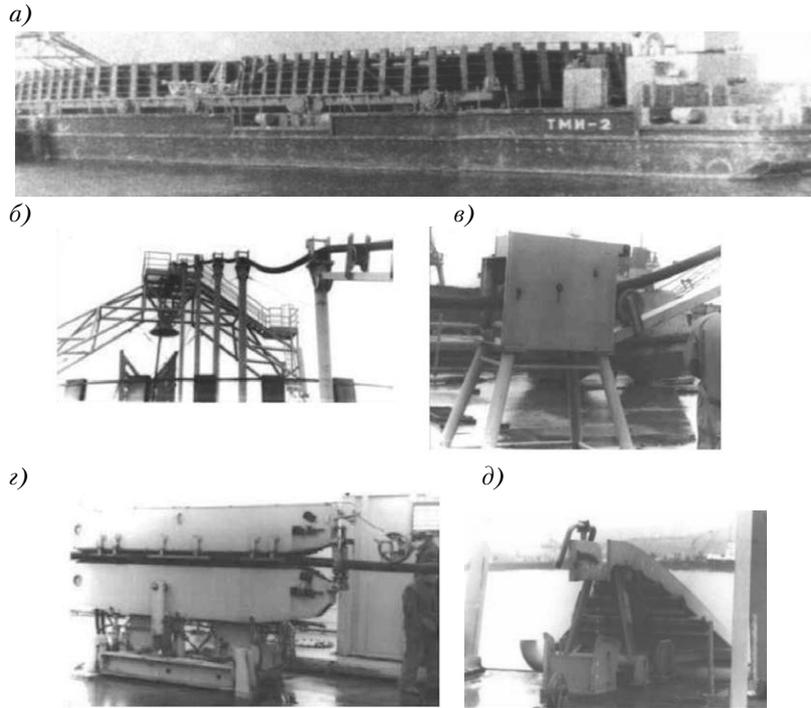


Рис. 5. Кабелеукладочная баржа ТМИ-2: а – баржа с кабельными бухтами на поддонах; б – металлоконструкция с конусной направляющей для размотки кабеля из бухты; и опорно-ограничительные устройства; в – отклоняющее устройство; г – натяжное устройство; д – направляющий желоб

Опорно-ограничительные ролики ограничивают перемещение кабеля в вертикальной и горизонтальной плоскостях, предотвращая при этом его провисание и изгиб.

Система для мойки кабеля состоит из водяного насоса, шлангов и сопел. Водяная струя обеспечивает очистку кабеля, поднятого со дна моря в процессе ремонтных работ. Питание насоса осуществляется от общей судовой сети.

Силовая гидравлическая установка с дизельным приводом, обеспечивающая работу натяжного устройства и вспомогательной лебедки, размещается в специальном контейнере. Связь между контейнером, натяжным устройством и вспомогательной лебедкой осуществляется гибкими шлангами.

В целом рассмотренные две модификации барж, отвечающие основным требованиям, предъявляемым к плавсредствам такого класса и назначения, являются новым типом внутрипромышленных кабелеукладчиков с упрощенной формой корпуса, которая обеспечивает высокую технологичность постройки и минимальную строительную стоимость.

В НИПИ «Гипроморнефтегаз» совместно с фирмой «Nokia» для централизованного электроснабжения МСП на месторождении «Гонешли» был разработан проект кабелеукладочной баржи (главный инженер проекта – Р.Н. Караев) на базе несамостоятельного транспорта морского исполнения (ТМИ-2).

В соответствии с проектом на палубе ТМИ-2 (рис. 5) предусматривалось размещение 35 кВ подводного силового кабеля длиной 50 км, уложенного в двух бухтах (по 25 км каждая) на специальных поддонах, размер каждой бухты составляет 18 м × 13 м × 2 м, масса порядка 600 т, а также кабелеукладочной линии для проведения полного цикла работ по укладке

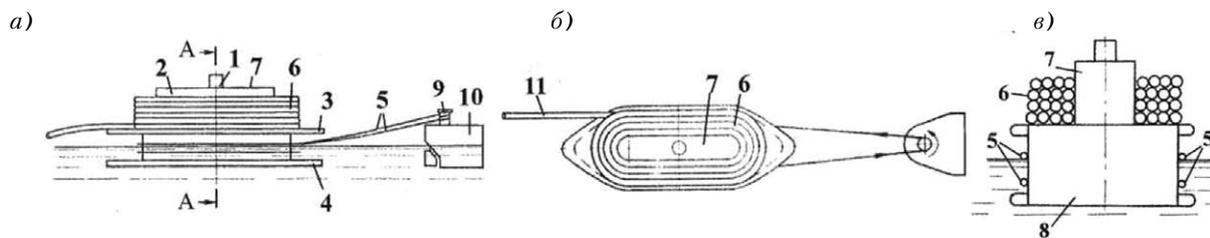


Рис. 6. Барабан для транспортировки и укладки трубопровода (кабеля): а – общий вид; б – вид в плане; в – сечение А-А 1 – вертикальная ось; 2 – плавучий цилиндр; 3, 4 – верхняя и нижняя реборды; 5 – буксирный канат; 6 – гибкий трубопровод (кабель); 7, 8 – верхний и нижний ярусы; 9 – судовой шпиль; 10 – буксирное судно; 11 – свободный конец трубопровода (кабеля)

и ремонту подводного кабеля.

Конструкция поддонов и способ их крепления к настилу палубы ТМИ-2 подробно описаны в работах [4, 5].

Кабелеукладочная линия включает:

- металлоконструкцию с конусной направляющей для размотки кабеля из бухты и опорно-направляющие ролики в виде наклонной рольганговой линии (рис. 5, б);
- отклоняющее устройство, обеспечивающее плавное изменение направления кабеля при сходе его с рольганговой линии (рис. 5, в);
- два натяжных устройства (главное, установленное на палубе (рис. 5, г), и вспомогательное – над конусообразной направляющей);
- откидной направляющий желоб, предотвращающий резкий перегиб кабеля при сходе его с технологической линии и исключающий перетирание кабеля о выступающие конструкции корпуса (рис. 5, д).

Технологическое оборудование работает от гидравлической установки с дизельным приводом мощностью 50 кВт.

В развитие метода сматывания гибких линий разработаны различные плавучие устройства, исключающие необходимость использования специальных судов. На рис. 6 показано одно из таких технических решений, защищенное авторским свидетельством № 1015171 (С. И. Юдин, Д. А. Бабаев, Р. Н. Караев, И. С. Требин. «Барабан для транспортировки на плаву навитого трубопровода (кабеля) и его укладки». Бюллетень изобретений, 1983, № 16) предусматривает использование плавучего цилиндра 2 с ребордами 3, 4, выполненного двухъярусным: на верхнем ярусе 7 размещается намотанный трубопровод (кабель); на нижний ярус 8 навит буксирный канат. С целью уменьшения лобового сопротивления в водной среде и увеличения емкости барабана нижний 8 и верхний 7 ярусы выполнены в овальной форме [6]. Барабан может вращаться вокруг вертикальной оси, которая имеет возможность стопорения.

Барабан для транспортировки на плаву намотанного трубопровода (кабеля) и его укладки работает следующим образом. Заполнение барабана трубопроводом (кабелем) проводят в проеме между двумя причалами. На вертикальную ось 1 надевают петлю стопорного каната, свободный конец которого крепится на одном из причалов. Буксирный канат 6 подается на шпиль или брашпиль, установленный на другом причале. При работе шпиля (брашпиля) производится намотка кабеля на верхний ярус 7 барабана 2 со стороны причала, на котором закреплен канат, стопорящий ось 1. После намотки трубопровода (кабеля) буксирный канат 5 подают на шпиль 9 буксира 10 и транспортируют в район прокладки.

На месте прокладки трубопровода (кабеля) к его свободному концу 11 крепят груз. В процессе работы шпиля 9 и движения буксира 10 цилиндр 2 начинает вращаться и трубопровод 6 сматывается с верхнего яруса 7. Скорость сматывания и укладки зависит от скорости вращения шпиля 9. После окончания укладки трубопровода (кабеля) барабан буксируется к причалам для новой намотки.

КАБЕЛЕУКЛАДОЧНЫЕ СУДА

Для укладки, ремонта и обслуживания морских (межконтинентальных) кабельных линий связи и электроснабжения,

используются специальные кабелеукладочные суда.

Конструктивной особенностью этих судов является необычная форма носовой оконечности, характеризующаяся выступающим за габариты судна крамболом со шкивами большого диаметра, через которые кабель опускается в море или поднимается из воды (рис. 7) и расширенной частью корпуса в районе размещения кабельного барабана.

Технологический комплекс по укладке подводных кабельных линий, как правило, включает направляющее, натяжное, опорно-ограничительное и спусковое устройства. В качестве кабельных машин, обеспечивающих прокладку и подъем кабеля, могут использоваться электроприводные лебедки, а также устройства гусеничного типа.

Кабелеукладочные суда оборудуют также водолазными комплексами, дистанционно управляемыми подводными траншекопателями, подводным телевидением, устройствами для подъема и сращивания кабелей. На рис. 7 показано кабелеукладочное судно «Discovery» с системой динамического позиционирования.

Главные размерения судна: длина – 119,5 м, ширина – 18,5 м, эксплуатационная осадка может меняться в диапазоне 5,5–6,5 м. Площадь рабочей палубы – 1200 м². Удельная нагрузка на палубу составляет 5 т/м², в отдельных местах – 8 т/м².

Три подпалубных тенкса способны обеспечивать хранение и транспортировку кабеля общей массой 3894 т.

Электрогидравлический палубный кран грузоподъемностью 140 т имеет телескопическую стрелу. Энергетическая установка судна включает 4 дизеля фирмы «Wartsila» мощностью по 2673 кВт каждый. Три носовых подруливающих устройства мощностью по 1350 кВт каждое в сочетании с кормовыми



Рис. 7. Кабелеукладочное судно «Discovery» с системой динамического позиционирования: а – объемное изображение; б – вид на носовую часть

подвесными винторулевыми колонками обеспечивают судну повышенную маневренность и высокую степень стабилизации на трассе укладки. Глубоководный водолазный комплекс судна имеет рабочую глубину до 450 м и может принять одновременно 18 водолазов. В состав комплекса входят декомпрессионная камера, два водолазных колокола на 3 человека каждый, спасательный гипербоот и газохранилища. Бортовой запас сжатых газов, необходимых для обеспечения рабочих циклов погружений водолазов, составляет 10 800 м³.

Новейшее кабелеукладочное судно «Isaak Newton», принадлежащее компании Jan De Nul Group имеет длину 138 м, ширину 32 м. Полная грузоподъемность – порядка 13 000 т (рис. 8).

Транспортировка кабеля весом порядка 10 000 т осуществляется в двух специальных тенксах. Малый тенкс, расположенный под грузовой палубой, вмещает 1200 т, большой тенкс, расположенный на грузовой палубе, – порядка 8000 т.

Размотка кабеля из бухты осуществляется с помощью натяжного устройства, расположенного над бухтой на специальной металлоконструкции, которая соединяется с наклонной опорно-рольганговой линией, обеспечивающей плавный сход кабеля в воду.

В процессе прокладки, как правило, подводный кабель зарывается в траншею с помощью траншекопателя «плужного» типа на гусеничном ходу. Плуг удерживается с помощью буксирных канатов, которые обеспечивают его передвижение за судном.

Для систематических обследований технического состояния уложенных кабелей судно укомплектовано телеуправляемым необитаемым подводным аппаратом (ТИПА) «привязного» типа.

ЭКСПЛУАТАЦИЯ И РЕМОНТ ПОДВОДНЫХ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ

Надежное и эффективное использование силовых подводных кабельных линий определяется уровнем развития системы технической эксплуатации этих коммуникаций. Важным показателем этой системы является обеспечение гарантированного уровня подводно-технического обслуживания и ремонта.

Для обнаружения повреждения отдельной жилы кабеля или междуфазных замыканий применяют импульсно-локационное устройство. Универсальная установка для контрольных измерений кабеля, работающая по мостиковой схеме, позволяет выявлять повреждения при высоких значениях сопротивления изоляции. С помощью специально следящего оборудования определяется точность укладки кабельной линии строго по курсу, а также выявляются повреждения кабельных жил при глубине моря до 200 м.

В этом плане практический интерес представляет универсальный подводный поисковый комплекс «Юпитер», предназначенный для определения местоположения и глубины залегания подводных силовых кабелей, а также для выявления повреждения, типа замыкания жил между собой и замыкания одной или нескольких жил на броню.

Принцип действия комплекса основан на исследовании электромагнитного поля, создаваемого броней кабеля. Для этого на поверхности к броне подключается высокочастотный генератор, входящий в комплект «Юпитера», который создает переменный ток определенной частоты. Водолаз использует подводный приемник с индуктивным датчиком, генерирующим световой или звуковой сигнал в зависимости от величины и направления электромагнитного поля. По положению приемника относительно дна и изменению уровня передаваемого сигнала водолаз определяет местоположение и глубину залегания коммуникации. Резкое изменение уровня сигнала указывает на замыкание силовых жил кабеля.

Ремонт подводного кабеля начинается с выявления возможного участка повреждения с использованием вышеприведенных устройств и систем. Далее для ремонта силовых



Рис. 8. Общий вид кабелеукладочного судна

кабельных линий могут использоваться методы надводного либо подводного ремонта.

Ремонт кабеля в надводном положении прежде всего связан с необходимостью его захвата и последующего подъема на палубу кабелеукладочного плавсредства. На практике подводно-технических работ для этих целей используют специальное устройство типа «Deniell». Основным рабочим органом данного устройства (рис. 9) являются широко разнесенные относительно вертикальной стойки и жестко с ней связанные лапы, на которые насаживаются режущие лезвия.

В зависимости от размеров лап различают две модификации устройства: с укороченными и удлиненными лапами. При работе на мягком (песчаном, илестом) донном грунте используются грапNELи с удлиненными лапами, при работе на скальном, каменистом грунте – укороченные лапы.

Погруженное в воду устройство путем траления по дну моря своими лапами захватывает кабель, который оказывается зажатым между лезвием и вертикальной стойкой устройства, и начинает его извлекать из грунта. При этом по мере подъема возрастающее тяговое усилие захватного устройства обеспечивает разрезание кабеля. Усилие натяжения определяется техническими возможностями грузоподъемной лебедки и прочностными характеристиками кабеля. Усилие резания поврежденного кабеля рассмотренного устройства составляет порядка 15 тс. После разрезания кабеля грапNELь поднимают на борт, лезвия зачехляют, и грапNELь повторно погружается в воду для проведения операций по подъему разрезанных концов кабеля на палубу судна для проведения ремонтных работ (рис. 10).

Подводный ремонт кабелей может осуществляться с использованием либо ТНПА, либо гипербарических камер или камер с атмосферным давлением. В частности, подводный необитаемый аппарат «Scarab» (США), предназначенный для проведения работ по укладке, инспекции и ремонту подводных кабелей, способен обнаружить заглубленные в грунт кабели, проводить подводную резку, установку зажимов и подъемных тросов на разрезанных концах, а также заглублять кабели.

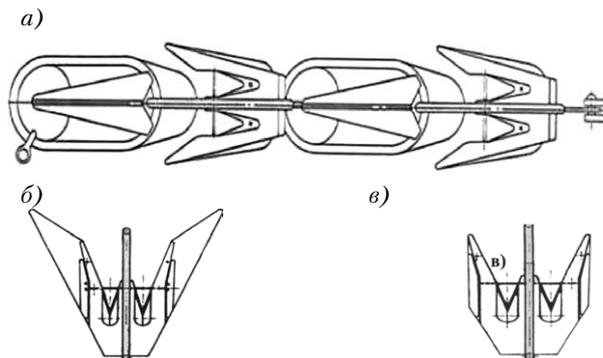


Рис. 9. Устройство для подъема и резания кабеля: а – общий вид устройства; б – удлиненная лапа; в – укороченная лапа

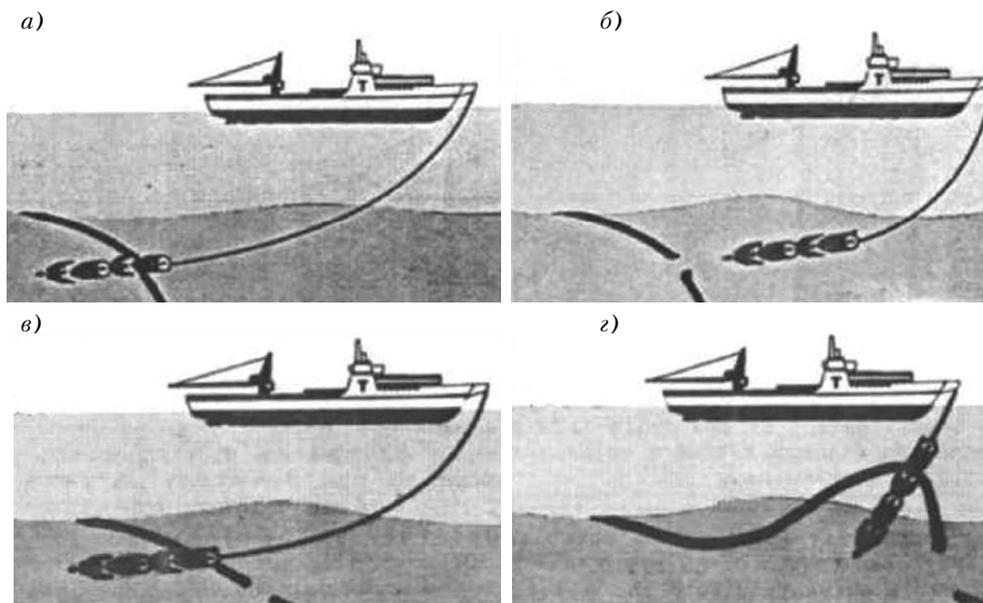


Рис. 10. Схема работы устройства: а – захват кабеля; б – разрезание кабеля; в – захват разрезанного конца кабеля; г – подъем кабеля

ЛИТЕРАТУРА

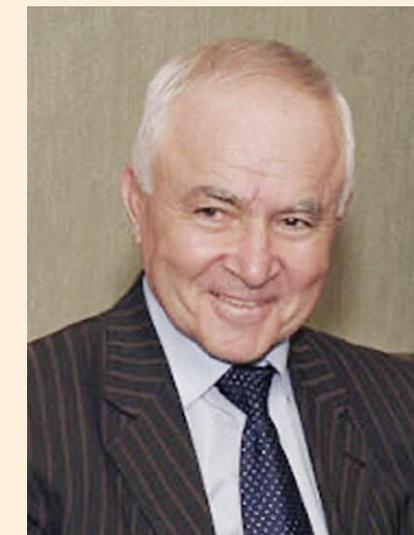
1. Караев Р.Н. Техника и технология подводного обслуживания морских нефтегазовых сооружений. – СПб.: МорВест, 2021. – 424 с.
2. Караев Р.Н., Хачемизов К.А., Тареканов Л.Я. Баржа для прокладки подводных кабелей // Экспресс-информация «Освоение ресурсов нефти и газа морских месторождений». – 1982. – Вып. 1.
3. Караев Р.Н., Скобиков А.И., Тареканов Л.Я. Устройство для прокладки и подъема подводного кабеля. Авт. св. № 1181936, 1985.
4. Караев Р.Н. Плавающие сооружения морской нефтегазовой индустрии. – Баку: ЭЛМ, 2006.
5. Караев Р.Н. Океанотехника: системный анализ современного состояния и перспективы развития. – СПб.: Мор Вест, 2018. – 716 с.
6. Юдин С.И., Бабаев Д.А., Караев Р.Н., Требин И.С. Барабан для транспортировки на плаву навитого трубопровода (кабеля) и его укладки. Авт.св. № 1015171, 1983. ■

25 июня 2023 г. исполняется 80 лет со дня рождения Ш. Г. Алиева, доктору технических наук, профессору, заслуженному деятелю науки и техники РСФСР, лауреату Премии Российского комитета оборонных отраслей промышленности, выдающемуся советскому и российскому кораблестроителю, представителю Санкт-Петербургской школы судостроения.

Шамиль Гимбатович Алиев начал работу на заводе «Дагдизель» токарем, занимал последовательно должности инженера-конструктора, начальника расчетно-вычислительного отдела, главного инженера ОКБ по НИР и главного конструктора САПР. С 2008 г. он был генеральным конструктором «Дагдизеля».

Впервые в мировой практике им решена задача устойчивости вихревой пелены за крылом конечного размаха. Под его руководством были теоретически разработаны и практически изготовлены стенды для контроля механических и гидродинамических систем торпед, в проектировании, изготовлении и испытании которых Ш. Г. Алиев принимал лично. Им решена сложнейшая проблема баллистики и приводнения торпед.

Профессор Ш. Г. Алиев имеет ряд авторских свидетельств об изобретении, в том числе на уникальное устройство для оценки переменных состояний объ-



ектов управления. В настоящее время он работает над проблемой развития идей подводных беспилотников и амфибийных кораблей.

Ш. Г. Алиев – научный руководитель, автор и соавтор первой в отечественной и мировой практике Малой энциклопедии «Торпедное оружие», получившей всеобщее признание.

Несмотря на свою большую занятость как конструктора, Шамиль Гимба-

тович по-прежнему вот уже более 50 лет ведет активную просветительскую и военно-патриотическую деятельность.

Он – автор многих трудов, в том числе монографии «Специальная гидрогазодинамика», фундаментальной работы «Решение задачи неустойчивости свободной вихревой пелены для малоизогнутого крыла большого удлинения», целого ряда научных статей и докладов на многих международных научных форумах. Избран в состав национального Комитета по теоретической и прикладной механике. Его имя как одного из основоположников теории аналитического проектирования внесено в Российскую морскую энциклопедию и в Энциклопедию машиностроения РАН по тематике «Корабли и суда».

Деятельность Ш. Г. Алиева, способствовавшая развитию ВМФ и укреплению обороноспособности России, отмечена наградой – орденом Петра Великого 1-й степени.

Редколлегия и редсовет журнала «Морской вестник» поздравляют Шамиля Гимбатовича с юбилеем и желают ему здоровья и дальнейших успехов в развитии отечественной науки. ■

К 80-ЛЕТИЮ Ш.Г. АЛИЕВА

Уход с российского рынка крупнейших зарубежных компаний, занимающихся контейнерными перевозками, вызвал значительные изменения в структуре контейнерного рынка России. Появились новые логистические маршруты в Центральной Азии, Каспийском регионе, Узбекистане, Казахстане, Азербайджане и произошла переориентация грузопотоков прежде всего на Дальний Восток и, как следствие, предельная загрузка дальневосточных операторов контейнерных перевозок. При этом транспортный коридор «север–юг» становится одним из ключевых, определяющих направление геополитического и экономического развития России.

На фоне сложившейся ситуации остро ощущается нехватка российских контейнерных судов, как крупнотоннажных вместимостью около 3000 TEU, так и небольших судов смешанного плавания, ориентированных в том числе на внутренние водные магистрали. С учетом высокой стоимости импортного контейнерного флота очевидна необходимость строительства контейнерных судов на российских верфях.

В обеспечение этой потребности Объединенная судостроительная корпорация на мощностях Южного Центра судостроения и судоремонта (ЮЦСС) приступила к строительству четырех сухогрузных судов (контейнеровозы) смешанного плавания по пр. 00108, техническую документацию которого разрабатывает АО «КБ «Вымпел».

Контракт на строительство и поставку сухогрузных судов (контейнеровозов) повышенной контейнеровместимости заключен в декабре 2022 г. Строительство судов пр. 00108 осуществляется на судостроительном заводе «Лотос», что позволит обеспечить дополнительную загрузку, необходимую для стабильной работы предприятий Астраханского региона.

Пр. 00108 разработан с учетом особенностей эксплуатации судна в морских районах, но при этом является универсальным решением. Суда могут эксплуатироваться в морских районах R2 в соответствии с классом Российского Классификационного общества, а также на внутренних водных путях РФ с учетом ограничений по габаритам и осадке, включая Волго-Балтийский водный путь и Волго-Донской судоходный канал.

Сухогрузы-контейнеровозы пр. 00108 предназначены для перевозки до 531 контейнера международного стандарта, в том числе 72 рефрижераторных контейнеров. В грузовых трюмах и на люковых закрытиях предусматривается перевозка генеральных и навалочных грузов, в частности, круглого леса, пиломатериалов, металла в связках и рулонах, зерна, угля, опасных грузов в упаковках классов: 1; 2.1; 2.2; 2.3; 3; 4.1; 4.2; 4.3; 5.1; 5.2; 6.1; 8 и 9. Грузовой трюм № 2 длиной 72,0 м позволяет перевозить крупногабаритные, длинномерные и тяжеловесные грузы.



УНИВЕРСАЛЬНЫЕ СУХОГРУЗЫ ПОВЫШЕННОЙ КОНТЕЙНЕРОВМЕСТИМОСТИ

В.В. Волков, гл. конструктор, АО «КБ «Вымпел»,
контакт. тел. (831) 439 6723



Таким образом, возможность перевозки грузов большой номенклатуры позволит новым судам пр. 00108 максимально гибко работать на линии в разных направлениях.

Суда пр. 00108 можно эффективно использовать не только в рамках транспортного коридора «север–юг», но и на других линиях, что минимизирует риски при значительном изменении грузооборота. Возможность эффективной круглогодичной эксплуатации в различных регионах в перспективе позволит повысить серийность строительства и снизить стоимость судов.

При разработке пр. 00108 использовалась концепция максимального схождения с эксплуатируемыми сегодня судами смешанного района плавания в части состава энергетической установки, основных компоновочных решений, но при достижении качественно большей контейнеровместимости. Носовое расположение жилой надстройки и рулевой рубки позволило довести контейнеровместимость, как уже сказано, до 531 TEU. Контейнеры расположены в три яруса на люковых закрытиях и в грузовых трюмах.

Главные размерения судна выбраны, исходя из необходимости прохождения по Волго-Донскому каналу. Длина судна составляет 141,0 м, ширина – 16,9 м, высота борта – 6,3 м. Дедвейт судна – около 4900 т в реке при осадке 3,6 м и около 9200 т в море при осадке 5,3 м. Скорость судна – 10 уз. При этом дальность плавания составляет не менее 4000 миль. Автономность по запасам топлива, смазочного масла, пресной воды и провизии – не менее 20 суток для морских условий и 12 суток при плавании по реке.

В качестве главных двигателей предусмотрены два среднеоборотных дизеля мощностью 1200 кВт каждый. Соответствие выбросов NOx главных двигателей стандарту TIER III Правила 13 Приложения VI к МАРПОЛ обеспечивается благодаря установке на судне системы каталитической очистки выхлопных газов.

Одной из особенностей проекта является минимизация использования импортных материалов и комплектующего оборудования. Основное оборудование, применяемое на судне, отечественное либо поставки дружественных стран.

Разработка и строительство универсальных сухогрузов повышенной контейнеровместимости станет значительным вкладом в развитие Каспийского региона как одного из крупнейших транспортных узлов в новой экономической формации. ■

14 апреля на Средне-Невском судостроительном заводе (входит в Объединенную судостроительную корпорацию) состоялась торжественная церемония спуска на воду корабля противоминной обороны «Лев Чернавин». В мероприятии приняли участие председатель Совета директоров АО «ОСК» Георгий Полтавченко, заместитель главнокомандующего ВМФ РФ по вооружению вице-адмирал Игорь Мухаметшин, вице-губернатор Санкт-Петербурга Кирилл Поляков, генеральный директор завода Владимир Середохо, депутат Государственной Думы РФ Михаил Романов, главный инженер Центрального морского конструкторского бюро «Алмаз» Константин Голубев.

Выступая на митинге, Георгий Полтавченко сказал: «В строительстве минных тральщиков Средне-Невскому судостроительному заводу нет равных. Кораблям предприятия удалось набрать «конвейерную» скорость сдачи кораблей проекта «Александрит».

Базовый тральщик «Лев Чернавин» был заложен 24 июля 2020 г. и стал восьмым по счету минным тральщиком, построенным на Средне-Невском судостроительном заводе по пр. 12700 «Александрит». Традиционную бутылку шампанского о борт корабля разбила вдова контр-адмирала Л. Чернавина Галина Викторовна.



Крестная мать корабля Г.В. Чернавина

Корабли проекта «Александрит» имеют самый большой в мире корпус из монолитного стеклопластика, сформированного методом вакуумной инфузии. Его масса значительно меньше металлического корпуса. При этом существенно увеличивается его прочность, ему не страшна коррозия, а срок службы при соблюдении норм эксплуатации неограничен. Проект для отечественного ВМФ был разработан Центральным морским конструкторским бюро «Алмаз». Корабли этого проекта имеют водоизмещение порядка 890 т, длину корпуса 62 м, ширину 10 м, экипаж насчитывает 44 человека. Тральщики типа «Александрит» относятся к новому по-

НА СРЕДНЕ-НЕВСКОМ СУДОСТРОИТЕЛЬНОМ ЗАВОДЕ СПУЩЕН НА ВОДУ КОРАБЛЬ ПРОТИВОМИННОЙ ОБОРОНЫ «ЛЕВ ЧЕРНАВИН»

*Пресс-центр АО «Средне-Невский судостроительный завод»,
контакт. тел. +7 (812) 648 3050*



Церемония освящения корабля перед спуском на воду



Митинг по случаю спуска на воду корабля ПМО «Лев Чернавин». Слева направо: И.Т. Мухаметшин, К.В. Поляков, Г.С. Полтавченко

колению кораблей противоминной обороны и предназначены для поиска, траления и уничтожения мин в прибрежных районах и ближней морской зоне при помощи различных тралов, телеуправляемых и автономных необитаемых подводных аппаратов.

Контр-адмирал Игорь Мухаметшин отметил, что корабль «продолжит славные традиции своих предшественников

в составе Дважды Краснознаменного Балтийского флота».

После спуска на воду корабль «Лев Чернавин» встал у причала завода для продолжения достроечных работ. В ближайшее время заводская сдаточная команда начнет подготовку к первому этапу швартовых испытаний. Передача корабля ВМФ РФ ожидается в конце 2023 г. ■

Д.В. НИКУЩЕНКО - 50 ЛЕТ

Члену редколлегии журнала «Морской вестник», доктору технических наук, доценту Дмитрию Владимировичу Никущенко 27 февраля 2023 г. исполнилось 50 лет. По окончании СПбГМТУ в 1996 г. по специальности «Кораблестроение» он поступил в очную аспирантуру на кафедре теории корабля, в 1999 г. защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности «Теория корабля», а в 2011 г. – на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности «Механика жидкости, газа и плазмы».

Свою трудовую деятельность в Корабелке Дмитрий Владимирович начал в 1999 г. на факультете кораблестроения и океанотехники, кафедре теории корабля, пройдя путь от ассистента, затем доцента и профессора. Сегодня он преподает на факультете цифровых промышленных технологий, кафедре прикладной математики и математического моделирования. С 2017 до мая 2023 г. Д. В. Никущенко исполнял должность проректора СПбГМТУ.

Д. В. Никущенко – специалист в области численного моделирования физико-технических процессов при решении фундаментальных, проектно-конструкторских и эксплуатационных задач морского транспорта. Им развиты оригинальные методы прогнозирования гидродинамических сил и моментов, действующих на суда и подводные объекты при маневрировании в реальном времени, на основе методов вычислительной гидродинамики, в том числе в условиях влияния границ акватории и гидродинамического взаимодействия с другими движущимися объектами; создана оригинальная модель турбулентности, позволяющая моделировать течения в широком диапазоне чисел Рейнольдса, разработаны эффективные математические модели для использования в навигационных тренажерах, системах имитационного моделирования и поддержки принятия решений,



которые были внедрены в различных тренажерных системах.

Дмитрий Владимирович – член Экспертного совета ВАК по проблемам флота и кораблестроения, входит в состав редколлегии журналов «Морской вестник», «Морские интеллектуальные технологии» и «Вестник ВГАВТ», редакционного совета журнала «Российская Арктика». Он – главный редактор «Трудов Санкт-Петербургского государственного морского технического университета».

В 2020 г. выполненная под его руководством научно-исследовательская работа «Разработка технических средств обеспечения айсберговой безопасности морских нефтегазопромысловых сооружений» получила первую премию Международного конкурса научных, научно-технических и инновационных разработок Министерства энергетики Российской Федерации.

Д. В. Никущенко – руководитель научного проекта «Проведение фундаментальных научных исследований и поисковых научных исследо-

ваний отдельными научными группами», который получил грант РФФИ (на 2022–2024 гг.), а также проекта «Обоснование явления аномальной интенсификации теплообмена в наклонных овально-траншейных лунках на пластинах и трубах методами градиентной теплотметрии и численного моделирования». Дмитрий Владимирович – автор более 130 научных публикаций, в том числе одной монографии и пяти патентов.

За его многолетнюю образовательную деятельность Д. В. Никущенко присвоено звание «Почетного работника сферы образования Российской Федерации», а за большой вклад в развитие промышленности и в связи со знаменательной датой основания образовательных организаций вручена Почетная грамота Министерства промышленности и торговли Российской Федерации. Его заслуги в организации и осуществлении научной деятельности в области моделирования гидродинамического взаимодействия судов в процессе отгонного движения с применением технологии скользящих и деформируемых сеток в ходе освоения Арктики и организации нефтедобычи на шельфе были отмечены в благодарственном письме от имени Государственной Думы. Он также награжден медалью «В память 300-летия Санкт-Петербурга».

Коллектив Санкт-Петербургского государственного морского технического университета поздравляет Дмитрия Владимировича с 50-летием и желает ему здоровья и дальнейших творческих успехов.

Редакционный совет и редколлегия журнала «Морской вестник» присоединяются к этому поздравлению и желают Д. В. Никущенко благополучия и новых научных достижений. ■



В последние годы интенсивно развиваются технологии получения металлических изделий путем аддитивного выращивания. Все большее количество деталей изготавливают с использованием технологии 3D-печати металлами [1]. Среди различных методов 3D-печати, на наш взгляд, наиболее доступной, простой и производительной считается технология электродуговой наплавки, так как при ее реализации в качестве строительного материала при выращивании заготовки используют металлическую проволоку (в том числе полученную из порошков), которую легко производить, хранить и транспортировать. Данная технология позволяет оперативно изготавливать необходимые детали и элементы различных конструкций.

Известно, что большое количество деталей механизмов и конструкций работают в условиях усталостных нагрузок, поэтому, как показывает статистика, около 80% поломок и аварий связаны с усталостным характером их нагружения [2–5].

Процесс усталостного разрушения очень сложный, зависит от структурного состояния, схемы и частоты нагружения и т. д. Процесс упругопластического циклического деформирования хорошо изучен на металлах, полученных классическим способом. Подобные исследования металлов, полученных методами 3D-печати электродуговой наплавкой, в литературе отсутствуют.

Процесс усталостного разрушения сопровождается структурными изменениями в металле, что приводит к изменению его физико-механических характеристик. Зарождение и развитие трещин в силу ряда причин начинается в поверхностном слое деталей [2,6]. Особый интерес представляет изучение структуры металла, прежде всего на его поверхности, и оценка степени его деградации в процессе эксплуатации, еще до появления макротрещины. В последние годы в металловедении стали широко использоваться подходы фрактального анализа [7–10], позволяющие проводить количественную оценку процессов деградации структуры металла на основе показателя фрактальной размерности.

Для оценки структурной поврежденности в режиме реального времени необходима разработка новых информативных характеристических параметров и методик автоматизированной обработки изображений микроструктур.

Анализ современных диагностических систем свидетельствует о том, что существует объективная научно-техническая проблема создания комплексных систем диагностики, построенных на универсальных принципах, обеспечивающих высокий уровень достоверности постановки диагноза и прогнозирования технического состояния изделий.

Перспективным направлением является создание инфраструктуры диагностирования неисправностей изделий, основанной на использовании искусственных нейронных сетей. Искусственные нейронные сети (ИНС) в задачах диагностирования и прогнозирования технического состояния изделий могут быть использованы в качестве подсистемы выборки и принятия решений, передающей диагностическую информацию другим подсистемам управления.

Задачи прогнозирования отказов изделий сложны из-за невозможности четкой постановки соответствия изменений входных и выходных параметров состояния, в котором находится или к которому стремится объект диагностирования.

Для решения задач диагностирования и прогнозирования необходимо сформировать базу с множеством состояний

ДИАГНОСТИКА СТРУКТУРНОЙ ПОВРЕЖДЕННОСТИ СТАЛИ 09Г2С, ПОЛУЧЕННОЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ WAAM ПРИ МАЛОЦИКЛОВОЙ УСТАЛОСТИ НА ОСНОВЕ НЕЙРО-НЕЧЕТКОЙ КЛАССИФИКАЦИИ

*С.А. Манцеров, канд. техн. наук, доцент, директор,
М.С. Аносов, канд. техн. наук, доцент, зам. директора,
Институт промышленных технологий машиностроения
НГТУ им. Р.Е. Алексеева,
Д.С. Итальянцев, инженер-технолог АО «ЦНИИ «Буревестник»,
контакт. тел. +7 (903) 058 5922, +7 (904) 065 5636, danila04031999@mail.ru*

и оценить степень влияния каждого информационного параметра на вероятность перехода изделия в какое-либо из возможных состояний.

Таким образом, цель настоящего исследования – оценка усталостной прочности и структурной поврежденности металла, полученного на основе аддитивной электродуговой наплавки при малоциклового усталости на основе подходов фрактального анализа и новых информативных параметров количественного анализа микроструктуры с последующей обработкой с использованием нейросетевого моделирования.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве материала для исследования выступает сталь 09Г2С, обладающая хорошими технологическими характеристиками и широко используемая для изготовления сварных конструкций.

Химический состав стали 09Г2С (%): С – 0,09; Si – 0,9; Mn – 1,9; Ni – 0,12; S – 0,008; P – 0,12; Cr – 0,14; Cu – 0,09; Fe – основа.

Образцы для исследования и испытаний были получены на специальном стенде для 3D-печати электродуговой наплавкой на базе порталного станка с ЧПУ в среде защитного газа (CO₂) на ранее установленных режимах печати [11]. Для получения образцов были напечатаны стенки толщиной в один наплавочный валик. Для оценки анизотропии свойств металла из полученной стенки вырезались образцы в продольном и поперечном направлениях относительно направления наплавки для исследования на растяжение и усталость.

Для оценки механических свойств стали 09Г2С изготавливались пропорциональные плоские образцы сечением 5×10 с учетом требований ГОСТ 11150. Растяжение образцов проводили на разрывной силовой машине Tinius Olsen H100KU при скорости нагружения 10 мм/мин.

Испытания образцов на усталость проводили на образцах толщиной 3 мм и размером рабочей зоны 60×15 мм (тип IV) по ГОСТ 25.502). Шероховатость образцов в рабочей зоне Ra0,4 (достигалась многократным полированием). Исследования структурных изменений в процессе упругопластического циклического нагружения проводили в области с наибольшими напряжениями.

Образцы на усталость нагружали по схеме консольного изгиба (коэффициент асимметрии цикла $R = -1$). Испытания проводили с учетом требований ГОСТ 25.502–79. Частота упругопластического циклического деформирования устанавливалась с использованием частотного преобразователя равной 8,3 Гц (500 циклов/мин). Данная частота выбрана с целью

уменьшения влияния нагрева рабочей зоны на процесс деформации и разрушения материала. Амплитуду деформаций в процессе испытаний контролировали с помощью лазерного датчика перемещений с погрешностью 0,001 мм.

Исследование микроструктуры проводили на оптическом микроскопе KYENCE-VHX 1000. Для предварительной обработки и оценки фрактальной размерности изображений микроструктур (D_F) была разработана программа в среде Matlab [7, 12, 13], интерфейс программы разрабатывался в среде LabView.

В работах Д. И. Шетулова для количественной оценки поврежденности материала предложен показатель поврежденности Φ [14, 15], определяемый следующим образом:

$$\Phi = \frac{n_{32} n_{34} n_{n2} F_M}{n_{31} n_{33} n_{n1} F_{обр}},$$

где n_{31} – общее количество зерен на фотографии микроструктуры; n_{32} – количество поврежденных зерен; n_{33} – разница между количеством зерен неповрежденных и поврежденных по всей площади зерна; n_{34} – количество зерен, поврежденных широкими (более 6 мкм) полосами скольжения; n_{n2} – общее число полос скольжения в поврежденных зернах; n_{n1} – количество широких извилистых и прерывистых полос скольжения; F_M – фактическая площадь микроструктуры; $F_{обр}$ – площадь рабочей поверхности образца.

Как видно из приведенной зависимости, оценка поврежденности ведется на основе учета количества поврежденных и неповрежденных зерен, а также количества и площади полос скольжения.

Для оценки структурных повреждений по аналогии с приведенной зависимостью использовали также ряд количественных показателей, определяемых в автоматизированном режиме на основе предварительной обработки и расчетов по изображению микроструктуры сплава. Для этого фотографии микроструктуры были смещены и повернуты относительно начального изображения, соответствующего исходному состоянию материала. Смещение и поворот с шагом 1 пиксель проводились до появления максимального контраста текущего изображения с исходным. Для выявления структурных изменений вычитали массив бинаризованных изображений, соответствующих разной наработке, из массива данных, соответствующего начальному состоянию материала. После этого определяли концентрацию полос скольжения и дефектов в материале n , рассчитанную с использованием функционала Matlab по следующей зависимости:

$$n = \frac{N_{деф}}{F_M} \text{ мм}^{-2},$$

где $N_{деф}$ – количество полос скольжения и дефектов на анализируемом изображении микроструктуры.

Также после предварительной обработки определяли относительную площадь образовавшихся в процессе усталостного нагружения дефектов микроструктуры и полос скольжения $F_{отн}$ по зависимости

$$F_{отн} = \frac{F_{деф}}{F_M},$$

где $F_{деф}$ – площадь полос скольжения и дефектов на анализируемом изображении микроструктуры, мм².

Для расчета фрактальной размерности изображения микроструктуры D_F обработанное изображение покрывали прямоугольной сеткой с размером ячейки e (диапазон величин ячеек выбирали, исходя из среднего размера зерна металла d от $0,01d$ до d). После этого подсчитывали количество ячеек N , содержащих границу или фрагмент полосы скольжения, а также дефекта. Фрактальную размерность определяли по уравнению линии регрессии, имеющей вид

$$\log(N) = D_F \cdot n \log(1/e) + C,$$

где C – коэффициент линии регрессии.

Для оценки интенсивности накопления структурных повреждений на отдельных участках рабочей зоны образца, как показали проведенные ранее исследования [16], можно использовать показатель приращения фрактальной размерности

$$\Delta D_F = D_{F_{тек.}} - D_{F_{исх.}},$$

где $D_{F_{тек.}}$ и $D_{F_{исх.}}$ – показатель фрактальной размерности участка изображения микроструктуры рабочей зоны образца в рассматриваемый момент времени и в исходном состоянии (до проведения испытания) соответственно.

Разброс экспериментальных данных оценивался на основе статистической обработки результатов расчета представленных параметров нескольких изображений (порядка 8–16 изображений) в зоне с максимальным напряжением. Это отражено на полученных зависимостях количественных показателей изображений в виде планок погрешностей.

Оценить поврежденность материала, согласно зависимости, предложенной Д. И. Шетуловым, можно только на основе комплекса показателей. В связи с этим для оценки поврежденности материалов в процессе усталостного нагружения предложен способ нейросетевого анализа на основе двух предложенных показателей – n и $F_{отн}$. Показатель приращения фрактальной размерности ΔD_F использовали для обнаружения расположения развивающихся дефектов.

Также для оценки усталостной поврежденности наряду с предложенными информативными показателями может быть использован показатель микротвердости [17]. Исследование микротвердости проводили в зоне максимальных напряжений, используя микротвердомер ИТВ-1-АМ при нагрузке 1 кгс.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

По результатам испытаний на растяжение определены значения механических характеристик стали 09Г2С, полученной наплавкой в широком диапазоне пониженных температур испытания. На основе механических характеристик определяли интервал амплитуд напряжений в цикле в процессе усталостного нагружения.

По результатам испытаний образцов на усталость построены кривые для широкого диапазона амплитуд напряжений в диапазоне малоциклового усталости.

Результаты испытаний показали, что образцы, полученные путем 3D-печати и вырезанные в продольном направлении относительно наплавки, имеют меньшую долговечность, по сравнению с образцами, полученными из проката, в среднем на 20%, анизотропия усталостных свойства материала не превышала 20–25%.

Эволюция микроструктуры стали 09Г2С в процессе усталостного нагружения при амплитуде деформаций в цикле $\sigma_{max} = 350$ МПа (вблизи условного предела текучести) показана на рис. 1 при различной наработке образца N/N^* (N – текущее количество циклов нагружения и N^* – количество циклов, соответствующее полному разрушению образца).

В процессе усталостного нагружения уже на начальном этапе наблюдается появление большого количества устойчивых (грубых) полос скольжения в отдельных зернах феррита в виде тонких темных линий (см. рис. 1). В процессе дальнейшего усталостного нагружения наблюдается увеличение концентрации полос скольжения и их ширины, а образование магистральной трещины наблюдалось в местах их наибольшей концентрации. Данный характер структурных изменений наблюдается и при других амплитудах напряжений в цикле и аналогичен особенностям структурного изменения для низкоуглеродистых сталей, полученных прокаткой (обработкой давлением) [14, 15, 18].

Рассмотрим связь фрактальной размерности D_F изображения микроструктур сплава (см. рис. 1) с наработкой

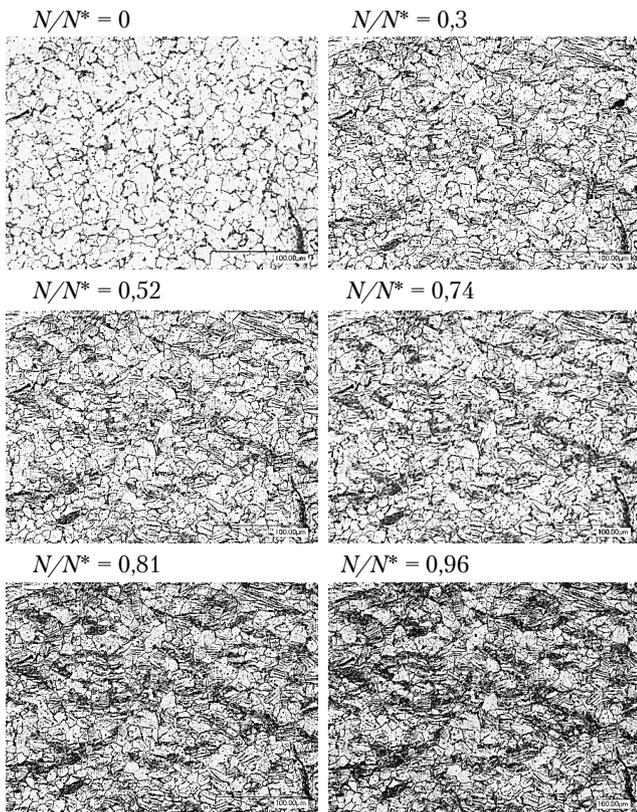


Рис. 1. Структурные изменения в процессе усталостного нагружения при различной наработке образца N/N^* ($\sigma_{max} = 350$ МПа) ($\times 1000$)

образца. Фактически при расчете фрактальной размерности ведется учет светлых участков микроструктуры (зерен феррита без значительных изменений и полос скольжения) и темных участков (полос скольжения, границ зерна и т. д.). Так как протяженность границы зерна на рассматриваемом участке микроструктуры в рабочей зоне практически не изменялась, рост фрактальной размерности связан преимущественно с изменениями внутри отдельных зерен, в частности с образованием полос скольжения. Полученные зависимости фрактальной размерности изображений микроструктур рабочей зоны стали 09Г2С, полученной на основе 3D-печати на образцах, вырезанных в продольном направлении относительно наплавки при различных амплитудах в цикле, показаны на рис. 2.

Анализ полученных зависимостей (см. рис. 2) показывает, что характер изменения фрактальной размерности микроструктуры рабочей зоны образца носит линейный характер. На полученной зависимости можно выделить участок наклона зависимости при достижении наработки порядка 0,82–0,90, что соответствует моменту появления магистральной трещины. После этого наблюдается объединение отдельных мик-

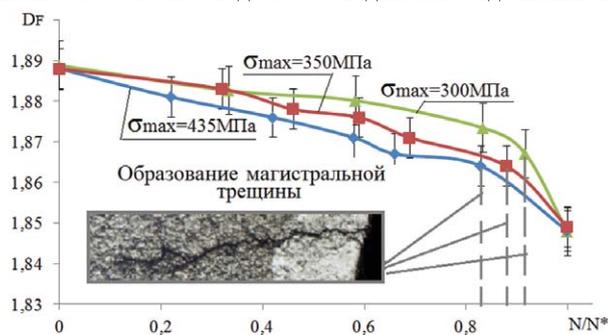


Рис. 2. Зависимости фрактальной размерности микроструктуры D_f от наработки N/N^* для стали 09Г2С, полученной на основе 3D-печати электродуговой наплавкой

ротрещин и рост магистральной трещины, что сказывается на интенсивности изменения фрактальной размерности. Данный характер зависимостей наблюдается во всем диапазоне малоциклового усталости образцов.

Полученные данные коррелируют с результатами полученных ранее исследований [7, 19]. Так, в работе [9] показано, что фрактальная размерность является эффективной количественной характеристикой процесса самоорганизации структуры материала при усталости. Она зависит от исходной структуры материала, числа циклов нагружения. Зарождению макротрещины предшествует уменьшение фрактальной размерности микроструктуры до некоторого критического значения, которое для стали 09Г2С, полученной на основе 3D-печати составляет порядка $DF = 1,865 \pm 0,002$. Полученная закономерность может быть использована при разработке новых информативных критериев поведения материалов в процессе усталостного нагружения на основе анализа микроструктуры особо нагруженных зон в конструкции.

На основе цифровой обработки изображений определена относительная площадь $F_{отн}$ образовавшихся в процессе усталостного нагружения дефектов микроструктуры и полос скольжения. Зависимость $F_{отн}$ от относительного количества циклов нагружения показана на рис. 3.

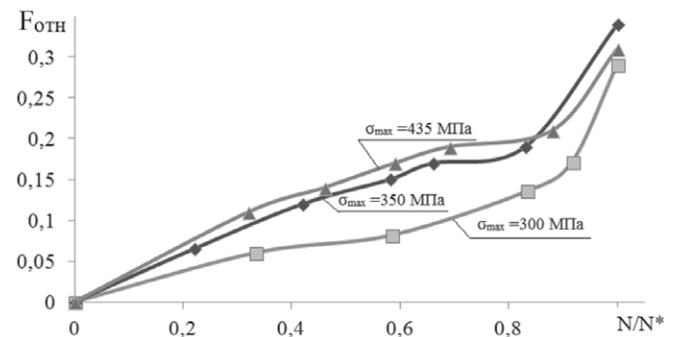


Рис. 3. Зависимость относительной площади $F_{отн}$ образовавшихся в процессе усталостного нагружения дефектов микроструктуры и полос скольжения от наработки (N/N^*) для стали 09Г2С, полученной на основе 3D-печати электродуговой наплавкой при различных амплитудах напряжений

Также определена концентрация полос скольжения и дефектов в структуре материала n на различных стадиях нагружения (рис. 4).

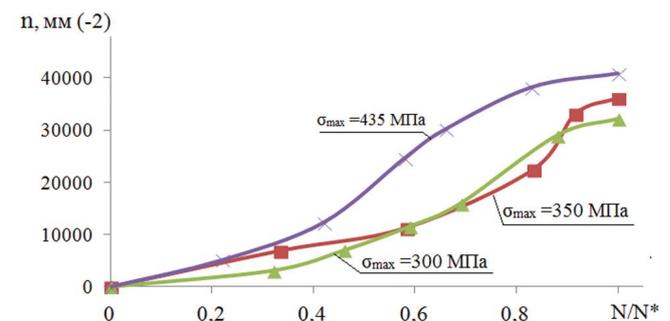


Рис. 4. Зависимость концентрации полос скольжения и дефектов в структуре материала n от наработки N/N^* для стали 09Г2С, полученной на основе 3D-печати электродуговой наплавкой при различных амплитудах напряжений

Полученная зависимость $F_{отн}$ может служить мерой накопления структурных повреждений в материале в процессе усталостного нагружения. Относительная площадь образовавшихся в процессе усталостного нагружения дефектов микроструктуры и полос скольжения монотонно возрастают практически по линейной зависимости, вплоть до момента

образования магистральной трещины, после чего наблюдается более интенсивный рост данного показателя, что связано с появлением большого количества микротрещин в рабочей зоне образца (см. рис. 4) и увеличением площади, занимаемой магистральной трещиной в анализируемой зоне. Критерием предразрушения может служить величина $F_{отн.} = 0,2 \pm 0,014$, соответствующая величине структурной поврежденности, при которой наблюдается появление магистральной трещины.

Зависимость концентрации полос скольжения и дефектов в структуре материала n от наработки, качественно совпадают с зависимостью $F_{отн.}$ (см. рис. 3). При повышении амплитуды приложенного напряжения в цикле наблюдается более интенсивный рост концентрации полос скольжения и дефектов в структуре материала на всех стадиях усталостного нагружения. При этом предельная концентрация полос скольжения и дефектов в структуре материала n , соответствующая образованию магистральной трещины, значительно зависит от амплитуды напряжения в цикле и изменяется в пределах от 28 900 до 38 170 (мм^{-2}) при амплитудах от 300 до 435 МПа соответственно.

Исходя из большого количества информативных параметров (рис. 3–5), характеризующих поврежденность материала в процессе нагружения, необходимо использовать инструменты, позволяющие проводить оценку поврежденности материала на основе всего комплекса разнородной диагностической информации. Учет всех выявленных показателей в комплексе позволит с большой долей вероятности выявить стадию деградации и разрушения материала и его остаточный ресурс. Таким инструментом может быть аппарат искусственной нейронной сети (ИНС).

Для прогнозирования структурной поврежденности в наибольшей степени подходят нечеткие нейронные сети, комбинирующие методы искусственных нейронных сетей и систем на нечеткой логике. Нейро-нечеткие системы являются комбинацией лингвистического стиля рассуждений нечетких систем с обучением и структурой нейронных сетей

В задачах диагностирования и прогнозирования нечеткая нейронная сеть играет роль универсального аппроксиматора функции от нескольких переменных, реализуя нелинейную функцию

$$Y = F(X),$$

где $\{X(t)\} = \{X_1(t), X_2(t), X_3(t), \dots, X_n(t)\}$ – векторы входной информации (текущие измеренные значения диагностических параметров); Y – реализация векторной функции нескольких переменных.

Примером реализации данного механизма, является адаптивная нейро-нечеткая сеть (система вывода) ANFIS (Adaptive Network-based Fuzzy Inference System) является гибридной многослойной искусственной нейронной сетью специальной структуры без обратных связей. Значения входов, выходов и синаптических весов гибридной нейронной сети представляют собой вещественные числа на отрезке $[0, 1]$. Адаптивная сеть ANFIS по своим функциям является аналогом системы нечеткого вывода. Сеть ANFIS использует гибридный алгоритм обучения. Нейроны в сети ANFIS имеют различную структуру и назначение, соответствующие системе нечеткого вывода и реализующие основные этапы ее работы:

- фаззификация (введение нечеткости) с помощью функций принадлежности входных переменных – первый слой нейронов сети (Слой 1);
- агрегирование (определение степени истинности условий) с помощью обработки базы нечетких лингвистических правил – второй слой нейронов сети (Слой 2);
- активизация (определение степеней истинности высказываний) путем нормализации уровней активации нечетких правил – третий слой нейронов сети (Слой 3);
- аккумуляция (объединение степеней истинности) с помощью функций принадлежности выходных переменных – четвертый слой нейронов сети (Слой 4);
- дефаззификация (переход к четкости) с получением четкого значения выходной переменной – пятый слой нейронов сети (Слой 5).

Схема адаптивной нейро-нечеткой сети ANFIS представлена на рис. 5.

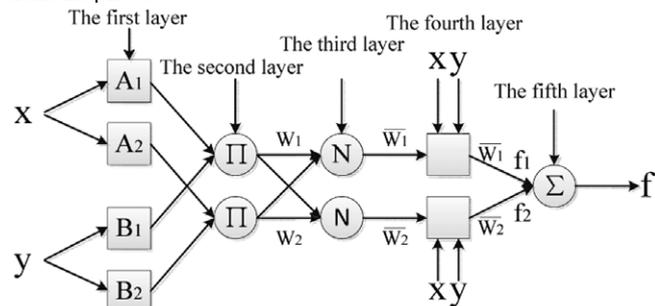


Рис. 5. Адаптивная нейро-нечеткая сеть (система нечеткого вывода) ANFIS

В связи с этим была разработана ИНС по архитектуре, показанной на рис. 5, для оценки поврежденности материала, учитывающая на входе выделенные информативные показатели, а также амплитуду напряжений в цикле σ_{\max} и температуру испытаний t . На выходе ИНС выступает показатель поврежденности Φ , изменяющийся от 0 до 1. При этом значение 0 соответствует начальному состоянию материала, а значение $\Phi = 1$, моменту появления магистральной трещины. С учетом этого и на основе проведенных испытаний была составлена обучающая выборка и обучена ИНС.

Программа для расчета количественных показателей микроструктуры и прогнозирования поврежденности разработана в среде LabView на основе приведенного алгоритма (рис. 6).

Проводилось прогнозирование усталостной поврежденности Φ с использованием обученной ИНС и путем проведения эксперимента (см. таблицу).

Исходя из полученных данных по апробации предложенного способа прогнозирования структурной поврежденности с использованием разработанного ПО (см. рис. 6), установлено, что погрешность прогнозирования не превышала 15%. Наибольшая погрешность прогнозирования наблюдалась при амплитуде 320 МПа, что, вероятно, связано с недостаточным количеством обучающих данных для ИНС при амплитудах напряжений в цикле ниже 350 МПа. Данная проблема решается за счет дополнительного обучения ИНС на полученных в ходе проведенного эксперимента данных.

Таблица

Результаты апробации работы ИНС прогнозирования структурной поврежденности

Параметры испытаний	Кол-во циклов, соответствующее появлению микротрещины ($\Phi = 1$) Экспериментальные данные	Кол-во циклов соответствующее критическому уровню поврежденности ($\Phi = 1$) Результаты прогнозирования с использованием ИНС и разработанного ПО
$t = 20 \text{ }^\circ\text{C}, \sigma_{\max} = 320 \text{ МПа}$	19 800	16 900
$t = 20 \text{ }^\circ\text{C}, \sigma_{\max} = 370 \text{ МПа}$	13 200	14 400
$t = 20 \text{ }^\circ\text{C}, \sigma_{\max} = 450 \text{ МПа}$	4 260	3 800

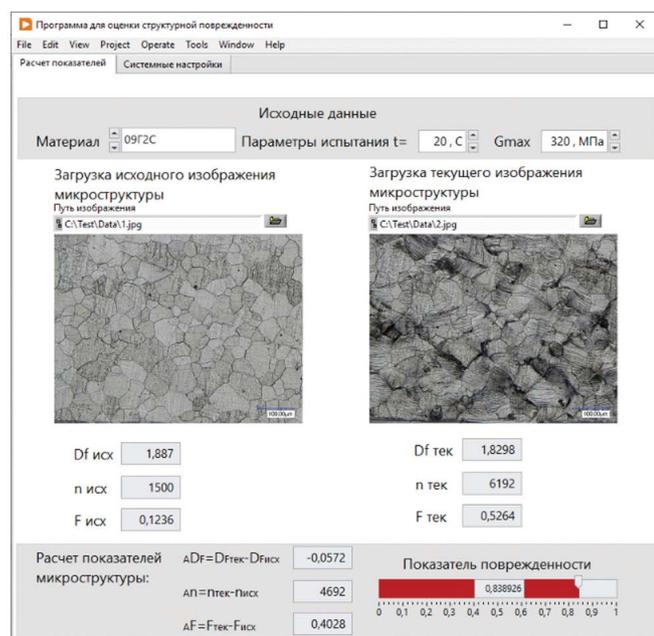


Рис. 6. Архитектура ИНС прогнозирования структурной поврежденности металла

ВЫВОДЫ

1. Разработаны новые информативные показатели структурной поврежденности металла (фрактальная размерность D_f , относительная площадь $F_{отн}$ и концентрация образовавшихся в процессе усталостного нагружения дефектов микроструктуры и полос скольжения n), определяемые путем автоматизированного расчета по микроструктуре сплава в процессе усталостного нагружения.

2. Установлены закономерности изменения предложенных информативных параметров в процессе усталостного нагружения в широком диапазоне амплитуд напряжений в цикле. Определены критерии предразрушения материала образца стали 09Г2С на основе предложенных информативных параметров.

3. По результатам испытаний разработана искусственная нейронная сеть (ИНС) для оценки поврежденности материала Φ , учитывающая на входе выделенные информативные показатели, а также амплитуду напряжений в цикле σ_{max} и температуру испытаний t . Проведено обучение ИНС на основе полученной экспериментальной базы и проведена апробация работы ИНС. Исходя из полученных данных по апробации предложенного способа прогнозирования структурной поврежденности с использованием ИНС, установлено, что погрешность прогнозирования не превышала 15%, а при дополнительном обучении не превышала 8%.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22–79–00095 «Разработка научно-технологических основ структурообразования конструкционных материалов полученных путем аддитивного электродугового выращивания для формирования механических свойств при усталости с использованием подходов искусственного интеллекта»

ЛИТЕРАТУРА

1. Обеспечение эксплуатационных свойств деталей, полученных аддитивным выращиванием в автономных транспортных сред-

- ствах при их использовании в условиях Арктики и Крайнего Севера: монография/Кабалдин Ю. Г., Беляков В. В., Аносов М. С., Шатагин Д. А., Колчин П. В., Желонкин М. В./Под ред. Кабалдина Ю. Г. – Н. Новгород: НГТУ им Р. Е. Алексеева, 2022. – 278 с.
2. Терентьев В. Ф., Кораблева С. А. Усталость металлов/Ин-т металлургии и материаловедения им. А. А. Байкова РАН. – М.: Наука, 2015. – 484 с.
 3. Gonchar A. V., Mishakin V. V., Klyushnikov V. A. The effect of phase transformations induced by cyclic loading on the elastic properties and plastic hysteresis of austenitic stainless steel//International J.of Fatigue. – 2018. – Т. 106. – Р. 153–158.
 4. Леденёв В. В., Скрылёв В. И. Аварии, разрушения и повреждения. Причины, последствия и предупреждения: монография. – Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2017. – 440 с.
 5. Увеличение усталостной долговечности эвтектического силумина электронно-пучковой обработкой/Иванов Ю. Ф., Аксёнова К. В., Громов В. Е., Коновалов С. В., Петрикова Е. А./Изв. вузов: Цветная металлургия. – 2016. – № 2. – С. 72–80.
 6. Чернявский А. О. Развитие поверхностных систем трещин при механической нагрузке//Вестник ЮУрГУ. – Серия: Математика. Механика. Физика. – 2003. – № 4.
 7. Kabaldin Y. G., Anosov M. S., Shatagin D. A. Evaluation of the mechanism of the destruction of metals based on approaches of artificial intelligence and fractal analysis. – IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 709 (2020) 033076 IOP Publishing DOI :10.1088/1757–899X/709/3/033076
 8. Савенков Г. Г., Барахтин Б. К. Связь фрактальной размерности поверхности разрушения с комплексом стандартных характеристик материала на растяжение//ПМТФ. – 2011. – Т. 52. – № 6. – С. 177–184.
 9. Иванова В. С., Баланкин А. С., Бунин И. Ж. [и др.]. Синергетика и фракталы в материаловедении. – М.: Наука, 1994. – 384 с.
 10. Кузнецов П. В., Петракова И. В., Шрайбер Ю. Фрактальная размерность как характеристика усталости поликристаллов металлов//Физ. мезомех. – 2004. – Т. 7. – Спец № 1. – С. 389–392.
 11. Исследование влияния режимов 3D-печати на структуру и хладостойкость стали 08Г2С/Кабалдин Ю. Г., Аносов М. С., Рябов Д. А., Колчин П. В., Шатагин Д. А., Киселев А. В./Вестник Магнитогорского ГТУ им. Г. И. Носова. – 2021. – Т. 19. – № 4. – С. 64–70. Doi.org/10.18503/1995–2732–2021–19–4–64–70.
 12. Основы количественной и компьютерной металлографии: учебное пособие/Ким В. А., Башков О. В., Попкова А. А., Шпилёва А. А., Золотарёва С. В., Белова И. В., Емец Н. Е. – Комсомольск-на-Амуре: ФГБОУ ВПО «КнАГТУ», 2013. – 133 с.
 13. Гадалов В. Н., Башков О. В., Ворничева И. В., Филонович А. В. Цифровая обработка изображений металлографических микроструктур в среде MATLAB: Методика//Евразийский союз ученых (ЕСУ). – 2015. – № 12 (21). – С. 43–46.
 14. Мильников В. В., Шетулов Д. И., Прохин А. И., Чернышов Е. А. Прогнозирование прочности и долговечности материалов деталей машин и конструкций с учетом частоты циклического нагружения//Изв. вузов: Черная металлургия. – 2012. – № 55 (9). – С. 32–37.
 15. Андреева О. В., Орехова Е. Е. Автоматизация оценки степени поврежденности микроструктуры поверхности металлов и сплавов//Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 1–1.
 16. Исследование малоциклового усталости стали 12Х18Н10 Т на основе подходов фрактального анализа и искусственного интеллекта/Хлыбов А. А., Кабалдин Ю. Г., Аносов М. С., Рябов Д. А., Шатагин Д. А./Заводская лаборатория: Диагностика материалов. – 2021. – Т. 87. – № 9. – С. 59–67.
 17. Школьник Л. М. Методика усталостных испытаний: Справ. – Металлургия, 1978. – 304 с.
 18. Гончар А. В., Мишакин В. В. Исследование процесса усталостного разрушения низкоуглеродистой стали 15 ЮТА неразрушающими методами контроля//Тр. НГТУ им. Р. Е. Алексеева. – 2011. – № 3.
 19. Fatigue life prediction of structural steel using acoustic birefringence and characteristics of persistent slip bands/Gonchar A. V., Kurashkin K. V., Klyushnikov V. A., Andreeva O. V., Anosov M. S. – Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures, 2021. ■

ГОСТ [10] предлагает варианты диагностического анализа виброакустических сигналов на основе полигармонических моделей, моделей стохастических процессов и моделей последовательностей ударных импульсов. В задачах анализа маломощных источников вибрации, что характерно для зарождающихся и слабых дефектов, идет активное опробование нетрадиционных подходов к обработке исходной информации. В настоящее время все больший интерес вызывают технологии анализа сложных техногенных процессов в классе моделей хаотической динамики [4, 5, 7–9].

Чтобы сузить поле обсуждения, рассмотрим в качестве объекта временной ряд измерений с дискретным временем, удовлетворяющий всем основным критериям случайности [2, 6, 16, 27].

Временной ряд в общем случае описывается как выходной сигнал некоторой системы, модель которой стараются представить в виде системы дифференциальных или разностных уравнений, иницируемых белым шумом. Различаются линейные и нелинейные модели, порождаемые гауссовым или негауссовым шумом.

Линейность соответствует наиболее широко распространенным идеализированным моделям, так что условия применимости линейных подходов, вообще говоря, требуют специального обоснования. В простейших вариантах линейного подхода речь идет о практических методах типа авторегрессии, скользящих средних и др. [12].

Другая крайность – это модели детерминированного хаоса, активно развиваемые в настоящее время. Многие нелинейные системы способны демонстрировать хаотические режимы колебаний, которые в целом удовлетворяют критериям, позволяющим отнести их к стохастическим процессам, а при более детальном анализе оказываются выходными сигналами сложных детерминированных систем, обычно наблюдаемых на фоне шума [16–19, 23]. В работе [5] предложены удачные термины для характеристики нерегулярных процессов: «хаотический шум» и «шумовой хаос». Если процесс в больших временных масштабах оценивается как детерминированный (хаос), а на маленьких как случайный (шум), то это «шумовой хаос», т.е. макроскопический хаос, вызванный шумом на микроуровне. Если же процесс случаен на больших масштабах и детерминирован на малых, то это «хаотический шум» [6].

Между этими двумя крайностями лежит огромная область нелинейных процессов, которые могут в большей или меньшей степени проявлять осо-

АЛГОРИТМЫ АНАЛИЗА ВИБРОАКУСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ НА ОСНОВЕ МОДЕЛЕЙ НЕСТАЦИОНАРНОСТИ И НЕЛИНЕЙНОСТИ

*А.В. Махшианов, д-р техн. наук, проф. ГУМРФ им. адм. С.О. Макарова,
В.А. Колесник, д-р техн. наук, проф.,*

*Д.В. Быков, канд. техн. наук, зам. начальника кафедры, ВМПИ ВУНЦ
«ВМА им. Адмирала флота Советского Союза Н.Г. Кузнецова»,*

*Л.Н. Тындыкаръ, аспирант ГУМРФ им. адм. С.О. Макарова,
контакт. тел. +7 (921) 325 2493, +7 (921) 341 8771, +7 (921) 977 7199*

бенности, связанные с хаотическим поведением [26, 27]. Теория таких хаотических динамических систем использует методы теории вероятности, но не является частью математической статистики. Эти процессы допускают смешанные описания, статистическое и динамическое. Границу между линейными и нелинейными теориями принято проводить по тому, какой математический аппарат она использует, линейный или нелинейный [2, 6].

Нелинейность – одно из фундаментальных свойств нашего мира, хотя ее природа может быть различной. Примерами хаотических динамических систем являются атмосфера, беспорядочные вихри турбулентности, образующиеся при течении жидкости с большой скоростью, турбулентные потоки, частично кристаллические полимеры, биологические популяции, общество как система коммуникаций и его подсистемы: экономические, политические и другие. В радиотехнике они представляют новый класс сложных широкополосных сигналов и претендуют, например, на роль переносчиков информации для систем скрытной передачи сообщений [11]. Одной из важных сфер их применения является эконометрика [16, 32, 34, 41].

Новая наука дала миру особый язык и новые понятия: фрактал, бифуркация, перемежаемость, периодичность, сегментация и другие. Высказывается мнение, что грядущим поколениям XX век будет памятен лишь благодаря созданию теории относительности, квантовой механики и теории хаоса. Хаос стал третьей из революций, новой парадигмой, которая, в частности, последовательно освобождает физику от догматов ньютоновского видения мира [19, 31, 32].

Нелинейность – необходимое, но недостаточное условие для возникновения хаотического поведения. Настоящая первопричина хаотичности определяется свойством нелинейных систем экспоненциально быстро разводить

первоначально близкие траектории в ограниченной области фазового пространства, хотя для этого необходимы и еще некоторые не очень обременительные условия [16, 19]. Таким образом, хаос в динамике связан с чувствительностью эволюции к малым изменениям начальных условий. Сейчас считается установленным, что высокая чувствительность к начальным условиям, приводящая к хаотическому поведению во времени, – типичное свойство многих вполне детерминированных систем [2, 16–19, 23].

Как наука, так и жизненный опыт учат, что цепь событий может иметь критические точки, в которых случайность или фактор, не играющий никакой роли в другой ситуации, может оказаться решающим и не только повлиять на судьбу системы, но и скачком перевести ее в другую точку фазового пространства. Суть теории хаоса в том, что такие точки находятся везде и распространяются повсюду, а типичный вариант поведения нелинейных временных рядов состоит в наличии относительно гладких, регулярных участков, прерываемых таким критическими зонами. Здесь часто используют термин «перемежаемость», под которым понимают свойство процесса, в котором нерегулярным образом чередуются длинные сравнительно регулярные, ламинарные участки (так называемые окна или русла) и относительно короткие нерегулярные всплески (зоны бифуркации, «джокеры») [6, 17, 23]. Плотность хаотических всплесков нарастает при увеличении степени нелинейности системы и при увеличении внешнего воздействия. Задачу выделения в траектории ламинарных участков называют ее сегментацией.

Сложная структура хаотических рядов требует существенного расширения совокупности характеристик для описания своих отличительных особенностей. Они способны переносить большое количество информации, так как обладают большим числом параметров, отражающих сложность их структуры. Это, в

частности, служит основанием для их использования в задачах диагностики динамических систем, которые генерируют эти ряды. Например, в [2] отмечаются успешные применения таких подходов в задачах медицинской диагностики, в которых показателем развития заболевания оказывается превышение той или иной характеристикой степени хаотичности нормального фонового уровня.

Среди математических характеристик самым надежным критерием хаотичности является старший показатель Ляпунова, оценивающий меру устойчивости системы. В то же время изобретено множество способов описания хаотических систем другими количественными показателями, такими, как:

- спектр экспонент Ляпунова и ляпуновское время,
- экспоненты Хёрбста,
- энтропия и основанные на ней показатели,
- размерность вложений,
- оценки параметров фрактальной размерности,
- графики рекуррентного соотношения,
- отображения Пуанкаре,
- диаграммы удвоения,
- оператор сдвига и др.

Всего рассматривают до 20 таких показателей [16, 39], но многие оказываются чисто теоретическими, для них отсутствуют конструктивные алгоритмы оценивания по доступным наблюдениям.

Динамические процессы в нелинейных системах приводят к хаотизации движения, но могут и наоборот приводить к его упорядочению и усложнению пространственно-временных структур (автоструктуры, автоволны, диссипативные структуры). Здесь выявляются эффекты синхронизации, стохастического резонанса и др. В основе этих процессов – общие законы ритмического поведения нелинейных систем, которые сейчас только начинают исследоваться [2, 16, 18].

Когда в нелинейную детерминированную систему вмешиваются внешние помехи, случайные, или, например, периодические, ее траектория постоянно искажается. Более того, действия помех усиливаются из-за нелинейности, и система начинает демонстрировать новые динамические свойства. Статистические подходы, пытающиеся отделить помехи от детерминированной основы или изолировать их, потерпели неудачу. При наличии взаимодействия между нелинейными детерминированными компонентами и помехами появляется сложная динамика с неожиданными свойствами [1, 2, 16, 31].

Даже в достаточно простых системах, которые традиционно изучают методами линейного анализа, можно обна-

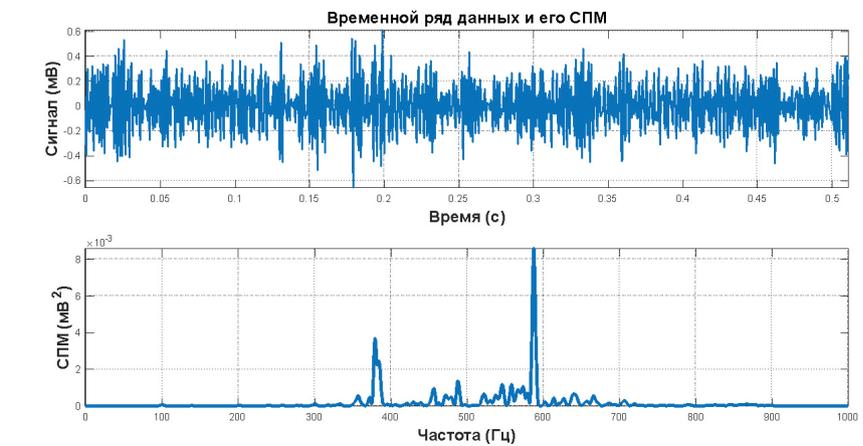


Рис. 1. Спектральная плотность мощности виброускорений в диапазоне 0–1000 Гц

ружить мелкомасштабный уровень, связанный с проявлениями нелинейности и хаотичности. В качестве иллюстрации на рис. 1 приведена оценка спектральной плотности мощности (СПМ) временного ряда виброускорений на крышке подшипникового узла мощного промышленного вентилятора (Ижорский завод), а на рис. 2 – спектрограмма этого ряда. В распределении локальных срезов спектрограммы, которые дают довольно грубые оценки локальных СПМ, просматривается периодичность, хотя и не вполне строгая, которую можно использовать для оценивания степени развития нелинейности системы.

Одна из сложностей работы со спектрограммами состоит в том, что при скользящем сглаживании коррелированных данных обычно обнаруживаются артефакты – ложные периодические составляющие с небольшими амплитудами (эффект Слущкого–Юла), которые приходится специально отсеивать (например, усреднением результатов сглаживания с различными оконными параметрами). Здесь оказывается удобно использовать спектральные оценки Уэлча, которые приводят к небольшому смещению, но при этом нивелируют плохо различимые низкочастотные составляющие [6, 21–22, 40].

В первую очередь хаотичность проявляется в виде отклонений от гауссо-

вости, обычно в виде увеличения эксцесса одномерных распределений [13, 14, 42]. Далее обнаруживаются флуктуации таких характеристик, как амплитуда, центральные частоты гармоник, дисперсия. Флуктуации амплитуды изучают с помощью огибающей, флуктуации дисперсии описываются как гетероскедастичность [3, 13, 14, 24]. Корреляционный и спектральный анализ имеют дело с результатами усреднения по большим промежуткам времени, сглаживающего локальные флуктуации. В то же время, используя на скользящем окне параметрические модели невысокого порядка, традиционные для классического анализа временных рядов, эти флуктуации можно контролировать [6, 22]. Для них имеется термин «вобуляции» [6, 11]. В этой области действует аппарат спектров высших порядков и эволюционирующих спектров (преобразования Вигнера–Вайля, Чоу–Уильямса и др.) [15, 20, 33, 36 – 38, 40], а также модели ARCH, GARCH и их обобщения [41]. Несколько отличную точку зрения представляют различные варианты вейвлет-анализа [35]. Как правило, эти флуктуации имеют достаточно ярко выраженные периодические составляющие (как на рис. 2), являющиеся дополнительными косвенными характеристиками хаотичности.

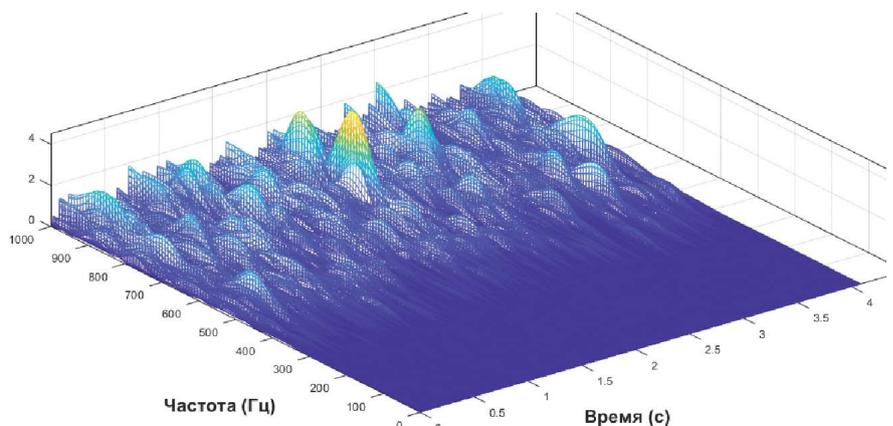


Рис. 2. Спектрограмма огибающей ряда на рис. 1

ВИБРОАКУСТИЧЕСКИЕ СИГНАЛЫ КАК РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ ДИНАМИЧЕСКОГО ХАОСА

Анализ механизма формирования виброакустического (ВА) сигнала показывает, что кроме источника ВА колебаний на параметры этих колебаний влияет передающая среда, которая включает пути распространения колебаний, элементы передачи колебаний первичному преобразователю и свойства самого чувствительного элемента первичного преобразователя (вибродатчика) [11, 29]. В результате формируются шумовые и периодические составляющие ВА сигнала [13, 14, 25], представляющие собой суммы колебательных процессов со взаимно модулированными компонентами, которые традиционно идентифицируются методами обычного спектрального анализа.

В работах [24, 28] утверждается, что оценки параметров фрактальной размерности (за исключением метода виртуального объема) неприменимы для решения задач вибродиагностики подшипников. Тем не менее это не противоречит возможности использования в задачах диагностики косвенных характеристик нелинейности, таких, как вобуляции статистических параметров процесса. Для нелинейных систем характерным является явление синхронизации ритмов и стохастического резонанса [2, 16, 18, 19], поэтому в нормальном режиме функционирования частоты вобуляций различных параметров должны совпадать [21, 22]. При развитии нелинейных эффектов начинают проявляться различные сценарии хаотизации [2, 16–19, 26, 27]:

- каскад удвоений периода (сценарий Фейгенбаума),
- последовательное рождение составляющих с несоизмеримыми частотами (сценарий Хопфа–Рюэля–Тakens, более характерный для зарождения турбулентностей в газодинамике и гидродинамике).

Первый сценарий можно наблюдать как развитие в динамике вобуляций кратных частот. Количественной мерой степени хаотичности выступает при этом соотношение между пиками в спектре мощности вобуляций [20–22].

ПРИМЕРЫ

В качестве примера приведем результаты обработки указанными методами вибросигнала от датчика, установленного на вал асинхронного двигателя, при нормальной работе и при появлении дефектов. Эксперимент проводился на трехфазном асинхронном двигателе мощностью 0,75 кВт напряжением 380 В, с номинальным током 2,2 А, частотой вращения 920 об/мин. Датчик вибрации устанавливался на подшипнике двигате-

ля в вертикальном и горизонтальном положении и подключался к анализатору типа ВИБРАН. Измерения проводились при полностью исправном подшипнике, при отсутствии в нем смазки и при обрыве фазы питания двигателя. Использовался диапазон 230–260 Гц, но качествен-

ные выводы от диапазона зависят мало. Наилучшие результаты получаются при использовании полосы частот в окрестности характерных пиков.

Результаты, приведенные на рис. 3–6, получены с использованием следующей методики:

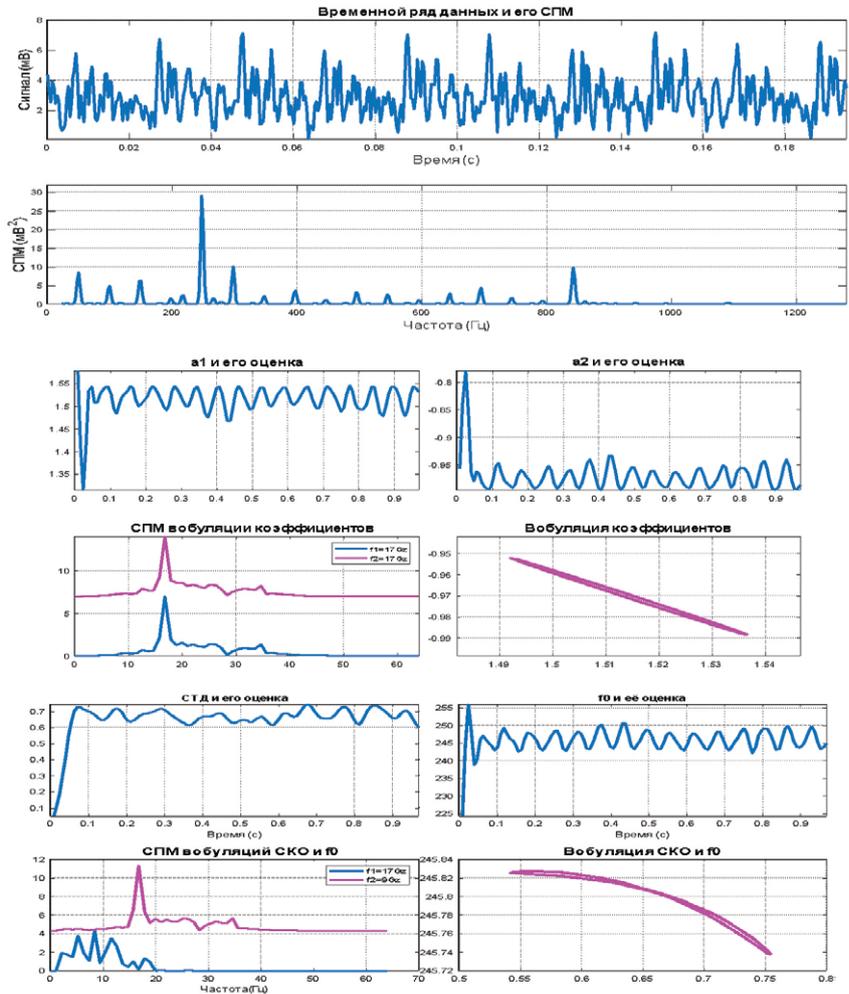


Рис. 3. Огибающая виброускорений. Подшипник в исправном состоянии

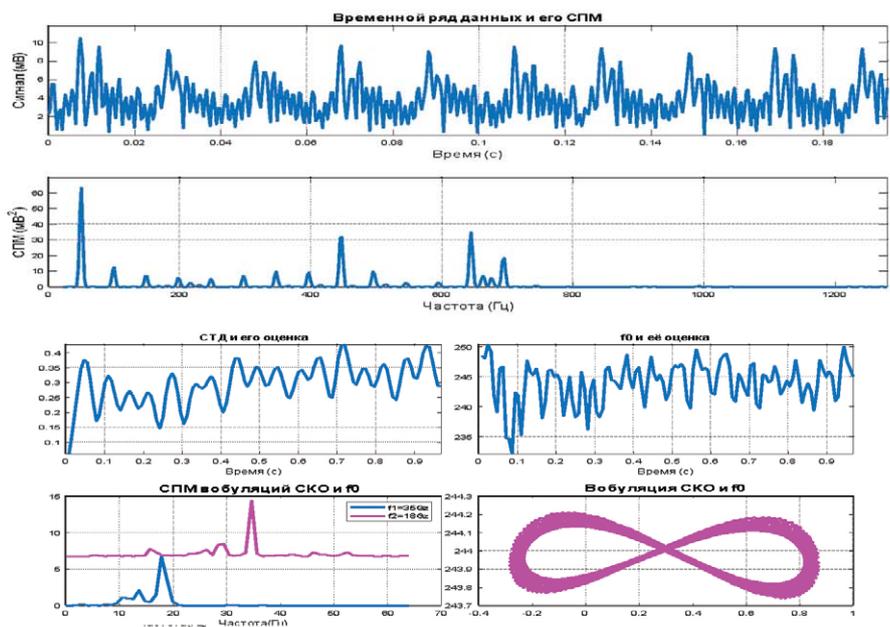


Рис. 4. Огибающая виброускорений. Диапазон 420–470 Гц. Обрыв фазы

- В спектре изучаемого сигнала выделяется диапазон 230–260 Гц, содержащий отдельный пик и, возможно, его боковые составляющие. Выраженные боковые составляющие обычно представляют собой артефакты, связанные с наличием на основной частоте модуляции по амплитуде. Оценивается на скользящем окне шириной 40 измерений (0,0012 с) динамика основных параметров модели. При рекуррентном оценивании использовано окно Бартлетта.
- Выводятся процессы вобуляции коэффициентов модели авторегрессии AR(2), оценки их СПМ и полученные по ним ряды вобуляций среднеквадратичного отклонения (СКО) центральной частоты и амплитуды или пик-фактора [13, 14, 24].
- При обнаружении синхронного изменения параметров вобуляции изучаются пики в спектре мощности каждого из этих параметров, которые используются как численные оценки степени развития хаотичности.
- Несинхронное изменение основных параметров свидетельствует о высокой степени нелинейности системы и далеко зашедшем развитии процессов деградации. Крайние степени развития таких процессов проявляются в виде многочисленных пиков на частотах с большой кратностью.
- Основные периодические составляющие процессов вобуляции удобно представлять в виде фигур Лиссажу на фазовой плоскости локальных оценок параметров модели или на фазовой плоскости «СКО–центральная частота».

Особый интерес представляет исследование с этой же точки зрения процессов вобуляции сжатых характеристик рядов, прежде всего кепстра [16], что сразу упрощает проблему выбора частотного диапазона.

ВЫВОДЫ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЭКСПЕРИМЕНТА

1. На рис. 3, б и в вобуляции коэффициентов авторегрессии происходят на одной частоте, совпадающей с частотой вращения вала, что подтверждает нормальное состояние подшипника. На рис. 3, г независимо оцененная вобуляция СКО выбивается из ритма изменений центральной частоты f_0 . В этом можно увидеть пока еще не далеко зашедшие процессы деградации подшипникового узла.

2. На рис. 4, 6 в спектре мощности контрастно проявляется частота 50 Гц, а частоты вобуляций СКО и f_0 становятся кратными.

3. На рис. 5 энергия спектра смещается в область низких частот и появ-

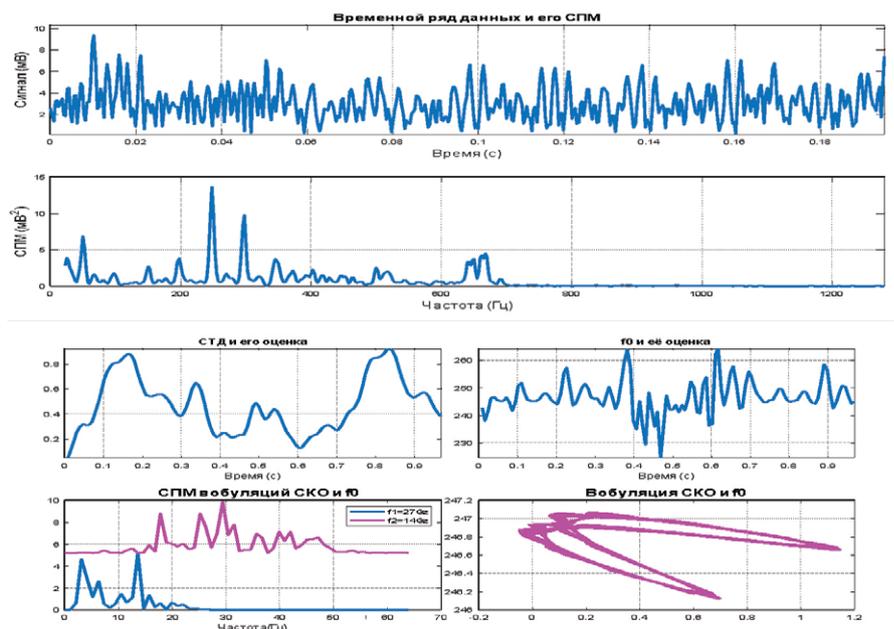


Рис. 5. Огибающая виброускорений. Диапазон 230–260 Гц. Отсутствие смазки

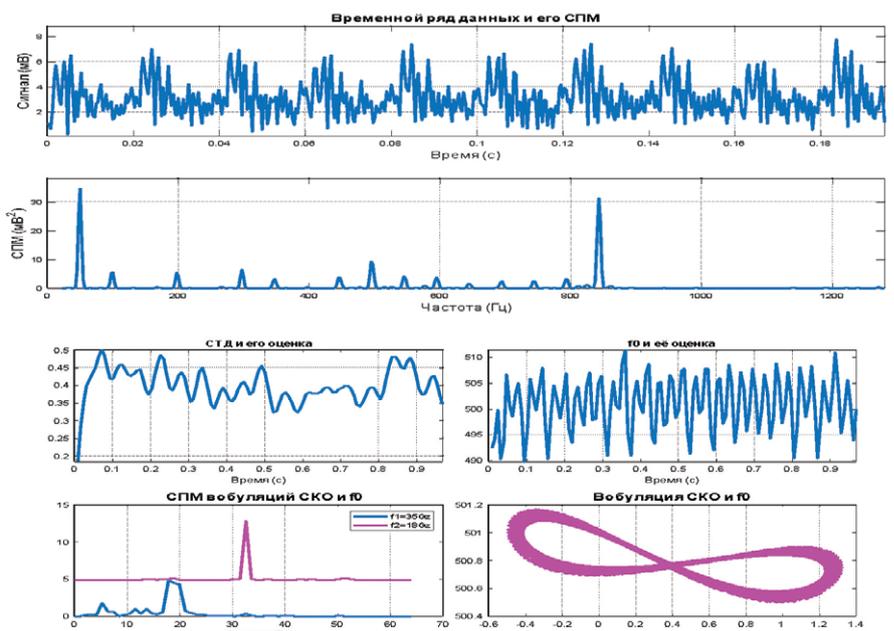


Рис. 6. Огибающая виброускорений. Диапазон 480–520 Гц. Обрыв фазы

ляется множество несоизмеримых по частоте пиков. Частота вобуляций СКО смещается в область ниже частоты вращения вала, а f_0 – в область более высоких частот.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение современных достижений теории нелинейной динамики для математического моделирования функционирования и диагностирования состояния сложных технических систем – новое и перспективное направление междисциплинарных исследований. Некоторый положительный опыт использования характеристик нелинейности в диагностических целях накоплен в медицине [2]. В настоящее время накапливается опыт интерпретации

полученных результатов в различных задачах также в области технического диагностирования.

В настоящей работе предлагается нетрадиционный подход к анализу виброакустической информации на основе оценки проявлений косвенных эффектов нелинейности, позволяющий в некоторых случаях получать диагностическую информацию для маломощных источников вибрации, что характерно для зарождающихся и слабых дефектов.

В последние годы все больше утверждается мнение, что важнейшие прорывные технологии в науке и практике связаны с управлением процессами, описываемыми моделями динамического хаоса. Руководствуясь одними

лишь представлениями, основанными на линейной интуиции, нетрудно просмотреть важный эффект, не имеющий аналогов при линейном подходе [2, 16–19].

ЛИТЕРАТУРА

1. Алифов А. А., Фролов К. В. Взаимодействие нелинейных колебательных систем с источниками энергии. – М.: Наука, 1985.
2. Анищенко В. С. Знакомство с нелинейной динамикой. Лекции соросовского профессора. – Москва–Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2002. – 144 с.
3. Артоболевский И.И., Бобровицкий Ю.И., Генкин М.Д. Введение в акустическую динамику машин – М.: Гл.редакция ФМ литературы, 1979. – 296 с.
4. Балицкий Ф.Я., Иванова М.А., Соколова А.Г., Хомяков Е.И. Виброакустическая диагностика зарождающихся дефектов – М.: Наука, 1984. – 120 с.
5. Барков А.В., Баркова Н.А. Вибрационная диагностика машин и оборудования. Анализ вибраций. Учеб. пособие. – СПб.: СЕВЗАПУЦЕНТР, 2018. – 152 с.
6. Безручко Б.П., Смирнов Д. А. Математическое моделирование и хаотические временные ряды. – Саратов: ГосУНЦ «Колледж», 2005.
7. Бельх В. Н. Веричев Н. Н. О динамике взаимодействующих ротора и осциллятора // Изв. вузов. – Сер.: Радиофизика. – 1988. – № 7.
8. Веричев Н. Н., Веричев С. Н., Герасимов С. И. Ерофеев, В. И. Хаос, синхронизация и структуры в динамике роторов. – Саратов: РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2016. – 267 с.
9. Веричев Н. Н., Веричев С. Н., Ерофеев В. И. Хаотическая динамика вибрационных механизмов с источниками энергии ограниченной мощности // Прикладная математика и механика. – 2007. – Т. 71. – № 3. – С. 439–450.
10. ГОСТ ИСО 13373-1–2009. Контроль состояния и диагностика машин. Вибрационный контроль состояния машин. Ч. 1. Общие методы.
11. Дмитриев А.С., Андреев Ю.В., Будушев А.Г. Кодирование информации на основе динамического хаоса // Зарубежная радиоэлектроника. Успехи современной радиоэлектроники. – М.: ИПРЖР, 2000. – №11. – С.27–33.
12. Капустинская С.Ю., Немур А.А. Идентификация линейных случайных процессов. – Вильнюс: Мокслас, 1983.
13. Костюков В.Н. Практические основы виброакустической диагностики машинного оборудования. Уч. пособие – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2002. – 108 с.
14. Костюков В.Н., Науменко А.П. Основы виброакустической диагностики и мониторинга машин. Учеб. пособие. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2020. – 360 с.
15. Коэн Л. Время-частотные распределения: Обзор. // ТИИЭР. – 1989. – Т.77. – № 10. – С.72–120.
16. Кузнецов С.П. Динамический хаос. – Саратов: ИРЭ РАН, 2000. – 295 с.
17. Лоскутов А.Ю., Котляров О.Л., Истомин И.А., Журавлев Д.И. Проблемы нелинейной динамики. Локальные методы прогнозирования временных рядов // Вестн. Моск. ун-та. – Сер.: Физ.-астр. – 2002. – №6. – С.3–21.
18. Лоскутов А.Ю., Михайлов А.С. Основы теории сложных систем. – М.: Регулярная и хаотическая динамика, 2007.
19. Лоскутов А.Ю. Очарование хаоса // Успехи физ. наук. – 2010. – Т.180. – № 12. – С.1305–1329.
20. Макианов А.В. Параметрический подход к задачам спектрально-временного описания нестационарных измерений навигационных параметров. – Проблемы космич. локации и навигации. – СПб.: Воениздат, 1994, с.94–100.
21. Макианов А.В., Мусаев А.А. Диахронный анализ нестационарных случайных процессов // Труды СПИИ РАН. – 2003. – Вып.1.–Т. 1. – С.360–369.
22. Макианов А.В., Мусаев А.А. Анализ эволюционирующих спектров нестационарных процессов. – Информационные технологии в управлении (ИТУ–2018): Материалы конфер., 2018, с. 54–59.
23. Малинецкий Г. Г., Потатов А. Б., Подлазов А. В. Нелинейная динамика: подходы, результаты, надежды. – М.: УРСС, 2006.
24. Матюшкова О.Ю., Тэттер В. Ю. Современные методы виброакустического диагностирования // Омский научный вестник. – 2013. – №3 (12). – С.294–299.
25. Русов В.А. Диагностика дефектов вращающегося оборудования по вибрационным сигналам. – Пермь, 2012.
26. Рюэль Д. Случайность и хаос. – Ижевск, НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001. – 192 с.
27. Шашихин В.Н. Хаос и нелинейная динамика. Регулярная и хаотическая динамика: Учеб. пособие. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2010. – 210 с.
28. Щедрин В.И. Применение теории фракталов для обнаружения дефектов роторных узлов подвижного состава железнодорожного транспорта. // Тез. докл. НТК, Самара, 2005, с.17–19.
29. Adams M. L. Rotating machinery vibration: from analysis to troubleshooting. – Marcel: Dekker, 2000.
30. Cencini M., Falcioni M., Olbrich E. et al. Chaos or noise: Difficulties of a distinction // Phys. Rev. E. – 2000. – Vol. 62. – P. 427–437.
31. Gleick J. Chaos: Making a New Science. – N.Y., 2008.
32. Gouesbet G., Meunier-Guttin-Cluzel S., Menard O. (eds.) Chaos and Its Reconstruction. – N. Y.: Nova Sci. Publ., 2003.
33. Loynes R.M. On the concept of the spectrum for non-stationary processes // J. of the Roy. Statist. Soc. – Ser.B. – Vol.30. – №1. – P.204–237.
34. Makshanov A.V., Zhuravlev A.E., Tyndykar L.N. A new approach to identifying the local structure of multidimensional chaotic time series // J. of Physics Conference Series. – 2021. – Vol.2142 (1). – P.1–11.
35. <https://www.sciencegate.app/app/document/download/10.1088/1742-6596/2142/1/012011>
36. Meier Y. Wavelets: algorithms and applications. – SIAM, 1992.
37. Nikias C.L., Raghuveer M.R. Bispectrum estimation: A digital signal processing framework. Proc // IEEE. – 1987. Vol. 75(July). – P. 869–91.
38. Nikias C.L., Mendel J.M. Signal processing with higher-order spectra // IEEE Signal Processing Magazine. – 1993. – Vol. 10 (July). – № 3. – P. 10–37.
39. Nikias C.L., Petropulu A.P. Higher-Order Spectra Analysis: A Nonlinear Signal Processing Framework. – New Jersey: Prentice-Hall, 1993.
40. Pourafzal A., Fereidunian A. A Complex Systems Approach To Feature Extraction For Chaotic Behavior Recognition. – 6th Iranian Conference on Signal Processing and Intelligent Systems (ICSPIS). – Tehran, Iran, 2020.
41. Priestley M.B. Non-linear and non-stationary time series. – London: A.P., 1988.
42. Tsay R.S. Analysis of financial time series. – N.Y.: Wiley, 2005. – 638 p.
43. Yunfeng Li, Liqin Wang and Jian Guan. A Spectrum Detection Approach for Bearing Fault Signal Based on Spectral Kurtosis. – Hindawi Shock and Vibration Volume. – 2017, Article ID 6106103, p. 321–330. ■

Пути внедрения цифрового производства при изготовлении трубопроводов на судостроительном предприятии

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

Цифровизация промышленного производства подразумевает единую цифровую систему, которая включает в себя весь его жизненный цикл: производственное оборудование, системы обеспечения безопасности предприятия, согласование и хранение рабочей конструкторской документации, а также экономическую деятельность.

Актуальность цифровой трансформации на судостроительном предприятии обусловлена проблемой обработки больших объемов данных, возникающих в процессе строительства судов.

Цифровая трансформация влечет за собой контроль и управление предприятием на всех стадиях подготовки производства: конструкторской, технологической, организационной, материально-технической, капитального строительства и реконструкции предприятия, а также при подготовке кадров, что впоследствии отразится на его производительности.

«Адмиралтейские верфи» находятся на стадии наращивания необходимых цифровых компетенций. Цифровая трансформация происходит поэтапно, путем модернизаций отдельных видов производств. Такой подход к автоматизации позволяет апробировать технологию, показать измеримый экономический эффект работы предприятия.

На настоящий момент АО «Адмиралтейские верфи» совместно с АО «Центр технологии судостроения и судоремонта», разработали и реализовали мероприятие по техническому перевооружению трубообрабатывающего производства, а именно по частичной автоматизации путем внедрения в производство станков с ЧПУ, устройства измерения параметров труб, а также создания базы данных 3D моделей труб, устройства измерения их параметров.

В состав современного судна входит большое количество различных систем, причем их число постепенно возрастает. Под судовой системой понимается совокупность трубопроводов, механизмов, аппаратов, приборов, устройств, арматуры, емкостей и другого оборудования, предназначенных для выполнения функций по обеспечению эксплуатации суд-

ПУТИ ВНЕДРЕНИЯ ЦИФРОВОГО ПРОИЗВОДСТВА ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ТРУБОПРОВОДОВ НА СУДОСТРОИТЕЛЬНОМ ПРЕДПРИЯТИИ

К.С. Rogozina, инженер-конструктор 2-й категории,
АО «Адмиралтейские верфи»,
контакт. тел. + 7 (981) 975 2263, rogtina@icloud.com

на. Трудоемкость изготовления и монтажа труб достигает 10–12% от общей трудоемкости постройки судна, причем несколько больше ее половины (до 60%) связана с изготовлением труб, а остальная часть приходится на монтаж [2].

На предприятиях судостроения изготовление и монтаж трубопроводов осуществляются в соответствии с требованиями отраслевого стандарта, который ориентирован на применение шаблонов и макетов при изготовлении и монтаже трубопроводов.

Анализ состояния существующего трубообрабатывающего производства позволил сделать определенные выводы и дать предложения по дальнейшему развитию. Сравнивая между собой раз-

личные варианты механизации и автоматизации производства по их экономической эффективности, можно выбрать лучший, а также определить целесообразность замены существующей техники. В качестве основного критериев экономической эффективности принят минимум приведенных затрат по сравниваемым вариантам.

Сравнение оборудования производства до реконструкции и после нее приведено в табл. 1.

Пять новых станков с ЧПУ, благодаря своим техническим характеристикам, могут полностью заменить 10 устаревших станков [3], а внедрение измерительного устройства позволяет сократить ряд трудоемких операций.

Таблица 1

Сравнение оборудования до и после реконструкции трубообрабатывающего производства

Оборудование, имеющееся на настоящий момент			Оборудование, устанавливаемое на новом участке		
Наименование	Количество	Примечание	Наименование	Количество	Примечание
Трубогибочные станки для холодной гибки труб					
1-й участок			Новый трубообрабатывающий участок		
Станок 1	1	Ø38–89	Станок с ЧПУ	1	Ø14–45
2 участок			Станок с ЧПУ	1	Ø14–32
Станок 2	1	Ø38–60	Станок с ЧПУ	1	Ø38–89
Станок 3	1	Ø38–89	Станок с ЧПУ	1	Ø45–159
Станок 4	1	Ø14–38	Станок с ЧПУ	1	Ø89–159
3-й участок					
Станок 5	2	Ø14–38			
Станок 6	1	Ø14–45			
Станок 7	1	Ø14–45			
Станок 8	1	Ø38–89			
Станок 9	1	Ø38–89			
Станок 10	1	Ø76–160			
Устройство измерения параметров труб					
–	–	–	Измерительное устройство	1	Ø6–200

Амортизационные выплаты по старому оборудованию частично покрывают затраты на приобретение нового. Реализация данного мероприятия по обновлению производственного участка позволяет увеличить съем продукции с одного 1 м² в 2 раза.

Анализ норм времени на выполнение основных технологических операций по изготовлению труб на производственных площадях цеха до и после модернизации представлен в табл. 2.

Расчет выполнен для средней трубы (выбран из диапазона наружных диаметров труб $\varnothing 6-159$ мм. Расчет предполагает сравнительный анализ изготовления одной трубы по существующей технологии изготовления и по предполагаемой технологии с учетом гибки труб на станках с программным управлением на основе управляющих программ.

Главным условием новой организации работы является наличие электронной модели, адекватно отражающей

объект строительства. Перспективная технология работ по обеспечению гибки магистральных труб на станках с программным управлением (ЧПУ) состоит в следующем:

- Разработка проектантом заказа управляющей программы (электронной 3D модели) на гибку трубы для станков с числовым программным управлением и передача этой программы в управляющую систему станка.
- Автоматическая гибка трубы на станке с программным управлением.
- Проверка геометрии трубы после гибки при помощи системы измерения труб и проведение анализа выданных исходных данных с фактически изготовленной трубой.

Таким образом можно рассчитывать снижение трудоемкости:

$k_1 = t_{n1} - t_{n2} = 4,271 - 3,702 = 0,569$ норм./ч, что составляет 13% от трудоемкости на изготовление одной магистральной трубы.

Таблица 2

Нормы времени на выполнение основных технологических операций по изготовлению труб на производственных площадях цеха до и после модернизации

№ п/п	Содержание работы по существующей технологии	Норма времени на изготовление одной трубы по существующей технологии	Содержание работы по новой технологии	Норма времени на изготовление одной трубы по новой технологии
Труба магистральная $\varnothing 57$ мм				
1	Входной контроль	0,059	Входной контроль	0,059
2	Снятие замеров для изготовления шаблонов	0,16	–	–
3	Изготовление шаблона: – прямого – два погиба	0,20 0,107	–	–
4	Резка трубы	0,06	Резка трубы	0,05
5	Установка и снятие оснастки	0,33	Установка и снятие оснастки	0,31
6	Гибка трубы по шаблону: – первый погиб – второй погиб	0,14 0,08		0,09 0,07
7	Зачистка концов труб	0,007	Зачистка концов труб	0,007
8	Сборка труб	0,038	Сборка труб	0,036
9	Пригонка труб	1,31	Пригонка труб	1,30
10	Зачистка сварных швов	0,14	Зачистка сварных швов	0,14
11	Вырезка и обработка отверстий	0,10	Вырезка и обработка отверстий	0,10
12	Изготовление отрезка Сборка отрезка	0,14 0,26		0,14 0,26
13	Установка и снятие заглушек	0,32	Установка и снятие заглушек	0,32
14	Гидравлические испытания	0,18	Гидравлические испытания	0,18
15	Установка заглушек и сдача труб в монтаж	0,18	Установка заглушек и сдача труб в монтаж	0,18
16	Предварительная установка труб	0,46	Предварительная установка труб	0,46
	ИТОГО*:	4,271 (t_{n1})		3,702 (t_{n2})

*Без учета времени переноски груза [3]

Основная задача, которая должна быть решена с помощью данной технологии, – это изготовление магистральных и части забойных труб в точный размер. Принципиальным отличием нового технологического процесса является изготовление всех труб судовых трубопроводов, включая забойные, по модели трубы. При этом обеспечивается единство информации как на стадии проектирования, так и на стадии постройки судна.

Решение проблемы бесшаблонной трассировки в целом позволяет:

- сократить цикл трубопроводных работ;
- снизить трудоемкость изготовления труб;
- внедрить автоматизированные процессы обработки труб с применением оборудования с ЧПУ [4].

В рамках реализации Федеральной целевой программы развития оборонно-промышленного комплекса и инвестиционной программы технического развития верфей наиболее глобальная модернизация будет проведена на южной площадке предприятия. Уже сегодня здесь ведутся работы по созданию современного производственного комплекса с замкнутым циклом строительства перспективных заказов. Ввод в строй новых производственных участков позволит не только увеличить объемы и качество выпускаемой продукции, но и улучшить условия труда адмиралтейцев.

ВЫВОД

Анализ показывает, что переход к цифровизации путем повышения уровня автоматизации отдельных производств судостроительного предприятия позволяет апробировать технологию, дать положительный экономический эффект, а также начать процесс трансформации внутри предприятия, что может привести к сокращению сроков постройки судна и, как следствие, к повышению уровня конкурентоспособности предприятия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Центр2М. Цифровизация промышленности. – [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://center2m.ru>
2. Александров В.Л., Прелыгин А.В., Соколов В.Ф. Судостроительное предприятие в условиях рынка. – СПб.: Судостроение, 2003. – 165 с.
3. Соколов И.П. Технологическое оборудование. Механизированный инструмент. Технические характеристики для расчета: Справ./ЦНИИТС – Л.: Судпромгиз, 1962, с. 125.
4. Рогозина К.С. Анализ критериев механизации и автоматизации производственных процессов//Тр. Крыловского государственного научного центра. – 2019. – Спец. вып. № 2. – С. 282–286. ■

Профилактическое и корректирующее техническое обслуживание все еще широко распространено и используется в морской отрасли, механические системы, такие как детали машин и оборудования (РМЕ), заменяются или капитально ремонтируются через определенное время. Детали морских механических систем, когда они еще функционируют, могут быть заменены в рамках фиксированного технического обслуживания или после запланированного интервала, что приводит к значительным затратам. Такие традиционные подходы к техническому обслуживанию морских механических систем не очень эффективны в отношении надежности, безопасности и ремонтпригодности. Чтобы устранить недостатки вышеперечисленных подходов к обслуживанию, можно прибегнуть к профилактическому обслуживанию. Использование сенсорных технологий или методов машинного обучения может помочь оптимизировать техническое обслуживание морских механических систем.

Плавучие верфи проводят ремонт и обслуживание морских транспортных средств (МТС), в том числе механических систем, которые требуются чаще обслуживать. Отсутствие такого обслуживания систем может привести к длительному простоем МТС и потере дохода операторов доков. Функциональность плавучих доков во многом зависит от надежной работы балластных насосов [1–3].

ПЛАВУЧИЕ СУХИЕ ДОКИ

В сухом доке МТС поднимается из воды, чтобы можно было выполнять работы на внешней стороне судна, которая обычно находится ниже ватерлинии. Плавучие сухие доки, как показано на рис. 1, считаются крупными морскими сооружениями, предназначенными либо для строительства, либо для обслуживания судов. Размер дока зависит от размеров стыкуемого МТС и состоит из системы балластных цистерн для подъема и опускания понтонного дока с помощью насосов. Плавучий док позволяет наполнять водой необходимое пространство до заданной высоты с помощью балластных насосов. Когда МТС касается установленных понтонных блоков, ворота закрываются, а забортная вода сливается, чтобы открыть все участки МТС для проведения работ по техническому обслуживанию и ремонту. Суда планируются к постановке в сухой док не только для технического обслуживания, но и для промежуточного и крупного классификационного освидетельствования через 2,5 года и 5 лет соответственно.

ПРОФИЛАКТИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ СУДОВЫХ МЕХАНИЗМОВ С ПОМОЩЬЮ ТЕХНОЛОГИИ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

С.Г. Черный, канд. техн. наук, доцент, СПбГМТУ, ФГБОУ ВО «Керченский ГМТУ»,

А.А. Зинченко, магистрант,

П.А. Ерофеев, ассистент кафедры,

ФГБОУ ВО «Керченский ГМТУ»,

+ 7 (978) 118 3713, + 7 (978) 826 6396,

sergiublack@gmail.com, eltel85@bk.ru, pavel.erofeev.95@mail.ru

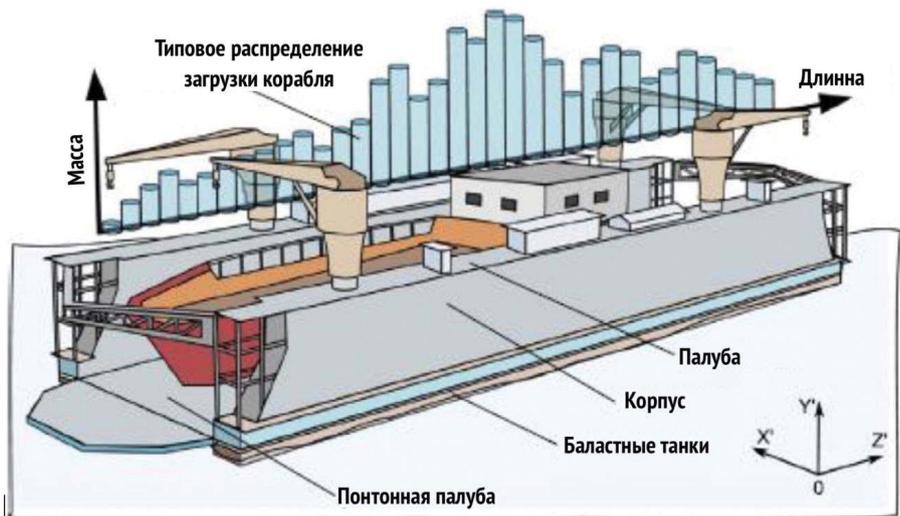


Рис. 1. Плавучий док

Работа плавучих доков обычно зависит от надежности как электрических, так и механических средств плавучей системы. Работа плавучего сухого дока зависит, как уже сказано, от работы механических и электрических насосов, которые обеспечивают вытеснение. Актуальность технического обслуживания техники плавучего дока повышает надежность системы и снижает текущие затраты, связанные с ее простоем. Выход из строя оборудования сухого дока может представлять опасность для доковой бригады и пришвартованного судна. Сухие доки являются активами, приносящими доход, поэтому любые простои, вызванные отказом докового оборудования, отрицательно сказываются на нем.

ПОДХОДЫ К ВЫБОРУ СПОСОБА ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

Существуют различные стратегии технического обслуживания, которые в настоящее время используются в морской отрасли: корректирующее обслуживание, плановая замена, плановый капитальный ремонт, непрерывное обслуживание по состоянию (ТОС) и запланированное по состоянию. Плановое техническое обслужива-

ние рассматривается как профилактическое. Из различных используемых подходов к техническому обслуживанию используются в основном три: корректирующее, профилактическое обслуживание и подходы к техническому обслуживанию по состоянию.

По данным Федерального агентства по рыболовству, износ промыслового флота России в сравнении с нормативными сроками службы, разработанными в советское время и составляющими для малых судов 12 лет, для средних – 19 лет, а для больших – 24 года, в среднем определен в 80%. Средний возраст флота Северного бассейна составляет около 25 лет, т.е. ниже норвежского примерно на 2 года, датского – на 4 года, но выше исландского на 3 года, британского – на 5 лет и находится на уровне возраста флота других стран ЕС. Состав и техническое состояние рыбопромыслового флота определяют его основное назначение в настоящее время.

При профилактическом обслуживании систем используют данные, методы машинного обучения и статистические алгоритмы для прогнозирования наиболее вероятного их отказа. Данные об оборудовании, собираемые,

например, датчиками (проводными или беспроводными), анализируются для того, чтобы составить поэтапный прогноз того, когда данное оборудование следует заменить или обслуживать, что позволяет оптимизировать затраты на техническое обслуживание и время простоя.

Профилактическое техническое обслуживание – часть ТОС. Практика технического обслуживания допускает непрерывный мониторинг систем во время работы, что помогает своевременно обнаружить их отказ. Работоспособность и износ механических систем машинного отделения легче обнаружить благодаря базовым проблемам поломки (типичным) в области технического обслуживания. Такой подход к ТОС все больше привлекает внимание специалистов различных отраслей промышленности. Скрытые напряжения, износ, отказы теперь легко обнаружат датчики. Тем не менее руководители МТС и морские технические эксперты утверждают, что установка большего количества датчиков и кабелей, сенсорных средств мониторинга влияет на техническое обслуживание морских систем только в том случае, если ремонтная бригада параллельно будет применять другие способы технического обслуживания, такие как визуальные проверки, замеры вибрации, регулярный анализ масла и пополнение информационной базы технического обслуживания рабочими параметрами.

Конструкции механических систем, судна постоянно усложняются, и для понимания их состояния, поддержания работоспособности важен анализ получаемых данных, опора на статистический подход к определению взаимосвязи между скоростью судна и расходом топлива, доступных так называемых исторических данных, охватывающих, как правило, только 14 месяцев. Однако записи данных о техническом обслуживании системы РМЕ МТС бывают недоступны на морских судах. В связи с этим была предложена модельная система мониторинга состояния их конструкций (КСК), основанная на исторических данных о их деформации и ускорении для уменьшения неопределенностей при прогнозировании оценки усталости корпусов, которая может быть распространена на морские механические испытания системы ЗМО [3–5]. Мониторинг эффективности эксплуатации МТС с помощью аналитических методов был основан на древовидной модели, которая используется для прогнозирования их характеристик во время эксплуатации. Такая аналитическая древовидная модель может быть распространена на морские механические системы.

Некоторые проблемы диагностики состояния МТС, такие как сбор объемных данных контролируемых параметров с использованием датчиков, создание правил оповещения, которые интерпретируются операторами, не всегда коррелируются между собой. Решить эти проблемы призвана Национальная стратегия развития искусственного интеллекта на период до 2030 г.

Выделим одно из направлений искусственного интеллекта, а именно машинное обучение систем на основе опыта ввода/вывода данных без явного программирования. Машинное обучение – это практика создания индуктивных моделей из ограниченного количества данных без вмешательства экспертов [2–4]. Возможны два типа обучения: с учителем и без него. Первое предполагает использование доступных входных-выходных данных, в то время как обучение без учителя использует входные данные только для обнаружения скрытых закономерностей. Обучение с учителем позволяет прогнозировать выходную переменную на основе размеченных входных данных, в то время как обучение без учителя делает выводы на основе данных без маркировки. Машинное обучение с помощью MATLAB может помочь устранить некоторые недостатки профилактического обслуживания за счет обработки больших наборов данных об обслуживании и рабочих условиях/переменных.

Алгоритмы машинного обучения можно разделить на выборку К-ближайших соседей (КБС) или экземпляров (Random Forest-RF), выбор логики (машина опорных векторов – МОВ) и искусственных нейронных сетей (ИНС).

МОВ для прогнозирования ведет поиск границ определенных функций или переменных, затем их классы могут быть разделены, а границы интерпретированы. Алгоритм машинного обучения на основе регрессии используется для анализа данных, состоящих из зависимой переменной и одной или нескольких независимых переменных. Его можно дополнительно разделить на линейную регрессию, лес решений, байесовскую линейную регрессию, ускоренное дерево решений и нейронную сеть [4, 5].

Линейная регрессия (ЛР) основана на вероятностях, при этом параметры модели оцениваются с использованием итеративного алгоритма оценки максимального правдоподобия. МОВ позволяет максимизировать разницу между ближайшими опорными векторами, в то время как ЛР – вероятность апостериорного класса. ИНС – это алгоритм машинного обучения, направленный на решение задач распознавания образов. Его каркас состоит из плотных сетей взаимосвязанных нейронов, расположенных слоями, которым присваиваются веса

этих связей. Сначала веса определяются случайным образом, а затем итеративно корректируются для обучения. Эффекты выходных узлов наблюдают позже, когда разделение входов и предопределенных классов не вызовет ошибку.

СОПУТСТВУЮЩАЯ РАБОТА В МОРСКОЙ ОТРАСЛИ

В литературе имеется огромное количество работ, посвященных профилактическому обслуживанию балластных насосов, а также буровых насосов. На основании данного анализа, можно утверждать, что затраты от стоимости простоя балластных насосов намного выше. Усовершенствованный мониторинг состояния судовых систем для расширенного контроля технического состояния и принятия решений о судовых операциях подразумевает использование сенсорной технологии, которая позволяет судоходным компаниям и операторам участвовать в мониторинге в режиме реального времени, что является более надежным и экономичным способом с более высокой рентабельностью инвестиций (ROI).

Исследование было сосредоточено на реализации подхода к профилактическому обслуживанию балластных насосов без сенсорной технологии, а с помощью машинного обучения (рис. 2).

МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

Неконтролируемый подход к машинному обучению был принят для разработки инструмента профилактического обслуживания доковых насосов, поскольку данные об отказах были недоступны. Это может помочь определить тенденции изменения параметров докового насоса, опираясь не на данные о его отказах, а, скорее, на исторические данные о его работе. Базируясь на них, была разработана система контроля технического обслуживания и предупредительного оповещения ремонтной бригады.

Доступные проводные датчики в диспетчерской дока (ДД) используются для контроля дифферента и крена дока. Такой подход довольно утомителен и может привести к тому, что техники по техническому обслуживанию не смогут эффективно осуществлять мониторинг насосов. Используя подходы машинного обучения, можно оптимизировать время осмотра доковых насосов, технического обслуживания и эксплуатационную надежность.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ПРОФИЛАКТИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

Рабочие параметры докового насоса передаются в компонент машинного обучения, который применяет алгоритмы для прогнозирования сроков технического обслуживания или отказа. Разрабо-

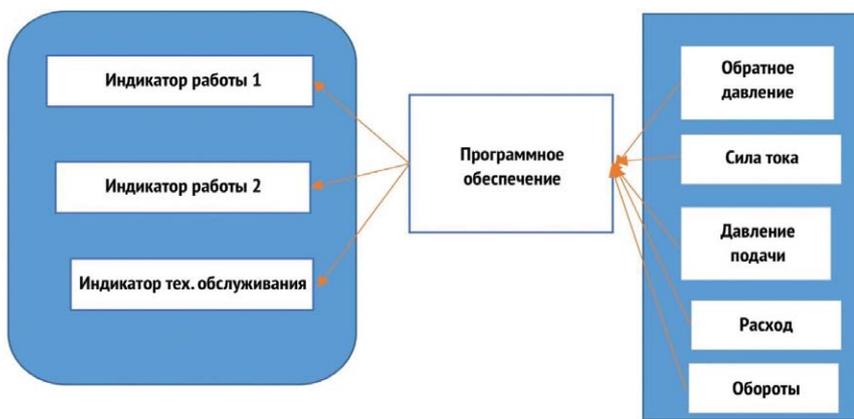


Рис. 2. Концептуальная основа проектирования системы профилактического обслуживания

танный алгоритм включает в себя анализ основных компонентов, улучшающий выбор ключевых рабочих параметров насоса. Анализ главных компонентов (АГК) – это метод уменьшения размерности исходного пространства признаков при сохранении как можно большей «дисперсии данных». АГК использовался в качестве меры определения того, являются ли рабочие параметры дока разумными и могут ли они использоваться для прогнозирования отказов/обслуживания, и позволил вычислить разложение собственных значений, т.е. оценить ковариационную матрицу рабочих данных докового насоса. Были определены наиболее важные собственные векторы для прогнозирования пространства признаков, которое поддерживает большую часть изменчивости данных.

КОНФИГУРАЦИЯ ПРОФИЛАКТИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ДОК-НАСОСА

Система профилактического обслуживания запускается с процесса инициализации, в ходе которого загружаются и проверяются контрольные пределы и модули для различных рабочих параметров док-насоса и источников данных. В случае отсутствия данных система была настроена таким образом, чтобы пометить ошибки красным цветом, после чего она пытается выполнить повторную инициализацию. Однако, если на этапе инициализации ошибок нет, то система профилактического обслуживания получит данные, которые

необходимы для выполнения системой основных функций. Система работает в двух параллельных узлах, как показано на рис. 3, один из которых вычисляет и обрабатывает верхние, нижние и средние значения контрольных пределов для столбцов x и R . Основываясь на контрольных пределах и введенных данных, контрольные диаграммы отображают параметры док-насоса, которые находятся в пределах или вне контроля для целей мониторинга. Аналогичным образом ввод данных обрабатывается для получения информации о техническом обслуживании док-насосов, а АГК выполняется для визуализации.

В нашем случае были использованы исторические данные о рабочих параметрах тестового док-насоса (см. ниже) за 40 недель, затем протестированы на предмет эффективности инструмента профилактического обслуживания. Противодавление, давление всасывания, сила тока, скорость потока и число оборотов в минуту его контролировались с использованием сенсорной технологии.

Технические характеристики тестового док-насоса

Тип	Центробежный
Производительность, м ³ /ч	300
Напор, м	10
RPM, об/мин.	520
Номинальная мощность, кВт	50

Выводы

Профилактическое и корректирующее обслуживание все еще широко рас-

пространено в морской промышленности. Детали/компоненты механических систем/установок, машин и оборудования заменяют в рамках фиксированного технического обслуживания или капитально ремонтируют через определенный запланированный интервал, когда они еще функционируют. Части системы могут исчерпать свой срок службы и до истечения запланированного интервала технического обслуживания, что потребует корректирующего обслуживания. Чтобы устранить недостатки вышеупомянутых подходов к обслуживанию, можно использовать профилактическое обслуживание.

Инструмент профилактического обслуживания основан на непрерывном вводе рабочих данных о состоянии доковых насосов в режиме реального времени. Если такие данные недоступны или не собираются ремонтной и эксплуатационной бригадой, то возможность применения подобного инструмента становится проблематичной.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Вороховин С.В.* Состояние и проблемы современного судоремонта // Вестник Морского государственного университета. – 2017. – № 79. – С. 52–57. – EDN RLNTMV.
2. *Пашеева Т.Ю., Попов Л.В.* Технический контроль как один из способов управления качеством судоремонта // Вестник ГУМРФ им. адмирала С.О. Макарова. – 2021. – Т. 13. – № 2. – С. 232–243. – DOI 10.21821/2309-5180-2021-13-2-232-243. – EDN UFSVJB.
3. *Авдеев Б.А., Выигра А.В.* Исследование эффективности обработки деталей при судоремонте с использованием очистки смазочно-охлаждающих жидкостей в магнитном отстойнике // Вестник Астраханского ГТУ. – Серия: Морская техника и технология. – 2020. – № 2. – С. 22–29. – DOI 10.24143/2073-1574-2020-2-22-29. – EDN MNBWKY.
4. *Фирсова А.В., Фирсов В.Б., Шальнов М.А.* Особенности экспертных исследований в сфере судостроения и судоремонта Фирсова // Морской сборник. – 2022. – № 6 (2103). – С. 54–63. – EDN JAVZGW.
5. Обзор эффективных методов идентификации параметров электрической сети судов для повышения эксплуатационных качеств // Черный С.Г., Жуков В.А., Соболев А.С. и др. // Морская радиоэлектроника. – 2022. – № 1 (79). – С. 4247. – EDN KQVLPV.
6. *Жуков В.А., Половинкин В.Н., Медведев В.В., Пуляев А.А.* Исследование процесса теплообмена в высокотемпературных системах охлаждения судовых дизелей // Морские интеллектуальные технологии. – 2019. – № 1–1 (43). – С. 117–124. – EDN KNOXVW.



Рис. 3. Конфигурация системы

Многокомпонентные материалы, состоящие из матриц углеродной, металлической, полимерной и других основ, армированных наполнителями из тонкодисперсных частиц, нитевидных материалов, называются композиционными (далее – КМ). Задачей производства КМ является соединение аналогичных или разнотипных компонентов для достижения новых заранее заданных характеристик и свойств, отличных от изначальных компонентов. Подбором необходимых свойств, соотношения связующего наполнителя и матрицы, а также их расположения можно создать материалы с требуемым сочетанием технологических и эксплуатационных свойств. Качества большинства созданных КМ оказываются более высокими, чем у их исходных компонентов. С изобретением такого вида материалов появилась возможность высокоселективного выбора свойств композитов, требуемых для выбранной области применения.

КМ, созданные из полимеров (далее – ПКМ), – это материалы первого поколения, обладающие изотропными свойствами, наполненными дисперсными частицами, имеющими большее количество свойств, чем изначальные полимеры. Развитие данной области производства ПКМ связано с использованием наноразмерных наполнителей, благодаря которым материалы наследуют комплекс эксплуатационных свойств, даже несмотря на малое количество наполнителя.

Материалами второго поколения являются гетерофазные анизотропные композиции на основе высокопрочных непрерывных волокон, используемых для армирования, и термоактивных матриц.

Для перехода к третьему поколению ПКМ в состав структуры вносят специальные компоненты, разработанные на основе микро- и нанотехнологий. Впо-

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ИЗДЕЛИЙ МЕТОДОМ ПУЛТРУЗИИ

М.А. Баранов, инженер-конструктор 1-й категории, ООО «Винета», аспирант СПбПУ, контакт. тел. +7 (931) 378 7079

следствии данные ПКМ становятся интеллектуальными, способными самодиагностироваться и адаптироваться к внешнему воздействию среды.

Мировой выпуск ПКМ в 2019 г. оценивается в более чем 99 млрд долл. в стоимостном выражении и 12,0 млн. т в натуральном выражении. Эксперты считают, что до 2027 г. рынок композитов будет расширяться на 6,8% в год, и по стоимости их выпуск возрастет до 112 млрд долл. [1]. Благодаря специальным конструкционным, технологическим и физико-химическим свойствам данные материалы можно применять практически во всех сферах жизнедеятельности.

Для изготовления изделий из полимера, заполненных непрерывными волокнами, используют как нити в виде пучков, так и текстильные материалы – маты из волокна, представляющие собой наполненный армирующими волокнами материал, где длина нити составляет от 15 до 45 мм, соединенными между собой эмульсионным связующим. Из-за хаотично ориентированных волокон мат не представляет собой прочный материал, тем не менее он отлично насыщается смолой, так как имеет пористую структуру. Также структура мата активно используется для клеевого соединения слоев других материалов или наполнителей. Именно поэтому на производстве применяется укладка чередующихся между собой слоев ровинга и мата.

Ровингом называется шнур из нитей непрерывного волокна, различающийся количеством нитей в жгуте. Тканый ровинг с волокнами, ориентированными в перпендикулярном направлении, состоит из прядей волокна, обеспечивает максимально прочное армирование. При одинаковом весе формованный из ровинга материал обладает прочностью в два раза большей, чем стандартный пластик из мата и тканого ровинга. Тем не менее существует проблема склеивания ровинга, так как материал данного типа обладает плохой адгезией.

В качестве полимерного связующего используются полиэфирные, эпоксидные, фенолформальдегидные и кремнийорганические смолы – реактопласты низкой молекулярной массы. Единственным минусом данных связующих является то, что отверждать их необходимо химическими веществами. Выбор связующего обусловлен сложностью физико-химических процессов склеивания. Связующее под действием силы тяжести должно проникать в волоконную структуру склеиваемого вещества и пропитывать наполнитель, для этого оно должно обладать низкой вязкостью.

В настоящее время при использовании перспективных технологий в качестве связующего используются различные термопласты, такие как полиамид и полипропилен. Для этого волокна на-

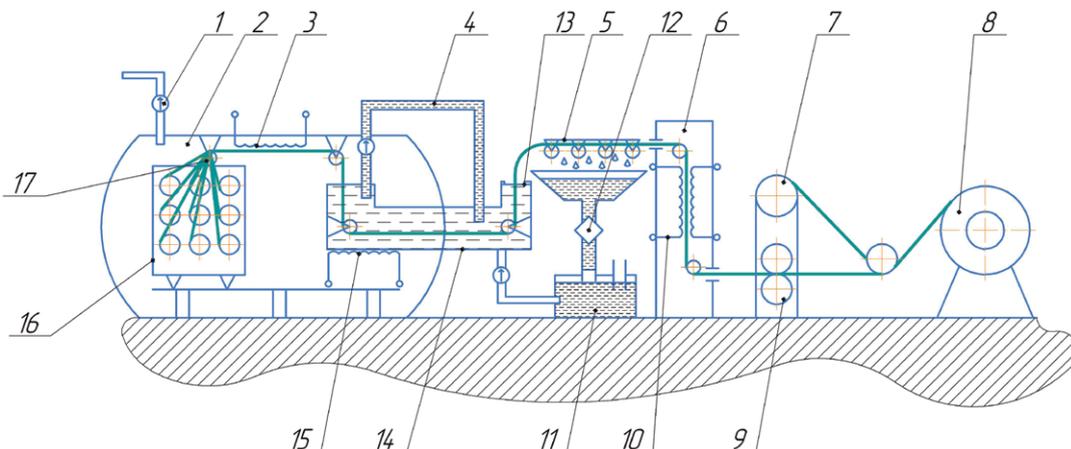


Рис. 1. Схема пропиточной установки для получения препрега

1 – вакуумный насос; 2 – вакуумная камера; 3 – нагреватель; 4 – компенсатор уровня связующего; 5 – отжимное устройство; 6 – сушильная печь; 7 – бобина с разделительной пленкой; 8 – рулон с готовым препрегом; 9 – калибрующее устройство; 10 – нагреватель; 11 – ресивер; 12 – фильтр; 13 – вакуумный затвор; 14 – ванна со связующим; 15 – нагреватель; 16 – шпулярник с нитяным наполнителем; 17 – распределительный барабан

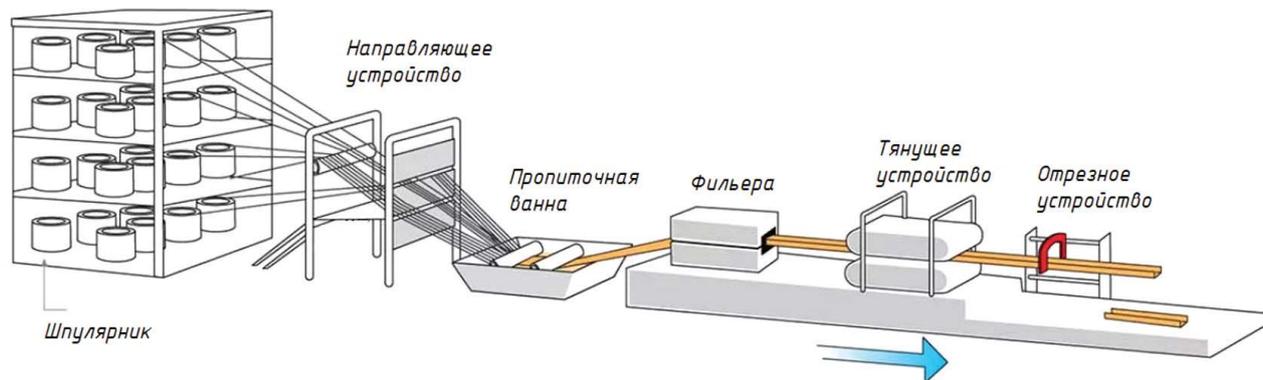


Рис. 2. Схема процесса пултрузии

полнителя сплетают или укладывают с волокнами термопластика для равномерного распределения связующего. Волокна из термопласта расплавляются за счет давления и связывают волокна склеиваемого материала. Далее после формовки изделия его физические габариты фиксируют охлаждением.

Сегодня различные изделия из ПКМ по большей части производят с помощью препреговой технологии. Препреги – это по своей сути материалы-полуфабрикаты, ткани и волокна, пропитанные предкатализированной смолой при высоких значениях давления и температуры [2]. Смола в препреге находится в полутвердом состоянии, и только при формовании происходит процесс окончательного отверждения. Чтобы максимально реализовать физико-химические свойства армирующего материала, пропитка осуществляется на специальных установках шахтного или горизонтального типа. Пример такой установки представлен на рис. 1. Для производства препрега на основе ткани основа будущего препрега поступает из разматывающегося устройства, растягивается, пропускается через ванны со смолой и тщательно отжимается при помощи прецизионных валов, а затем сушится в специальной камере. После просушки уже готовый препрег упаковывается в пакеты или рулоны калиброванного ленточного материала с разделительной пленкой между слоями. Для увеличения срока годности препрега его хранят при пониженных температурах в холодильных камерах, так как при комнатной температуре срок его использования ограничен двумя неделями. В дальнейшем полученный препрег реализуется предприятиями в виде товарной продукции или подвергается фасонному, или плоскому формованию.

Препрег, полученный на специализированных пропиточных станках, обладает высоким качеством пропитки волокон материала связующим веществом, с минимальными механическими повреждениями пропитываемого материала. Отсутствие слипания материала при нормальной температуре позволяет автоматизировать процесс нанесения

препрега методами намотки и выкладки, а также реализовать процесс ручной выкладки сложных изделий. Дополнительно это позволяет выполнять раскрой препрега на лазерных и гидробразивных станках.

Как итог, получение композитных изделий из полимерных композиционных материалов можно разделить на два этапа: получение заготовки и ее формование для достижения заданных физических свойств материала. ПКМ, состоящие из смолы, волокон и других наполнителей, после отверждения являются твердыми телами. Характеристики готового изделия (такие, как габаритные размеры, форма, объем серии) обуславливают выбор состава композиции, способа ее получения и формования [2].

Можно выделить наиболее распространенные технологии производства изделий из ПКМ:

1. Намотка пропитанного смолой волокна на форму.
2. Напыление композиций на поверхности форм.
3. Формование с укладкой пропитанного смолой холста на форму.
4. Пултрузия.
5. Формование в закрытой форме.

Выбор технологии изготовления изделия из ПКМ зависит от условий эксплуатации, объема имеющихся на производстве ресурсов, а также от требуемых свойств полимерного композита. Нарушение процесса подготовки и выкладки препрега, несоблюдение температурных режимов при формовании, неправильный выбор давления могут значительно изменить физические свойства ПКМ. В связи с этим необходимо четко соблюдать технологические требования на протяжении всего процесса производства материала из ПКМ.

Повсеместное применение деталей из композитов в кораблестроительной, авиационной и других крупномасштабных отраслях промышленности привлекает особое внимание к производственным технологиям, основанным на непрерывном методе получения заготовок, начиная от сырья до готового продукта, что обеспечивает эффективность про-

изводства при большом объеме выпускаемых изделий. При изготовлении изделия из композиционных материалов, свойства которого зависят в большинстве случаев, только от ориентации волокон, непрерывный процесс дает дополнительное преимущество, позволяя вести надежный контроль их ориентации и натяжения волокон.

Пултрузия – это метод непрерывного получения профильных длинномерных деталей постоянного сечения из армированных ПКМ. Пултрузия получила свое название от английских слов «pull» – тянуть и «through» – сквозь/через. Причиной названию послужил сам процесс протягивания исходного материала сквозь фильеру, нагретую до температуры полимеризации матрицы ПКМ.

Схема получения изделия методом пултрузии показана на рис. 2. Деталь заданного профиля изготавливается с помощью специального пултрузионного станка.

Технологический процесс пултрузии также непрерывный и подразделяется на этапы.

На первом этапе происходит разматывание со шпуль жгутов армирующих волокон в сухом состоянии и сбор определенным образом в пучок. С помощью направляющего устройства данные пучки подаются в ванну – пропиточную емкость, где смачиваются связующим (эпоксидным, полиэфирным и др.). Содержание связующего вещества в пучках после пропитки составляет около 30 %. Для предотвращения избыточного содержания связующего вещества в пучках в конце ванны устанавливают специальные отжимные ролики, где из волокон выдавливается избыток связующего и включений воздуха.

На втором этапе пропитанный связующим веществом материал поступает в фильеру, которая формирует конфигурацию профиля (рис. 3).

Вокруг фильеры располагают нагревательные элементы, которые формируют зоны обогрева для обеспечения процесса полимеризации профиля. Температуру обогрева задает система автоматического управления в зависи-



Рис. 3. Примеры фильер [3]

мости от материала изделия и скорости протяжки. Во избежание процесса экзотермической реакции в полимере – саморазогрева – в установке подготавливают участок для охлаждения профиля изделия, где дополнительно происходит отверждение композиции в заданном температурном режиме.

Как итог на выходе из станка получается готовый профиль, конфигурация которого полностью повторяет отверстие фильеры. Данным методом получают профили различного сечения – как сложные фигурные сечения, так и монолитный прямой профиль в виде швеллера или круга. Конечным продуктом пултрюзии является погонажный, сильно отвержденный продукт, не требующий последующей механической обработки, который режется на заданные сегменты различной длины.

Изначально пултрюзию рассматривали только как метод получения простых сплошных профилей, односторонне армированных. Однако по мере усовершенствования технологии пултрюзия стала методом производства практически неограниченного ассорти-

мента сплошных и полых изделий. В настоящее время появилась возможность использования в качестве матриц для ПКМ, получаемых методом пултрюзии, полипропилена, полиамида, а не только привычных терморезистивных полимеров, например, эпоксидных и фенольных смол. Это позволяет увеличить химическую, тепловую и ударную прочность материала. При использовании смол-отвердителей скорость пултрюзионного процесса увеличивается до протяжки шести метров профиля в минуту. Для сравнения первые пултрюзионные машины имели скорость протяжки всего один метр в минуту. В качестве наполнителя используются непрерывные волокна: арамидные, стекловолоконные, углеродные, однако в настоящее время современные станки позволяют использовать и тканые наполнители в виде лент и матов. Наиболее широко применяются наполнители в виде ровницы, состоящей из 350–400 волокон.

Таким образом, резкий рост производства заготовок стал возможен лишь благодаря технологии пултрюзии, и ко-

личество станков, работающих по данной технологии, растет с каждым годом. Лидером здесь является Китай, где насчитывается около 100 пултрюзионных производств (70% из них расположены в восточной части Китая) и 400 пултрюзионных установок, 360 из которых произведены также в Китае [4].

В настоящее время машиностроительное предприятие «Винета» прорабатывает возможность изготовления ряда комплектующих, входящих в различные изделия, с использованием ПКМ, полученных методом пултрюзии. Первые образцы материала уже успешно прошли испытания на физико-химические и эксплуатационные характеристики, а также подтвердили возможность склеивания с материалами различных типов. Пример образца из ПКМ, полученного методом пултрюзии и прошедшего испытания на склеиваемость, представлен на рис. 4.

После завершения исследования возможности изготовления ПКМ методом пултрюзии планируется наладить производство деталей со сложным профилем в большом объеме.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дориомедов М.С. Российский и мировой рынок полимерных композитов (обзор) // Тр.ВИАМ. – 2020. – № 6–7 (89). – С. 29–37.
2. Вишивков С.А., Тюкова И.С. Учебно-методический комплекс дисциплины «Технология получения композиционных полимерных наноматериалов» /Мин-во образования и науки РФ. – Екатеринбург: Урал. гос. ун-т им. А. М. Горького, 2011.
3. Ивановский механический завод – [Электронный ресурс] iv-mashzavod.ru
4. Новые химические технологии – [Электронный ресурс] www.newchemistry.ru

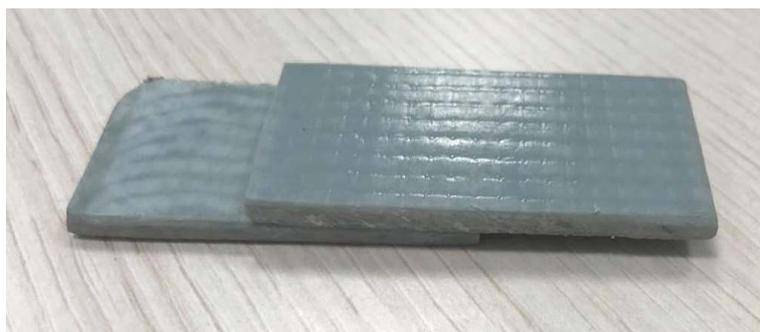


Рис. 4. Образец из ПКМ, полученный методом пултрюзии

Конденсатор пара в энергетических установках (ЭУ) – крупногабаритный, металлоемкий, сложный теплообменный аппарат, выполняющий функцию необходимого «холодного» источника в термодинамическом цикле. Конструкция конденсатора пара, который применяется в ЭУ, – это цилиндрический пучок прямолинейных теплообменных трубок круглого сечения, на который поступает обработанный пар, внутри которых протекает охлаждающая вода. Пар движется от периферии к центру трубного пучка, взаимодействует с охлаждающей средой и конденсируется. Конденсатор занимает значительный объем, что определяет размеры энергетических помещений.

В настоящее время актуальным является определение минимальных характеристик конденсаторов, необходимых для выполнения своих функций в составе ЭУ. Одной из основных характеристик парового конденсатора пара как теплообменного аппарата является площадь поверхности теплообмена, от значения которой зависят показатели эффективности его работы. Для определения площади теплообменной поверхности выполняются инженерные тепловые расчеты по различным методикам.

Одна из возможных методик расчета – методика ВТИ, приведенная в руководящих указаниях по тепловому расчету поверхностных конденсаторов мощных турбин тепловых и атомных электростанций [3], также описанная в книге О.О. Мильмана и Г.Г. Шкловера [1] с использованием формулы Л.Д. Бермана [2]. Суть методики сводится к определению:

– коэффициента теплопередачи k_i , зависящего от ряда факторов [4], по формуле

$$k_i = 4070 \cdot \alpha \cdot \Phi_\phi \Phi_t \Phi_z \Phi_\delta, \quad (1)$$

где α – коэффициент чистоты, Φ – множители, учитывающие влияние скорости воды, ее температуры на входе в конденсатор, число ходов по воде и удельной паровой нагрузки;

– поверхности охлаждения конденсатора для заданных условий (рассматриваемого варианта)

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДИК РАСЧЕТА КОНДЕНСАТОРОВ ПАРА

О.О. Лебедев, *вед. инженер АО «СПМБМ «Малахит»,
контакт. тел. (812) 242 7533, +7 (921) 371 0747, oo-lebedev@mail.ru*

$$F_i = \frac{Q_{\text{конд}}}{k_i \cdot \Delta t},$$

где $Q_{\text{конд}}$ задается в зависимости от параметров всей энергетической системы, Δt вычисляется в зависимости от параметров охлаждающей воды и конденсации;

– количества охлаждающих трубок и длины трубного пучка.

Отличительной чертой аналитического метода расчета является наличие коэффициента загрязнения поверхности, значение которого назначает специалист, исходя из опыта эксплуатации, и который влияет на итоговые значения коэффициента теплопередачи.

В процессе эксплуатации на поверхности теплообмена образуются различные вещества (грязь), которые увеличивают термическое сопротивление и ухудшают процесс теплоотдачи. Для учета ухудшения коэффициента теплопередачи в расчетах вводится коэффициент загрязнения (как правило, в 10–15%).

Вышеуказанные коэффициенты влияют на размер поверхности теплообмена.

Новым техническим решением повышения эффективности конденсатора пара является более рациональная конструкция трубного пучка – винтовая [5]. Разработана методика послойного теплового расчета винтового конденсатора пара по заданному алгоритму (рис. 1)[6].

Алгоритм теплового расчета винтового конденсатора заключается в следующем:

– трубный пучок конденсатора в поперечном сечении разбивается на слои, каждый из которых представляет собой ряд охлаждающих трубок на одном расчетном радиусе по направлению движения пара от периферии к центру пучка;

– для каждого слоя (ряда трубок) проводится тепловой расчет по схеме «охлаждающая вода – стенка трубки – паровоздушная смесь» («вода – стенка – пар»);

– на каждом слое определяются оптимальная конструкция охлаждающих трубок – овальность и угол закрутки, при которых обеспечивается отвод максимального количества тепла;

– после получения оптимальных параметров конструкции теплообменных трубок на слое осуществляется переход на следующий (более нижний) слой, начальными параметрами расчета для которого являются значения, полученные на предыдущем слое [6].

Для каждого слоя теплообменных трубок выполняется тепловой расчет, в основе которого – анализ определения количества теплоты, отводимого конденсатором от пара в охлаждающую воду:

$$Q_{\text{конд}} = k_i \cdot F_i \cdot \Delta t. \quad (3)$$

На основе алгоритма послойного теплового расчета разработана программа для ЭВМ [7].

Отличием методики расчета винтового конденсатора является то, что коэффициент теплопередачи k_i определяется не для трубного пучка в целом, а для каждого слоя по отдельности.

Значения угла траектории и овальности теплообменных трубок в программе – величины задаваемые. В связи с этим в программе может быть выполнен расчет прямолинейных цилиндрических пучков конденсатора пара, при этом значения угла должно быть установлено в положение «трубки прямые», а овальность – в значение «сечение трубок круглое».



Рис. 1. Послойный тепловой расчет конденсатора

Расчет конденсатора КП-935

Характеристика	Номинальное значение	Расчет по методике ВТИ	Послойный расчет
Поверхность теплообмена, м ²	935	933 (↓0,2%)	758 (↓18,9%)
Количество охлаждающих трубок, шт.	2710	3006 (↑9,8%)	2194 (↓19,0%)
Коэффициент теплопередачи, ккал/м ² ·°С	Не указано	3066	2841 – 3535
Длина трубного пучка, мм	5000	4490 (↓11,4%)	5000

Таблица 2

Расчет конденсатора КП-120

Характеристика	Номинальное значение	Расчет по методике ВТИ	Послойный расчет
Поверхность теплообмена, м ²	120	116 (↓3,68%)	100 (↓16,6%)
Количество охлаждающих трубок, шт.	1200	1255 (↑4,58%)	995 (↓17,8%)
Коэффициент теплопередачи, ккал/м ² ·°С	Не указано	2721	2383 – 2939
Длина трубного пучка, мм	2000	1830 (↓8,40%)	2000

Для верификации программы проведен сопоставительный расчет промышленных конденсаторов производства КТЗ. Номинальные характеристики и результаты расчета конденсатора КП-935 по двум методикам [8] представлены в табл. 1.

Анализ полученных результатов показывает: значение поверхности теплообмена, рассчитанной по методике ВТИ, близко к номинальному, это может быть объяснено.

Номинальные характеристики и результаты расчета конденсатора КП-935 [9] по двум методикам представлены в табл. 2.

Анализ полученных результатов по методике ВТИ показывает:

- значение поверхности теплообмена, рассчитанной по методике ВТИ, близко к номинальному, что может быть объяснено наличием в методике коэффициентов чистоты, учитывающих загрязнение;
- количество охлаждающих трубок в сравнении с номинальным больше приблизительно на 5–10%, в том время как активная длина трубок меньше на ту же величину. Это может быть объяснено компоновкой трубного пучка и увеличением их длины и уменьшением диаметра.

Анализ полученных результатов по послойной методике показывает:

- значение поверхности теплообмена меньше номинального приблизительно на 15–19%, что также может быть объяснено закладываемыми коэффициентами запаса, учитывающими загрязнение трубок, закупорку, ремонт и т.д. При этом в послойной методике расчеты коэффициенты запаса отсутствуют, т. е. конденсатор условно «чистый»;
- количество охлаждающих трубок также меньше номинального приблизительно на то же значение.

При этом необходимо отметить, что методики расчета сравниваются с методиками расчета номинальных параметров промышленных конденсаторов, в которых применяются коэффициенты запаса.

Отличием методики послойного расчета трубного пучка от аналитической методики является отсутствие поправочных коэффициентов (в частности, коэффициентов чистоты). Этим также объясняется то, что количество теплообменных трубок (номинальное) несколько больше, чем количество трубок при расчете по винтовой методике, т. е. учтен запас примерно в 15–19%. Разница величин площади поверхности теплообмена – аналогичная.

Таким образом, можно отметить хорошую сходимость результатов.



ЛИТЕРАТУРА

1. Мильман Г.Г., Шкловер О.О. Исследование и расчет конденсационных устройств паровых турбин. – М.: Энергоатомиздат, 1985.
2. Берман Л.Д., Зернова Э.П. Зависимость коэффициента теплопередачи конденсатора паровых турбин от режимных условий // Изв. вузов. – Серия: Энергетика. – 1980. – № 9.
3. Руководящие указания по тепловому расчету поверхностей конденсаторов мощных турбин тепловых и атомных электростанций. – М.: Союзтехэнерго, 1982.
4. Бродов Ю.М., Савельев Р.З. Конденсационные установки паровых турбин. – М.: Энергоатомиздат, 1994.
5. Лебедев О.О. Разработка трубного пучка рациональной конструкции для конденсатора паровых турбин // Морской вестник. – 2019. – № 3(71).
6. Лебедев О.О. Алгоритм расчета винтового конденсатора пара // Судостроение. – 2020. – № 5(852).
7. Программа для ЭВМ. Теплогидравлический расчет трубного пучка конденсатора пара / Лебедев О.О., Горбачев А.А., Конюхов В.В. – Свидетельство №2022612204.2022.
8. Бродов Ю.М., Аронсон К.Э., Рябчиков А.Ю., Ниренштейн М.А. Справочник по теплообменным аппаратам паротурбинных установок. – М.: ИД МЭИ, 2016.
9. Федоров В.А., Мильман О.О. Конденсаторы паротурбинных установок. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2013. ■

В настоящее время одним из проблемных вопросов повышения эффективности и безопасности функционирования автономных объектов является обеспечение их гарантированным электроснабжением. Это связано с тем, что автономные объекты имеют в своем составе системы жизнеобеспечения и безопасности, компьютерное и другое оборудование, исправное функционирование которых имеет первостепенное значение для эффективного и безопасного функционирования этих объектов и определяется в первую очередь возможностями обеспечения их гарантированного электроснабжения. При этом особую актуальность приобретает решение проблемы гарантированного электроснабжения автономных объектов Министерства обороны, например, пунктов управления, полевых лагерей, баз, складов, а также объектов, функционирующих в условиях Крайнего Севера, например, удаленных поселков, метеостанций, морских платформ, газо- и нефтедобывающих и буровых установок.

Для решения проблемы гарантированного электроснабжения автономных объектов широкое применение получили дизель-генераторные установки, содержащие первичный двигатель, генератор, аккумуляторную батарею и потребителей электрической энергии [1]. Эксплуатация данных установок выявила ряд их существенных недостатков:

- невозможность обеспечения электроэнергией стандартной частоты и напряжения при кратковременных и длительных значительных перегрузках;
- невозможность обеспечения электроэнергией электропотребителей при неработающем дизельном двигателе (первичном двигателе).
- низкие эффективность и надежность работы на малых нагрузках.

Для дальнейшего совершенствования дизель-генераторных установок были предложены новые инновационные научно-технические решения [2–5], сущность которых заключается в использовании комбинированных электроустановок в составе дизель-генераторных установок, статических преобразователей электроэнергии и накопителей электрической энергии, а также в организации работы структурных элементов комбинированных электроустановок на основе принципов и технологий когенерации, аккумулирования, частотного регулирования и преобразования энергии.

При несомненных достоинствах данных решений они имеют следующие недостатки:

1. Ограниченные функциональные возможности и область применения,

ПЕРСПЕКТИВЫ СОЗДАНИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫХ ЭНЕРГОУСТАНОВОК ГАРАНТИРОВАННОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ АВТОНОМНЫХ ОБЪЕКТОВ

В.В. Камлюк, д-р техн. наук, ген. директор,
И.О. Прутчиков, д-р техн. наук, зам. ген. директора,
И.В. Гречушкин, канд. техн. наук, начальник отдела,
 ООО «НПО 122 УМР»,
 контакт. тел. +7 (981) 885 4987

обусловленные отсутствием возможностей автоматического управления подачей электроэнергии потребителям в режимах нормального электропотребления, малой нагрузки, перегрузок, частотного обратимого пуска двигателя внутреннего сгорания, электропитания потребителей с переменной частотой тока и в аварийных режимах, связанных с неисправной работой двигателя внутреннего сгорания и/или синхронного генератора. Данное обстоятельство связано с отсутствием средств, определяющих данные режимы функционирования энергоустановки, а также средств, обеспечивающих подключение потребителей к источнику электроэнергии в этих режимах работы энергоустановки.

2. Низкая эффективность контроля и управления режимами работы энергоустановки, связанная с отсутствием возможностей автоматического конт-

роля режимов работы энергоустановки и ее функционирования в данных режимах, в том числе и в аварийных ситуациях.

В целях повышения автоматизации процессов управления энергоустановками предлагается создание и применение автоматизированных энергоустановок, основанных на применении новых компьютерных технологий и новой компьютерной техники. Такой подход заключается в автоматическом контроле и управлении режимами работы энергоустановки на основе сбора информации с датчиков, контролирующих основные параметры ее работы, анализа данной информации в блоке управления и выдачи этим блоком управляющих команд на коммутационные и исполнительные механизмы энергоустановки.

Предлагаемый вариант такой автоматизированной энергоустановки представлен на рис. 1.

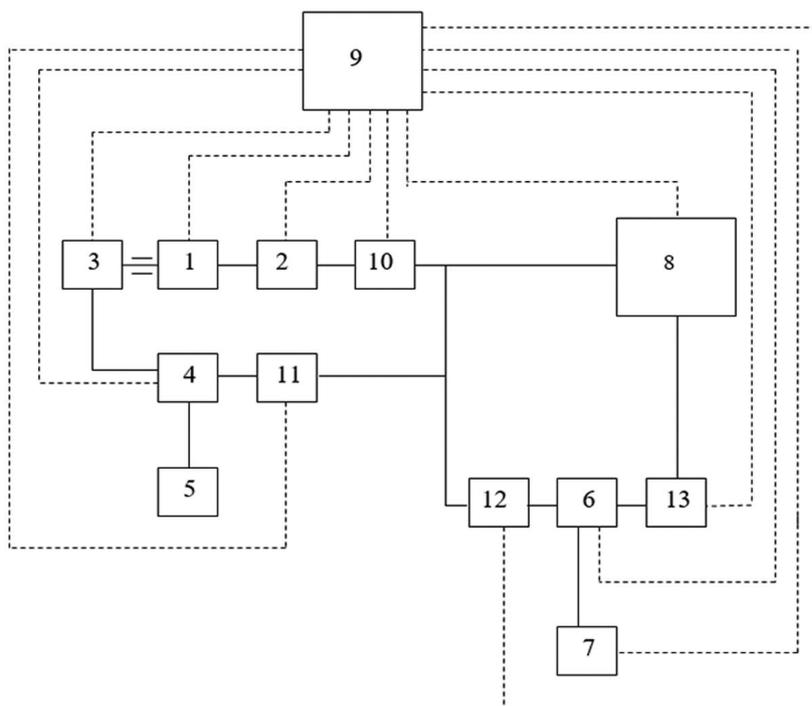


Рис. 1. Схема автоматизированной энергоустановки

Энергоустановка содержит двигатель внутреннего сгорания (ДВС) 1, синхронный генератор 2, который механически связан с ДВС 1, аккумуляторную батарею 3, которая электрически связана с ДВС 1 посредством сети электропитания постоянного тока, преобразователь частоты и напряжения 4, который электрически связан с аккумуляторной батареей 3 посредством сети электропитания постоянного тока, конденсаторную батарею 5, которая электрически связана с преобразователем частоты и напряжения 4 посредством сети электропитания постоянного тока, преобразователь частоты электропривода 6, накопительную аккумуляторную батарею 7, которая электрически связана с преобразователем частоты электропривода 6 посредством сети электропитания постоянного тока, потребители электроэнергии 8.

Отличительной особенностью энергоустановки является то, что она дополнительно снабжена блоком управления режимами работы энергоустановки 9, первым 10, вторым 11, третьим 12 и четвертым 13 коммутационными аппаратами. При этом блок управления режимами работы энергоустановки 9 связан каналами связи с аккумуляторной батареей 3, ДВС 1, синхронным генератором 2, преобразователем частоты и напряжения 4, преобразователем частоты электропривода 6, накопительной аккумуляторной батареей 7, с четырьмя коммутационными аппаратами 10, 11, 12 и 13, потребителями электроэнергии 8. Первый вход потребителей электроэнергии 8 электрически связан посредством сети электропитания переменного тока с синхронным генератором 2 через первый коммутационный аппарат 10, с преобразователем частоты и напряжения 4 через второй коммутационный аппарат 11 и с преобразователем частоты электропривода 6 через третий коммутационный аппарат 12, а второй вход потребителей электроэнергии 8 электрически связан посредством сети переменного тока с преобразователем частоты электропривода 6 через четвертый коммутационный аппарат 13.

Двигатель внутреннего сгорания (ДВС) 1 предназначен для преобразования энергии сжигания топлива в механическую энергию и в своем составе имеет измерительные датчики параметров, определяющих режим его работы, например, датчики тока, напряжения и частоты.

Синхронный генератор 2 предназначен для преобразования механической энергии, которая поступает от ДВС 1 посредством муфты, установленной на валах ДВС 1 и синхрон-

ного генератора 2, в электрическую энергию и имеет в своем составе измерительные датчики, определяющие режим его работы, например, датчики тока, напряжения и частоты.

Аккумуляторная батарея 3 предназначена для аккумуляции электрической энергии и имеет в своем составе измерительные датчики, определяющие режим ее работы, например, датчики тока, напряжения и может быть выполнена на базе известных стартерных батарей.

Преобразователь частоты и напряжения 4 предназначен для преобразования электроэнергии переменного и постоянного тока в электрическую энергию переменного тока установленной частоты и напряжения, а также преобразования электроэнергии переменного тока в электроэнергию постоянного тока и может быть выполнен на базе известных статических преобразователей.

Конденсаторные батареи 5 предназначены для аккумуляции электроэнергии постоянного тока и могут быть выполнены в виде блока конденсаторов, обладающих высокой емкостью.

Преобразователь частоты электропривода 6 предназначен для преобразования электроэнергии переменного тока и постоянного тока в электрическую энергию переменного тока регулируемой частоты, а также преобразования электроэнергии переменного тока в электроэнергию постоянного тока и может быть выполнен на базе известных статических преобразователей.

Накопительная аккумуляторная батарея 7 предназначена для аккумуляции электроэнергии постоянного тока, имеет в своем составе измерительные датчики, определяющие режим ее работы, например, датчики тока, напряжения, и может быть выполнена на базе известных герметически необслуживаемых аккумуляторных батарей повышенного напряжения.

Потребители электрической энергии 8 предназначены для потребления электрической энергии стандартной частоты и напряжения, а также переменных частоты и напряжения, необходимых для обеспечения частотного пуска и частотного регулирования динамических электропотребителей на базе электродвигателей, имеют в своем составе измерительные датчики, определяющие режим их работы, например, датчики тока, напряжения и частоты.

Блок управления режимами работы энергоустановки 9 предназначен для сбора, обработки измери-

тельной информации, поступающей от измерительных датчиков ДВС 1, синхронного генератора 2, аккумуляторной батареи 3, накопительной аккумуляторной батареи 7 и потребителей электроэнергии 8, а также для выбора режима работы энергоустановки путем подачи управляющих сигналов на коммутационные аппараты 10–13 и управления работой преобразователя частоты и напряжения 4 и преобразователя частоты электропривода 6 за счет подачи управляющих сигналов по каналам связи. Он может быть выполнен на базе микропроцессорной техники, например, контроллеров со встроенным источником электропитания.

Коммутационные аппараты 10–13 предназначены для переключения сетей электропитания переменного тока при поступлении сигналов управления от блока управления режимами работы энергоустановки 9 в зависимости от режимов работы энергоустановки и могут быть выполнены на базе известных автоматических выключателей, переключателей с дистанционным управлением.

Энергоустановка функционирует следующим образом.

Блок управления режимами работы энергоустановки 9 автоматически определяет и обеспечивает следующие режимы работы энергоустановки: нормального электропотребления; малой нагрузки; перегрузок; частотного обратимого пуска двигателя внутреннего сгорания; электропитания потребителей с переменной частотой тока; аварийные режимы, связанные с неисправной работой двигателя внутреннего сгорания и/или синхронного генератора.

Работа энергоустановки в режиме нормального электропотребления.

ДВС 1 при включении начинает вырабатывать механическую энергию, которая преобразуется в синхронном генераторе 2 в электроэнергию переменного тока. При достижении параметров работы ДВС 1 и генератора 2 номинальных значений под воздействием управляющего сигнала блока управления 9 включается коммутационный аппарат 10, и электроэнергия переменного тока поступает от синхронного генератора 2 через включенный коммутационный аппарат 10 к первому входу потребителей электроэнергии 8. Если аккумуляторная батарея 3 и/или накопительная аккумуляторная батарея 7 разряжены под воздействием управляющих сигналов блока управления 9, то включается коммутационный аппарат 11 и/или 12. При этом электроэнергия переменного тока от синхронного

генератора 2 поступает через включенные коммутационные аппараты 10 и 11 к преобразователю частоты и напряжения 4 и/или через включенные коммутационные аппараты 10 и 12 к преобразователю частоты электропривода 6. В свою очередь преобразователи 4 и/или 6 начинают вырабатывать электроэнергию постоянного тока, и происходит подзарядка аккумуляторной батареи 3, конденсаторной батареи 5 и/или накопительной аккумуляторной батареи 7. В случае окончания заряда аккумуляторной батареи 3 и/или накопительной аккумуляторной батареи 7 под воздействием управляющих сигналов блока управления 9 выключается коммутационный аппарат 11 и/или 12. Коммутационный аппарат 13 в этом режиме работы энергоустановки отключен.

Работа энергоустановки в режиме малой нагрузки. В данном режиме при достижении параметров работы энергоустановки, соответствующих режиму малой нагрузки (0–0,2 от номинальной), под воздействием управляющих сигналов с блока управления 9 ДВС 1 останавливается, включается коммутационный аппарат 11 и происходит подача электроэнергии к первому входу потребителей электроэнергии 8 от аккумуляторной батареи 3 и конденсаторной батареи 5 через преобразователь частоты и напряжения 4 и включенный коммутационный аппарат 11. При разряде аккумуляторной батареи 3 под воздействием управляющего сигнала с блока управления 9 ДВС 1 включается в работу, и осуществляется подзарядка аккумуляторной батареи 3 от синхронного генератора 2 через включенные коммутационные аппараты 10 и 11 посредством преобразователя напряжения и частоты 4. В случае окончания заряда аккумуляторной батареи 3 под воздействием управляющего сигнала блока управления 9 ДВС 1 останавливается. Коммутационные аппараты 12, 13 в этом режиме работы энергоустановки отключены.

Работа энергоустановки в режиме перегрузок. В данном режиме при достижении параметров работы энергоустановки, соответствующих режиму перегрузки, под воздействием управляющих сигналов с блока управления 9 включается коммутационный аппарат 13, и на второй вход потребителей электроэнергии 8 поступает электроэнергия от накопительной аккумуляторной батареи 7 посредством преобразователя частоты электропривода 6 через включенный коммутационный аппарат 13. Одновременно на первый вход потребителей электроэнергии 8 поступает электроэнергия перемен-

ного тока от силового генератора 2. В данном режиме работы энергоустановки коммутационные аппараты 11 и 12 отключены.

Работа энергоустановки в режиме частотного обратимого пуска двигателя внутреннего сгорания. В данном режиме на основе информации о невозможности запуска ДВС 1 в штатном режиме под воздействием управляющих сигналов с блока управления 9 включаются коммутационные аппараты 10, 12, и электропитание с возрастающей частотой подается к синхронному генератору 2 от накопительной аккумуляторной батареи 7 посредством преобразователя частоты электропривода 6. При наличии на двигателе электростартера (системы электростартерного пуска) последний на период запуска двигателя также может подключаться к аккумуляторной батарее 3 одновременно с подключением преобразователя частоты электропривода 6, что может обеспечить более благоприятные условия частотного обратимого пуска двигателя 1. В данном режиме работы энергоустановки коммутационные аппараты 11 и 13 отключены.

Работа энергоустановки в режиме электропитания потребителей с переменной частотой тока. В данном режиме на основе информации о необходимости электропитания потребителей с переменной частотой тока под воздействием управляющих сигналов с блока управления 9 включаются коммутационный аппарат 13 и электропитание переменной частоты подается ко второму входу потребителей электроэнергии 8 от накопительной аккумуляторной батареи 7 посредством преобразователя частоты электропривода 6. При этом коммутационные аппараты 10, 11, 12 отключены.

При наличии потребителей переменного тока стандартной частоты, под воздействием управляющего сигнала с блока управления 9 включается коммутационный аппарат 10, и электропитание подается на первый вход потребителей электроэнергии 8 от силового генератора 2 через включенный коммутационный аппарат 10.

Работа энергоустановки в аварийных режимах, связанных с неисправной работой двигателя внутреннего сгорания и/или генератора. На данных режимах при достижении параметров ДВС 1 и/или генератора 2, соответствующих их неисправной работе, под воздействием управляющих сигналов с блока управления 9 ДВС 1 останавливается, включаются коммутационные аппараты 11, 13, и происходит подача электроэнергии

к первому входу электропотребителей электроэнергии 8 от аккумуляторной батареи 3 и конденсаторной батареи 5 через преобразователь частоты и напряжения 4 и включенный коммутационный аппарат 11 и ко второму входу электропотребителей электроэнергии 8 от накопительной аккумуляторной батареи 7 через преобразователь частоты электропривода 6 и включенный коммутационный аппарат 13. При этом коммутационные аппараты 10, 12 отключены.

Предлагаемая энергоустановка позволяет расширить функциональные возможности, область применения и повысить эффективность работы энергоустановки за счет обеспечения возможностей по автоматическому контролю режимов работы энергоустановки и ее функционирования в данных режимах, в том числе и в аварийных ситуациях.

Таким образом, проведенный анализ позволил выявить тенденции и перспективы развития высокоэффективных энергоустановок гарантированного электроснабжения автономных объектов военной и оборонной инфраструктуры и показал, что применение разработанных и предложенных новых технических решений при разработке и создании подобных установок позволит расширить их функциональные возможности, область применения и в целом повысить эффективность их функционирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гребень И. И. и др. Передвижная дизельная электростанция ПЭС-50. – М.: Госмелбуиздат, 1951. – С. 9.
2. Патент № 2259492 С1, Российская Федерация, МПК F02D 29/06, F02 В 63/04. Способ работы силовой установки на электропотребителей и устройство для его осуществления/Прутчиков И. О., Камлюк В. В. и др.; заявитель и патентообладатель – Военный инженерно-технический университет, № 2004100653/06; заявл. 08.01.2004; опубл. 27.08.2005//Бюлл. № 24.
3. Заявка на изобретение № 2013131371/06; заявл. 08.07.2013, Российская Федерация, F02 В 63/04. Способ работы силовой установки на электропотребителей и устройство для его реализации/Маккавеев А. В., Прутчиков И. О., Камлюк В. В. и др.; заявитель – Маккавеев А. В.; опубл. 20.01.2015//Бюлл. № 2.
4. Прутчиков И. О., Камлюк В. В. Комбинированные энергоустановки автономных объектов с частотным регулированием и преобразованием энергии. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 2007. – 448 с.
5. Прутчиков И. О., Камлюк В. В. и др. Модули энергетической безопасности автономных объектов на базе комбинированных энергоустановок//Двигателестроение. – 2019. – № 1 (275). – С. 28–32. ■

Современные зарубежные неатомные подводные лодки (НАПЛ) вместе с традиционной дизель-электрической установкой оснащаются еще и воздухонезависимыми энергетическими установками (ВНЭУ) различных типов [1, 2]. Подобные комбинированные энергетические установки НАПЛ, по мнению зарубежных специалистов, существенно увеличивают автономность, повышают скрытность и улучшают боевую эффективность подводных кораблей. Электрохимические аспекты работы топливных элементов в составе электрохимических генераторов (ЭХГ) в данной статье не рассматриваются, поскольку основной интерес сфокусирован на работе системы преобразования и коммутации электроэнергии (СПКЭ).

Система преобразования и коммутации электроэнергии предназначена для обеспечения электроэнергией внешнего потребителя и потребителей собственных нужд воздухонезависимой энергетической установки с электрохимическим генератором (ВНЭУ с ЭХГ), включая систему автоматического управления и контроля (САУ и К), коммутации (включение-отключение) оборудования, а также контроля и защиты цепей питания по силовой сети [3, 4].

СИСТЕМА ПРЕОБРАЗОВАНИЯ И КОММУТАЦИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ВОЗДУХОНЕЗАВИСИМОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКЕ С ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИМ ГЕНЕРАТОРОМ

*А.Н. Дядик, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой,
А.В. Юшков, аспирант, СПбГМТУ,
контакт. тел. + 7 (911) 299 9736, + 7 (950) 000 0300*

ОПИСАНИЕ СИСТЕМЫ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ И КОММУТАЦИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Предположим, что нагрузкой СПКЭ является внешний потребитель мощностью до 825 кВт, потребители собственных нужд ВНЭУ с ЭХГ с установленной мощностью на переменное однофазное

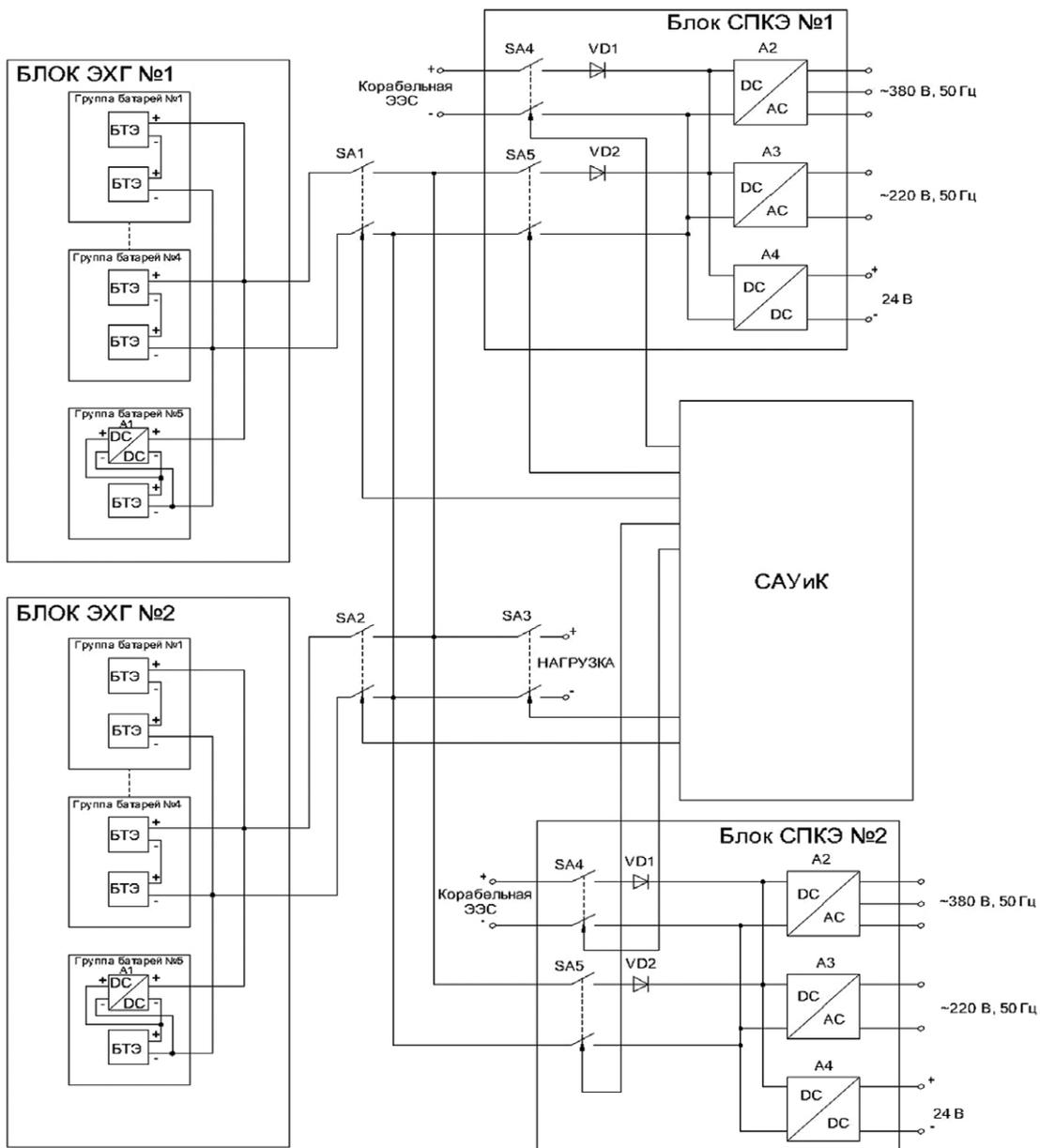


Рис. 1. Схема электрическая структурная СПКЭ

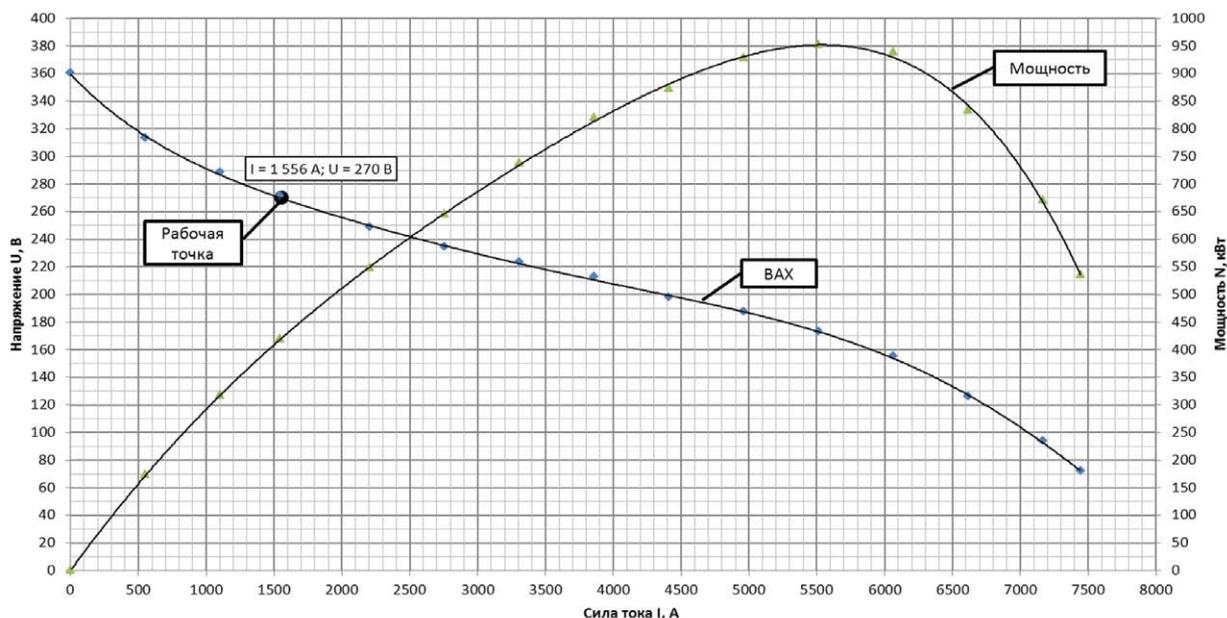


Рис. 2. Вольт-амперная характеристика функционального агрегата ВНЭУ

напряжение 220 В, 50 Гц до 1 кВт, на трехфазное напряжение 380 В, 50 Гц до 60 кВт и на постоянный ток напряжением 24 В до 1 кВт.

Источниками входных напряжений для СПКЭ (рис. 1) являются батареи топливных элементов (БТЭ), вырабатывающие постоянное напряжение в режиме «Работа», и внешняя сеть закупа в режимах «Ввод» в действие и «Вывод» из действия ВНЭУ с ЭХГ.

СПКЭ состоит из двух аналогичных по составу блоков, каждый из которых обеспечивает работу от одного функционального агрегата ВНЭУ. Отбор мощности от автономного функционального модуля ВНЭУ (при работе двух агрегатов) происходит при совместной работе двух блоков СПКЭ № 1 и СПКЭ № 2. На структурной электрической схеме системы СПКЭ модуля ВНЭУ представлены основные элементы: два агрегата мощностью по 420 кВт, два блока СПКЭ, САУ и К и управляемые ею коммутационные элементы.

Вид электроэнергии, выдаваемой ЭХГ ВНЭУ на нагрузку (во внешнюю сеть) – постоянный ток напряжением от 175 до 320 В.

Каждый из функциональных агрегатов ВНЭУ с ЭХГ включает в себя четыре группы по две последовательно соединенные по току батареи топливных элементов (БТЭ) и пятую группу – одну батарею ТЭ, соединенную последовательно с преобразователем напряжения DC/DC – А1 (вольтдобавкой). Указанное включение позволяет задействовать все девять БТЭ одного агрегата, необходимых для получения заданной мощности подключения – 420 кВт. При этом отбираемая от пятой группы БТЭ мощность регулируется с помощью выходного напряжения преобразователей DC/DC и составляет не более 50 % от номинальной мощности четырех групп БТЭ.

Функциональные агрегаты ВНЭУ № 1 и № 2 с помощью управляемых коммутационных элементов SA1 и SA2 могут быть включены как на одиночную, так и на параллельную работу, SA3 обеспечивает их подключение к нагрузке.

Вольт-амперная характеристика [5] функционального агрегата иностранной ВНЭУ с ЭХГ на 420 кВт приведена на рис. 2. Вольт-амперная характеристика автономного функционального модуля иностранной ВНЭУ с ЭХГ на 825 кВт приведена на рис. 3.

Пределы отклонения напряжения в рабочей точке соответствуют значениям от 250 до 290 В.

Трехфазный инвертор «Трасо Power» типа TSD6678-s – преобразователь DC/AC, предназначенный для преобразования постоянного выходного напряжения ЭХГ в переменное трехфазное для питания потребителей собственных нужд, с входным напряжением от 160 до 320 В, с выходным напряжением 3×400 В и мощностью 30 кВ·А состоит из трех блоков, каждый из которых имеет следующие габариты: 267×482×360 мм, и трех стандартных трансформаторов с габаритами 450×280×283 мм. При этом общая масса инвертора составит 3×(32+66) = 300 кг.

Однофазный инвертор «Трасо Power» – преобразователь DC/AC, предназначенный для преобразования постоянного выходного напряжения ЭХГ в переменное однофазное напряжение 220 В и частотой 50 Гц для питания потребителей собственных нужд, на 10 кВ·А состоит из одного блока, используемого совместно с согласующим трансформатором, аналогичным по габаритам и массе используемых в инверторе TSD6678-s. При этом его масса составит 100 кг.

В качестве преобразователя DC/DC (А4), входящего в блок СПКЭ и предна-

значенного для преобразования постоянного выходного напряжения ЭХГ в постоянное напряжением 24 В и обеспечения питания потребителей собственных нужд, может быть использован источник питания фирмы «Mean Well» типа RSP-1500-24, масса которого 3 кг, а габариты 278×127×83,5 мм.

В качестве вольтдобавки на 50 кВт, входящей в блок ЭХГ, может быть использован блок из четырех включенных параллельно по входу и последовательно по выходу преобразователей DC/DC на 12 кВт каждый. При этом ее масса составит 300 кг, а габариты – 500×600×1000 мм.

Входящие в СПКЭ контакторы, переключатели, предохранители, диоды, элементы индикации и приборы, клемники и кнопки по габаритам и массе составляют не более 30 % от габарита и массы инверторов и преобразователей. Общие габариты шкафа СПКЭ составят 800×1200×2000 мм, общая масса – от 750 до 1000 кг.

СПКЭ работает следующим образом: в режиме «Ввод» того или иного блока ЭХГ или обоих блоков ЭХГ одновременно с помощью элементов SA4 от корабельной электроэнергетической системы (ЭЭС) запитываются соответствующие блоки СПКЭ № 1 и № 2. При этом на выходах инверторов А2, А3 и преобразователя А4 появляются трехфазное переменное напряжение 380 В, 50 Гц, однофазное переменное напряжение 220 В, 50 Гц и постоянное напряжение 24 В, поступающие на потребители собственных нужд блоков ЭХГ и САУ и К.

По окончании режима «Ввод» и переходе в режим «Работа» САУ и К замыкают элементы SA1, SA2 (один из них или оба одновременно) и SA5. После этого с некоторой паузой САУ и К размыкает элемент SA4 (соответствен-

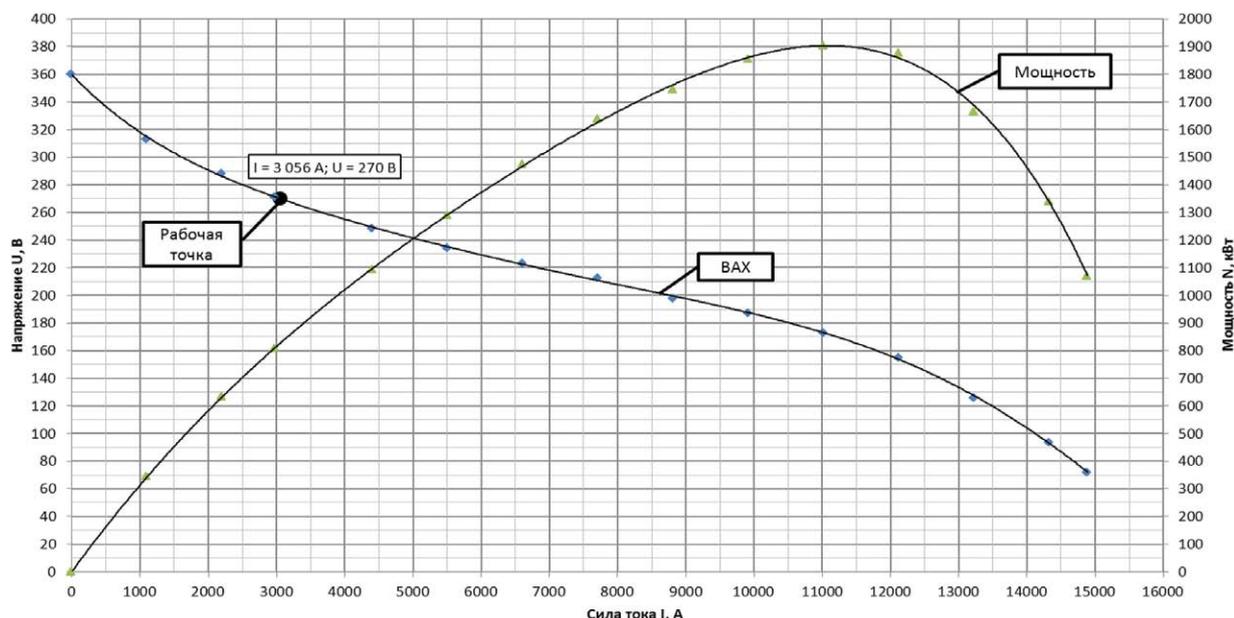


Рис. 3. Вольт-амперная характеристика функционального модуля ВНЭУ

но один из них или оба одновременно), обеспечивая бесперебойный перевод питания блоков СПКЭ от корабельной ЭЭС на питание от блоков ЭХГ.

Посредством замыкания элемента SA3 блоки ЭХГ переключаются на нагрузку энергоустановки. При переходе ВНЭУ в режим «Вывод» размыкается элемент SA3, отключая внешнюю нагрузку, а в блоках СПКЭ замыкаются элементы SA4, подключающие к ним корабельную ЭЭС. После этого с некоторой паузой размыкаются элементы SA5, а затем элементы SA1 и SA2. В результате блоки ЭХГ полностью отключаются от внешних нагрузок, а блоки СПКЭ переключаются на питание от корабельной ЭЭС без перебоев выходных напряжений.

Каждый блок СПКЭ обеспечивает питанием потребители собственных нужд функциональных агрегатов № 1 и № 2 ВНЭУ, аппаратуру САУ и К и содержит:

- инверторы DC/AC, преобразующие постоянное напряжение ЭХГ в переменное напряжение 50 Гц трехфазное 380 В – А2 и однофазное 220 В – А3;
- преобразователь DC/DC – А4;
- развязывающие диоды VD1, VD2;
- коммутационные элементы SA4, SA5;
- кнопки ВКЛ. и ОТКЛ.

Выходы инверторов DC/AC постоянно подключены к клеммам потребителей собственных нужд.

В режимах «Ввод» и «Вывод» питание СПКЭ осуществляется от электроэнергетической сети заказа, в режиме «Работа» – от ЭХГ. Бесперебойный переход от одного вида питания к другому осуществляется с помощью коммутационных элементов SA1, SV и развязывающих диодов VD1, VD2.

В качестве инверторов DC/AC и преобразователей DC/DC, входящих в состав СПКЭ и пятой группы БТЭ функционального агрегата ВНЭУ, могут быть применены стандартные инверторы и преобразователи фирмы «Traco Power». Допустимый диапазон входных напряжений для них составляет от 160 до 320 В, максимальная выходная мощность – 30 кВт.

Стоимость наиболее дорогого трехфазного инвертора составляет 45 тыс. долл.

Аналогичные инверторы могут быть созданы силами отечественных электротехнических предприятий в рамках импортозамещения на последующих стадиях разработки отечественной ВНЭУ с ЭХГ, что позволит уменьшить их стоимость при серийном производстве на 35 – 40 %.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотренная система преобразования и коммутации электроэнергии в воздухо-независимой энергетической установке с электрохимическим генератором энергии предназначена для обеспечения электроэнергией внешнего потребителя и потребителей собственных нужд ВНЭУ с ЭХГ.

При этом важную роль в составе СПКУ играют трехфазные инверторы «Traco Power» типа TSD6678-s – преобразователь DC/AC, которые преобразуют постоянное выходное напряжение ЭХГ в переменное трехфазное для питания потребителей собственных нужд. При этом общая масса инвертора составит $3 \times (32 + 66) = 300$ кг.

Однофазный инвертор «Traco Power» – преобразователь DC/AC – предназначен для преобразования постоянного выходного напряжения ЭХГ в переменное однофазное напряжение

220 В и частотой 50 Гц для питания потребителей собственных нужд на 10 кВт. При этом его масса составит 100 кг.

В качестве преобразователя DC/DC (А4), входящего в блок СПКЭ и предназначенного для преобразования постоянного выходного напряжения ЭХГ в постоянное напряжением 24 В и обеспечения питания потребителей собственных нужд, может быть использован источник питания фирмы «Mean Well» типа RSP-1500-24, масса которого – 3 кг, а габариты – $278 \times 127 \times 83,5$ мм.

Создание отечественной ВНЭУ с ЭХГ в современных условиях жестких санкций должно опираться на российскую электротехническую промышленность, способную производить инновационные изделия мирового уровня.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дядик А.Н., Замуков В.В., Дядик В.А. Корабельные воздухо-независимые энергетические установки. – СПб.: Судостроение, 2006. – 424 с.
2. Дядик А.Н., Никифоров Б.В. Корабельные энергетические системы. – Новочеркасск: ЛИК, 2012. – 680 с.
3. Никифоров Б.В., Соколов В.С., Юрин А.В. Новые источники электроэнергии для подводных аппаратов // Вопросы проектирования подводных лодок: электро-энергетические системы. – СПб.: Изд.: ФГУП «ЦКБ МТ «Рубин». – 2000. – № 12. – С. 54–65.
4. Никифоров Б.В., Чигарев А.В., Иконников В.К., Рыжский В.Ю., Байков В.П. Перспективы развития энергоустановок с электрохимическими генераторами для подводных лодок // Судостроение. – 2008. – № 5. – С. 28–32.
5. Коровин Н.В. Электрохимическая энергетика. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 264 с. ■

АО «Компрессор» – ведущий в стране поставщик специализированного компрессорного оборудования для кораблей и судов всех типов и назначений, а также для многих других отраслей. В их числе:

- специальные компрессоры и компрессорное оборудование для ВМФ;
- компрессоры для гражданских судов;
- специальная компрессорная техника для ракетных комплексов войск стратегического назначения и ПВО;
- компрессорная техника для обслуживания оборудования ракет-носителей и наземных систем в ракетно-космическом комплексе;
- компрессоры и компрессорное оборудование для энергетического комплекса и атомной энергетики.
- компрессоры для РЖД;
- компрессорное оборудование для газовой промышленности.

АО «Компрессор» имеет высококвалифицированное центральное конструкторское бюро и производственную базу для создания современного компрессорного оборудования, а также развитую сеть представительств службы сервисного и гарантийного обслуживания.

Контроль деятельности предприятия, связанной с государственным оборонным заказом (ГОЗ), осуществляется военным представительством Министерства обороны Российской Федерации (ВП МО РФ).

Наиболее эффективный, исторически сложившийся и нормативно регламентируемый способ разработки новых изделий – это выполнение опытно-конструкторской работы (ОКР) или ее составной части (СЧ ОКР) по заказу генерального заказчика.

Государство выделяет средства в первую очередь на ОКР головным исполнителям ГОЗ на стратегические тематики для обеспечения импортонеза-

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ТРУДОЕМКОСТИ РАЗРАБОТКИ СУДОВЫХ КОМПРЕССОРНЫХ СТАНЦИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АНАЛОГА НА ОСНОВЕ РАНЖИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК

*Л.Г. Кузнецов, д-р техн. наук, ген. конструктор,
А.В. Бураков, и.о. начальника ЦКБ – начальник отдела,
Д.А. Грибанов, канд. техн. наук, вед. инженер, АО НПО «Компрессор»,
Р.Р. Хотский, майор, зам. начальника 808 ВП МО РФ,
контакт. тел. (812) 295 5090, office@compressor.spb.ru*

висимости в критически важных для устойчивого функционирования страны видах деятельности. Подобная поддержка ОКР над новым судовым компрессорным оборудованием практически отсутствует.

В нынешних условиях отечественная промышленность сталкивается с новыми задачами, связанными с ограничением поставок широко применявшихся иностранных комплектующих (подшипники, электронные компоненты), материалов и специализированного технологического оборудования, что требует оперативного импортозамещения, в том числе в области судового компрессорного оборудования.

Данное обстоятельство вынуждает АО «Компрессор» в рамках инициативных разработок и ОКР, за счет собственных средств разрабатывать новое оборудование, отвечающее всем требованиям заказчика, менять комплектующие изделия производителей, не обеспечивающих условия и сроки выполнения ГОЗ.

Компрессорная станция СКВ60/200 была разработана в инициативном порядке в рамках поставки на АО «Адми-

ралтейские верфи» по ГОСТ Р 15.301–2016 [1] для ледокола пр. 23550.

Данная станция была разработана в рамках выполнения ОКР (шифр «СКА») по государственному контракту № 16411.4432017.09.07 от 16 декабря 2016 г. с Минпромторгом России по ГОСТ РВ 15.203–2001 [2].

Компрессор СКВ40/150 был разработан за счет собственных средств для замены компрессора СК40 (производитель – Германия).

Актуальным становится планирование затрат для учета себестоимости изготовления на стадии опытного производства компрессорной станции, обеспечивающей конкурентоспособность.

Для расчета затрат на разработку рабочей конструкторской документации (РКД) при формировании расчетно-калькуляционных материалов на проведение ОКР или инициативной разработки компрессора выполняется расчет трудоемкости выполнения РКД согласно [3] и проводится оценка технического уровня разрабатываемой компрессорной станции согласно с рекомендациями [4–7].



Рис. 1. Компрессорная станция СКВ60/200



Рис. 2. Компрессорная станция СКА 60/200

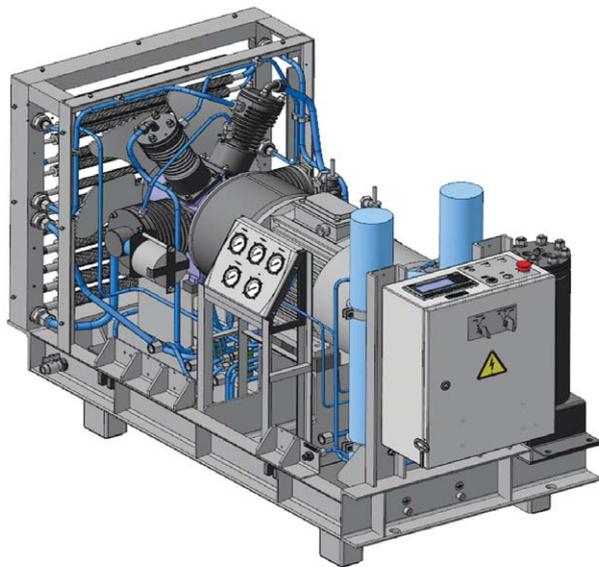


Рис. 3. Компрессорная станция SKAB40/150

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ТРУДОЕМКОСТИ РАЗРАБОТКИ РКД

Расчет трудоемкости разработки РКД компрессорной станции проводится по формуле

$$t_{из} = t_{ан} \times K_{кор}, \quad (1)$$

где $t_{из}$ – рассчитываемая трудоемкость разработки РКД компрессорной станции; $t_{ан}$ – трудоемкость разработки компрессорной станции аналога; $K_{кор}$ – коэффициент корректировки трудоемкости разработки РКД новой компрессорной станции относительно ее аналога.

Коэффициент корректировки трудоемкости разработки РКД новой компрессорной станции рассчитывается по формуле

$$K_{кор} = \sum_{i=1}^n a_i \times q_i, \quad (2)$$

где a_i – весовой коэффициент i -й технической характеристики; q_i – относительные показатели уровня качества оцениваемой компрессорной станции.

Применяется этот коэффициент для расчета прогнозной оценки трудоемкости РКД опытного образца компрессорной станции, характеризует значение превышения трудоемкости разработки РКД новой компрессорной станции, подлежащей разработке, над трудоемкостью РКД станции, принятой за аналог, в зависимости от конструктивно-технического уровня и степени сложности разработки.

В соответствии с методом оценки [8] рассчитываются отдельные относительные показатели уровня качества оцениваемой компрессорной станции q_i по прямой формуле

$$q_i = \frac{P_{i\text{баз}}}{P_{i\text{отн}}} \quad (3)$$

и обратной

$$q_i = \frac{P_{i\text{отн}}}{P_{i\text{баз}}}, \quad (4)$$

где q_i – относительный показатель качества, оцениваемый по i -му свойству; $P_{i\text{баз}}$ – значение i -го показателя базовой

компрессорной станции; $P_{i\text{отн}}$ – значение i -го единичного показателя свойства оцениваемой компрессорной станции.

Прямая формула (3) применяется для расчета относительных показателей качества, когда повышение качества компрессорной станции характеризуется уменьшением показателей. Обратная формула (4) используется для расчета относительных показателей, когда повышение качества характеризуется увеличением показателей.

Выполняется ранжирование технических характеристик по мере убывания их важности: $x_1 \geq x_2 \geq \dots \geq x_n$.

Весовые коэффициенты i -й технической характеристики определяются по формуле Фишберна (5) [9, 10]:

$$a_i = \frac{2 \times (n - i + 1)}{n \times (n + 1)}, \quad (i = 1, n). \quad (5)$$

Проводится проверка выполнения условия нормирования критериев по формуле

$$\sum_{i=1}^n a_i = 1. \quad (6)$$

ВЫПОЛНЕНИЕ РАСЧЕТА ТРУДОЕМКОСТИ РАЗРАБОТКИ РКД

Для расчета трудоемкости разработки РКД двух вариантов новой компрессорной станции SKA60/200 и SKAB40/150 по техническим требованиям заказчика выбраны основные важнейшие технические характеристики, согласно которым проведен анализ лучших серийных образцов компрессорных станций аналогов, из которых выбрана компрессорная станция SKAB60/200 (базовый образец). Проведено ранжирование технических характеристик, приведенных в табл. 1 двух вариантов новой компрессорной станции SKA60/200 и SKAB40/150 и аналога SKAB60/200 по порядку убывания их значимости.

Таблица 1

Значения показателей качества оцениваемых разрабатываемых вариантов компрессоров и серийного базового компрессора

Наименование показателя качества	Базовые значения компрессорной станции		
	SKAB60/200	SKAB40/150	SKA60/200
Производительность, $\text{м}^3/\text{ч}$	60	40	60
Давление воздуха конечное, избыточное МПа ($\text{кгс}/\text{см}^2$)	19,6 (200)	14,7; 19,6 (150; 200)	14,7; 19,6 (150; 200)
Точка росы выдаваемого воздуха при атмосферном давлении, не выше, К ($^{\circ}\text{C}$)	218 (-55)	213 (-60)	218 (-55)
Мощность на валу компрессора, кВт	36	15	35
Габаритные размеры, мм, не более:			
– длина	2170	1594	1500
– ширина	760	570	1300
– высота	1210	590	1941
Масса в рабочем состоянии, кг	1690	800	1850
Комплектность	Компрессор с двигателем, блоком осушки и прибором управления, смонтированные на общей раме	Компрессор с двигателем, блоком осушки и прибором управления, смонтированные на общей раме	Компрессор с электроприводом, прибор управления, блок осушки воздуха с безагревной регенерацией, смонтированные на общей раме
Охлаждение станции	Водяное	Воздушное	Водяное

Относительное значение показателя качества компрессорной станции и весовые коэффициенты технических характеристик

Наименование показателя качества	Обозначение, q_i	Относительное значение показателя качества компрессорной станции			Весовой коэффициент, a_i
		СКАВ60/200 (базовый)	СКАВ40/150	СКА60/200	
Производительность	q_1	1,000	0,667	1,000	0,222
Давление воздуха конечное, избыточное	q_2	1,000	1,000	1,000	0,194
Точка росы выдаваемого воздуха при атмосферном давлении	q_3	1,000	1,023	1,000	0,167
Мощность на валу компрессора	q_4	1,000	2,400	1,029	0,139
Длина	q_5	1,000	1,361	1,447	0,111
Ширина	q_6	1,000	1,333	0,585	0,083
Высота	q_7	1,000	2,051	0,623	0,056
Масса в рабочем состоянии	q_8	1,000	2,113	0,914	0,028

Рассчитанные весовые коэффициенты технических характеристик по формуле Фишберна (5) и относительные показатели уровня качества q_i оцениваемых вариантов разработки компрессорной станции по формулам (3) и (4) приведены в табл. 2.

По данным табл. 2, рассчитанный коэффициент корректировки трудоемкости разработки РКД для компрессорной станции СКАВ40/150 составил 1,281, для компрессорной станции СКА60/200 составил 0,996.

На основании полученных коэффициентов корректировки трудоемкости разработки РКД была рассчитана трудоемкость разработки РКД разрабатываемой компрессорной станции.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На основе значений относительных показателей уровня качества, приведенных в табл. 2, для компрессорных станций можно сделать следующие выводы:

- компрессорная станция СКАВ40/150 превосходит компрессорную станцию СКА60/200 по относительному показателю «точка росы выдаваемого воздуха при атмосферном давлении» на 0,023, по показателю «мощность на валу компрессора» – на 1,371, по показателям «ширина», «высота», «масса в рабочем состоянии» – на 0,749, 1,427, 1,199 соответственно, при этом уступает по показателю «производительность» на 0,333, по показателю «длина» на 0,085;
- коэффициент корректировки трудоемкости разработки РКД $K_{кор}$ ком-

прессорной станции СКАВ40/150 больше на 0,285 коэффициента $K_{кор}$ компрессорной станции СКА60/200, что говорит о преимуществе конструктивно-технического уровня варианта разработки РКД для изготовления опытного образца.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование представленного подхода к ценообразованию с применением экономико-математических методов на этапах инициативной разработки или ОКР позволяет определить количественное соотношение между повышением значений технических характеристик компрессорных станций и затратами на их производство, а также определить причины отклонений от значений, заданных в технических требованиях заказчика, разработать мероприятия по их устранению.

При осуществлении работ под контролем ВП МО РФ методика удовлетворяет требованиям [11 п. 17, подп. «г»].

Представленная методика может быть использована при расчете затрат на разработку вновь создаваемых компрессорных станций и другого судового оборудования, обосновании цены договора.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ РВ 15.203–2001. Система разработки и постановки продукции на производство. Военная техника. Порядок выполнения опытно-конструкторских работ по созданию изделий и их составных частей.
2. ГОСТ Р 15.301–2016. Система разработки и постановки продукции на производство. Продукция производствен-

но-технического назначения. Порядок разработки и постановки продукции на производство.

3. Типовые нормативы времени на разработку конструкторской документации», шифр 13.01.01, утвержденные ФГБУ «НИИ ТСС» Минтруда России 07.03.2014 № 003.
4. ГОСТ 2.116–84. Карта технического уровня и качества продукции.
5. ГОСТ 15467–79. Управление качеством продукции. Основные понятия термины и определения.
6. ОСТ 34-13-959–88. Карта технического уровня и качества продукции. Порядок составления и ведения карты уровня.
7. РД 50-149–79. Методические указания по оценке технического уровня и качества промышленной продукции.
8. Атрошенко С.А., Грибанов Д.А. Процессный подход при оценке сопротивления импульсному разрушению металлических материалов // Качество в обработке материалов. – 2015. – №2 (4). – С. 12 – 17.
9. Постников В.М., Спиридонов С.Б. Методы выбора весовых коэффициентов локальных критериев // Наука и Образование / МГТУ им. Н.Э. Баумана. – Электрон. журн. – 2015. – № 6. – С. 267–287.
10. Жукова О.В., Коньшук Т.М. Метод Фишберна – метод оценки клинической эффективности лекарственных препаратов (на примере антибиотиков, применяемых в лечении остро и рецидивирующего обструктивного бронхита у детей) // Фармация и фармакология. – 2015. – № 5 (12) – С. 42–46.
11. Постановление Правительства РФ от 2 декабря 2017 г. № 1465 «О государственном регулировании цен на продукцию, поставляемую по государственному оборонному заказу, а также о внесении изменений и признании утратившими силу некоторых актов Правительства Российской Федерации». ■

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

МНОГОЦИКЛОВАЯ УСТАЛОСТЬ (МнЦУ)

Данные о пределе выносливости рассматриваемых материалов приведены в работе [1], где дана оценка предела выносливости при температурах 800 °С и 900 °С при наработке 10^6 , 10^7 , $5 \cdot 10^8$ циклов.

Для возможности суммирования расходования выносливости материалов на разных режимах работы была принята следующая модель: для каждой температуры в диапазоне 800–900°С значение произведения предела выносливости σ_{-1} на соответствующее количество циклов N_c одинаковое при наработке от 10^6 до $5 \cdot 10^8$ циклов. Для оценки справедливости такой модели использовались опытные данные [2–4].

В работе [2] рассмотрено влияние частоты нагружения материалов на сопротивление усталости (СУ). Общий характер этого влияния выражается в повышении СУ с увеличением частоты нагружения f до примерно 1,5 кГц и затем снижения СУ до исходного уровня при f около 8 кГц. Опытные данные были обработаны с целью получения соотношения $\sigma_{-1} \cdot \lg N_c$ для наработок 10^6 и 10^8 циклов, представленных в [3]. Результаты

ОЦЕНКА ВЫНОСЛИВОСТИ ЖАРОПРОЧНЫХ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ НИКЕЛЯ ПРИ ПЕРЕМЕННЫХ РЕЖИМАХ РАБОТЫ И ПАРАМЕТРАХ МАЛОЦИКЛОВОЙ УСТАЛОСТИ

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

Таблица 1
Результаты обработки опытно полученных данных для сплавов ЭИ617 и ЭИ929

№ п/п	Сплав	T, °С	f, кГц	σ_{-1} (МПа) при $N_c 10^6$	σ_{-1} (МПа) при $N_c 10^8$	$\sigma_{-1} \cdot \lg 10^6$	$\sigma_{-1} \cdot \lg 10^8$	Отношение значений столбца 8 к столбцу 7
	2	3	4	5	6	7	8	9
1	ЭИ617	800	0,2	309	253	1854	2024	1,09
2	ЭИ617	800	0,5	329	274	1870	2190	1,17
3	ЭИ617	800	1,0	359	302	2150	2410	1,12
4	ЭИ617	800	3,0	341	282	2040	2250	1,10
5	ЭИ617	800	5,0	310	251	1860	2010	1,08
6	ЭИ617	800	7,0	290	235	1740	1880	1,08
7	ЭИ929	900	0,5	358	268	2150	2140	0,99
8	ЭИ929	900	1,0	389	292	2330	2330	1,0
9	ЭИ929	900	3,0	380	281	2280	2250	0,98
10	ЭИ929	900	5,0	349	261	2090	2090	1,0
11	ЭИ929	900	7,0	328	243	1970	1940	0,98
12	ЭИ929	900	10,0	315	232	1890	1850	0,98

для материалов ЭИ617 (800°С) и ЭИ929 (900°С) показаны в табл. 1.

Как следует из табл. 1, при температуре 800°С различия значений $\sigma_{-1} \cdot \lg N_c$ составили до 12%, а при температуре 900°С – различий не установлено (ок. 0). Результаты обработки данных работ [3, 4], где

частота нагружения не указывалась, показаны в табл. 2. По средним значениям комплекса $(\sigma_{-1} \cdot \lg N_c)_{cp}$ оценивались величины сопротивления усталости при различных циклах наработки. Последние можно сравнить с опытными исходными данными в этой же таблице (столбцы 4, 5, 6).

Таблица 2
Результаты обработки опытных данных

№ п/п	Сплав	T, °С	σ_{-1} , МПа при $N_c=10^6$	σ_{-1} , МПа при $N_c=10^7$	σ_{-1} , МПа при $N_c=10^8$	$\sigma_{-1} \cdot \lg 10^6$	$\sigma_{-1} \cdot \lg 10^7$	$\sigma_{-1} \cdot \lg 10^8$	$\sigma_{-1} \cdot \lg 10^n$, ср.	σ_{-1}^{1*} , МПа	σ_{-1}^{2*} , МПа	σ_{-1}^{3*} , МПа
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	ЭИ437 Б	700	400–440	370–390	340–360	2520	2660	2800	2660	443	380	382
2	ЭИ437 Б	800	330–340	260–290	220–260	1980	1890	1920	1930	321	276	240
3	ЭИ437 Б	900	210	150	110	1260	1050	880	1060	177	151	132
4	ЭИ617	700	430	360–390	310	2580	2590	2480	2550	425	364	319
5	ЭИ617	800	360	320–370	240–265	2160	2380	2000	2180	363	311	272
6	ЭИ617	850	310	260–300	220	1860	1960	1760	1860	310	266	232
7	ЭП109	900	–	320–360	280–320	–	2380	2400	2390	–	341	300
8	ЭИ929	700	380	330–410	290	2280	2590	2320	2400	400	343	300
9	ЭИ929	800	380	330–360	280	2280	2380	2240	2300	383	328	287
10	ЭИ929	900	360–410	300–350	260–300	2280	2240	2240	2250	375	321	281
11	ЭП57	800	450	300	330–340	2700	2100	2640	2480	413	354	310
12	ЭИ867	700	310–320	290	–	1890	2030	–	1960	326	280	–
13	ЭИ867	900	–	340	290	–	2310	2320	2315	–	330	270
14	ЭИ765	700	410	385	370	2460	2690	2700	2700	450	386	337
15	ЭИ765	800	–	320	260	–	2240	2080	2160	–	308	270
16	ЭИ827	700	310	320	–	2170	2560	2360	–	338	298	–
17	ЭИ827	800	–	330	240	–	2310	1920	2110	–	302	264
18	ЭИ893	700	–	378	370	–	2640	2960	2800	–	400	350
19	ЭИ893	800	–	390	310	–	2730	2480	2600	–	372	325

Примечание: в 1*, 2* и 3* значения σ_{-1} соответствуют 10^6 , 10^7 и 10^8 циклам

**Модуль максимальных удельных напряжений σ_{-1y} (МПа/г)
при оценке малоциклового усталости**

T, °C	Nц, кол-во циклов	Ni	Cr	Co	Mo	W	Ti	Al	Fe
650	5·10 ⁵	7,2	2,2	11,1	27,8	20,8	20,8	20,8	22,2
650	10 ⁴	7,0	2,1	9,9	26,2	19,6	19,6	19,6	20,9
700	5·10 ⁵	6,6	2,05	10,1	26,0	19,4	19,4	19,4	20,7
700	10 ⁴	6,5	1,9	9,2	24,5	18,4	18,4	18,4	19,5
750	5·10 ⁵	6,5	1,9	9,1	24,2	18,1	18,1	18,1	19,3
750	10 ⁴	6,1	1,8	8,6	22,8	17,1	17,1	17,1	18,2
800	5·10 ⁵	6,4	1,8	8,1	22,4	16,8	16,8	16,8	18,0
800	10 ⁴	5,6	1,7	7,0	20,1	15,9	15,9	15,9	16,6

В табл. 2 наряду с результатами обработки справочных данных о пределе выносливости при $N_{ц} = 10^6, 10^7, 10^8$ представлены и обработанные данные при $N_{ц} = 2 \cdot 10^8$ для сплавов ЭИ617 и ЭИ437Б, полученные при температурах 700 и 800 °С. Отношения рассчитанных значений к справочным данным составили соответственно 1,03 и 1,05 для ЭИ617 и 1,0 и 1,0 для ЭИ437Б. Для сплава ЭИ765 при $N_{ц} = 5 \cdot 10^8$ эти соотношения составили 0,88 и 1,13.

Результаты обработки опытных данных о сопротивлении усталости жаропрочных сплавов на основе никеля подтвердили работоспособность принятой модели, в которой для каждого значения температуры материала в диапазоне 700–900 °С при наработке от 10^6 до $5 \cdot 10^8$ циклов может использоваться одинаковое значение параметра $\sigma_{-1} \cdot \lg N_{ц}$.

На основе полученных результатов сделана прогнозная оценка выносливости сплава ЭИ929 при работе в двух режимах с разными значениями максимального напряжения цикла и температуры (табл. 3).

При оценке предела выносливости сплава по его химическому составу

Далее вторая половина работы выполнялась при напряжении $\sigma_{-1} = 290$ МПа и температуре 900 °С при $\lg N_{ц} = 2159/2/290 = 3,72$ и $N_{ц} = 10^{3,72}$.

Общее количество циклов $N_{ц} = 10^{3,29} + 10^{3,72} = 7198$, что соответствует уровню малоциклового усталости (МЦУ), и, следовательно, нельзя планировать безопасную эксплуатацию материалов в условиях работы на нескольких переменных режимах без учета возможного последствия от циклического нагружения.

МАЛОЦИКЛОВАЯ УСТАЛОСТЬ (МЦУ)

По аналогии с [1] был сформирован модуль для оценки параметров МЦУ (табл. 4). При известном химическом

ва и разработанного модуля удельных напряжений цикла для восьми металлов;

- суммирования наработки на разных режимах при разных температурах (от 800 до 900 °С) в ходе оценки предела выносливости жаропрочных сплавов на основе никеля;
- прогнозирования максимального напряжения цикла жаропрочных сплавов при малоциклового усталости для любого назначенного количества циклов (в диапазоне $5 \cdot 10^3$ – 10^4 циклов) на основании его химического состава и разработанного модуля удельных напряжений цикла для восьми металлов.

Таблица 3

Пример расчета предела выносливости материала при работе на переменных режимах, МПа

№ п/п	Сплав, T, °C	Nц, циклы	Ni	Cr	Co	Mo	W	Ti	Al	Fe	$\Sigma \sigma_{-1y}^* g_i$	$\sigma_{-1}^* \lg N_{ц}$
1	ЭИ929, 800											
2	g_i , г		50,8	14,0	14,0	5,0	5,5	1,7	4,0	5,0	–	–
3	σ_{-1y} , МПа/г	10 ⁶	1,06	0,84	4,24	10,6	15,9	15,9	15,9	8,4	–	–
4	$g_i \cdot \sigma_{-1y}$, МПа		53,84	11,76	59,36	53,0	87,46	27,03	63,6	42,0	396	2376
5	σ_{-1y} , МПа/г	10 ⁷	1,08	0,80	4,0	10,0	15,0	15,0	15,0	8,0	–	–
6	$g_i \cdot \sigma_{-1y}$, МПа		54,86	11,2	56,0	50,0	82,5	25,5	60,0	40,0	380	2660
7	σ_{-1y} , МПа/г	10 ⁸	0,82	0,65	3,3	8,2	12,3	12,3	12,3	6,5	–	–
8	$g_i \cdot \sigma_{-1y}$, МПа		41,65	9,1	46,2	41,0	67,65	20,9	49,2	32,5	308	2464
9	ЭИ929, 900											
10	σ_{-1y} , МПа/г	10 ⁶	1,0	0,8	4,0	10,0	15,0	15,0	15,0	8,0	–	–
11	$g_i \cdot \sigma_{-1y}$, МПа		50,8	11,2	56,0	50,0	82,5	25,5	60,0	40,0	376	2256
12	σ_{-1y} , МПа/г	10 ⁷	0,88	0,7	3,5	8,8	13,2	13,2	13,2	7,0	–	–
13	$g_i \cdot \sigma_{-1y}$, МПа		44,7	9,8	49,0	44,0	72,6	22,4	52,8	35,0	290	2030
14	σ_{-1y} , МПа/г	10 ⁸	0,72	0,57	2,87	7,2	11,0	11,0	11,0	6,0	–	–
15	$g_i \cdot \sigma_{-1y}$, МПа		36,6	8,0	40,2	36,0	60,5	18,7	44,0	30,0	274	2192

к g_i с использованием модуля удельных напряжений σ_{-1y} применен подход, предложенный в работе [1]. Определен «располагаемый ресурс» материала $R = \sigma_{-1} \cdot \lg N_{ц}$, оценены средние значения этого параметра для каждой температуры. Средние значения «располагаемого ресурса» $R_{cp} = (\sigma_{-1} \cdot \lg N_{ц})$ составили 2504 МПа· $\lg N_{ц}$ при $T = 800$ °С и 2159 МПа· $\lg N_{ц}$ при $T = 900$ °С.

Допустимое максимальное напряжение цикла будет определяться количеством планируемых циклов. Например, если при температуре 800 °С будет выработана половина «ресурса», т. е. $2504/2 = 1252$ МПа· $\lg N_{ц}$, то при $\sigma_{-1} = 380$ МПа это будет соответствовать $\lg N_{ц} = 1252/380 = 3,29$, или $N_{ц} = 10^{3,29}$ ц.

составе жаропрочного сплава на основе никеля g_i можно оценить максимальное напряжение цикла для температур 650–800 °С и базе испытаний в $5 \cdot 10^3$ и 10^4 циклов. Это напряжение определится как $\sigma_{-1} = \Sigma \sigma_{-1y}^* g_i$.

При необходимости для оценки напряжения цикла и других значениях количества циклов можно использовать параметр $R = \sigma_{-1} \cdot \lg N_{ц}$, как это показано выше.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- Показана возможность прогнозирования предела выносливости жаропрочных сплавов для любого назначенного количества циклов (в диапазоне 10^6 – $5 \cdot 10^8$ циклов) на основании его химического состава

ЛИТЕРАТУРА

1. Багерман А. З. Прогнозная оценка пределов длительной прочности, выносливости, ползучести и механических свойств сплавов на основе никеля // Морской вестник. – 2021. – № 4 (80). – С. 62–64.
2. Сулема А. М., Евстигнеев М. И. Качество поверхностного слоя и усталостная прочность деталей из жаропрочных и титановых сплавов. – М.: Машиностроение, 1974. – 250 с.
3. Справочник по авиационным материалам. – В 5 т. – Т. 3: Коррозионностойкие и жаропрочные стали и сплавы. – М.: Машиностроение. 1965. – 812 с.
4. Масленков С. Б., Масленкова Е. А. Стали и сплавы для высоких температур: Справ. в 2 кн. – М.: Металлургия, 1991. – 383 с. ■



С ПЕРВЫХ ШАГОВ К ДОСТИЖЕНИЯМ НАСТОЯЩИХ ДНЕЙ К 90-ЛЕТИЮ НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ОБЪЕДИНЕНИЯ «ЗАВОД «ВОЛНА»

Н.В. Кулык, ген. директор, АО «НПО «Завод «Волна»,
контакт. тел. (812) 244 9442

Связь является стержнем любого процесса управления: от домашних устройств и автомобилей до сложнейших производственных комплексов, боевых самолетов и кораблей. Именно поэтому современные комплексы связи, особенно радиосвязи, которые разрабатывает и производит наше Научно-производственное объединение «Завод «Волна», являются основой многих систем управления военного назначения.

Научно-производственное объединение «Завод «Волна» на протяжении всех 90 лет своей деятельности остается флагманом отечественной промышленности, предприятием, обеспечивающим выполнение важнейших для страны задач: от ремонта автотехники, в которой остро нуждалась молодая страна в 30-е годы прошлого века и в годы Великой Отечественной войны, до разработки, серийного выпуска и внедрения новейших комплексов радиосвязи и радиоэлектронной борьбы для защиты нашей Родины в настоящее время.

Задачи, которые ставились перед предприятием, всегда требовали высокого профессионализма, новаторских идей, уникальных решений, ответственного отношения к их воплощению на каждом этапе. И завод гордится достигнутыми результатами, которые с момента его основания отвечали самым высоким стандартам.

Так, уже в первый год работы автомобилей, прошедшие ремонт на Государственном авторемонтном заво-

де, открывшемся 19 февраля 1933 г. в Ленинграде, не уступали по своим характеристикам новой технике.



Первый серийный автомобиль АМО-Ф-15

В 1936 г. предприятие получило название «Ленинградский авторемонтный завод». В этот период его основной задачей стал ремонт автотракторной техники, необходимой Ленинграду и другим городам и областям, которые входят сегодня в состав Северо-Западного региона. С каждым годом предприятие наращивало объемы выпуска отремонтированной техники. Если в 1936 г. было отремонтировано 150 единиц техники, то в 1939-м – уже 3600.

Во время советско-финской войны завод получил большой и важный опыт, выполняя работы по ремонту техники, необходимой для нужд фронта. В отдельные дни сотрудникам удавалось выпускать до 54 единиц автотранспорта.

В годы Великой Отечественной войны Ленинградский авторемонтный завод, переведенный на военное положение, работал в три смены и решал целый ряд важных оборонных задач. Для этого ушедших на фронт мужчин заменили женщины, подростки и люди старшего поколения – опытные мастера, которые вышли на пенсию до нача-

ла войны. Они учили новых работников прямо в цехах. Были оперативно созданы выездные бригады, которые направлялись непосредственно в воинские части для выполнения работ по ремонту техники.

Также в январе 1942 г. были открыты два полевых ремонтных цеха и семь постов прямо на берегу Ладожского озера, чтобы обеспечить бесперебойную работу транспорта, который вез продукты и вооружение в осажденный Ленинград, а жителей города – на Большую землю.

Работа велась круглосуточно вахтовым методом, что позволило осуществлять оперативное техобслуживание автотранспорта, курсировавшего по Дороге жизни. На заводе был налажен выпуск важнейшей оборонной продукции – взрывателей для снарядов, авиабомб и торпед. Кроме того, работники завода принимали активное участие в прокладке кабеля связи через Ладогу.

После разгрома немецко-фашистских войск на севере Ленинграда и на других участках фронта завод организовал новые ремонтные базы в Выборге, Пскове и других городах, что позволило эффективно обслуживать воинские части.

После полного снятия блокады Ленинграда авторемонтный завод был передислоцирован в Кировский район – на территорию автобусного парка, сильно пострадавшего от обстрелов. Но, невзирая на трудности, сотрудники завода быстро и качественно выполняли все работы по ремонту автотранспорта. Здесь в период с 1944 по 1950 г. были капитально отремонтированы 14 200 машин.



Техника завода на Дороге жизни



Работа по укладке кабеля связи



Испытания полевых радиосредств

31 декабря 1950 г. Ленинградский авторемонтный завод был переименован в завод п/я 987 и в 1951 г. перед заводом была поставлена новая, весьма амбициозная задача: по решению Совета Министров СССР Ленинградский авторемонтный завод был перепрофилирован в радиотехнический завод по выпуску телевизионной техники. Руководству предприятия было поручено организовать производство передвижных телевизионных станций и аппаратно-студийных комплексов. В связи с перепрофилированием новое предприятие было передано в ведение Министерства промышленности средств связи.

В 1956 г. завод приступил к выпуску первых отечественных передвижных телевизионных станций ПСТ-52 и аппаратно-студийных комплексов ТЦ-4. Вскоре выпущенные заводом студийные комплексы начали работать в Таллине, Свердловске, Москве, Алма-Ате, Южно-Сахалинске и других городах СССР.

Работники завода вновь проявили умение решать поставленные страной задачи на самом высоком уровне. В 1957 г. ПСТ-52 начали экспортироваться: они были успешно сданы в эксплуатацию в Польше и Румынии.

В 1958 г. подвижная телевизионная студия, созданная на базе серийного городского автобуса, была представлена на Международной выставке в Брюсселе, где получила высокую оценку и была отмечена высшей наградой. В последующие годы предприятие неоднократно успешно представляло телевизионную аппаратуру на международных профильных выставках и ярмарках.

Правопреемником завода п/я 987 с января 1967 г. является завод «Волна».

В 1960—1970 гг. завод активно участвовал в программе развития и масштабного расширения системы связи страны с целью увеличения трафика телефонных переговоров и передачи телеграфных сообщений в любую точку страны и мира. Основу программы составляли система «Орбита» и радиорелейные линии «Горизонт». Этой аппаратурой были оснащены города Магадан, Анадырь,

Якутск, Воркута, Элиста, Норильск и многие другие.

В 1970 г. завод принял участие в оснащении нового общесоюзного телецентра в Останкино аппаратурой «Большая Москва». Совместно с другими организациями предприятие выполняло работы по выпуску экспериментальных образцов первой отечественной передвижной телевизионной станции для передачи цветного изображения.

Новым этапом развития завода стало участие в программе выполнения Государственного оборонного заказа. Начиная с 1970 г. завод в кооперации с предприятиями ВПК освоил серийный выпуск радиопередающих устройств коротковолнового диапазона большой мощности как для стационарных узлов связи различной ведомственной принадлежности, так и для мобильных средств связи.

В 1974 г. завод «Волна» был преобразован в завод Научно-производственного объединения им. Коминтерна.

С 1984 г. на заводе был освоен выпуск средств радиоэлектронной борьбы (РЭБ), включая средства РЭБ ВМФ.

Основной номенклатурой средств РЭБ стали комплексы Р-325У, Р-325П5, блоки формирования помех к изделию Р-385С.

В 1985 г. завод НПО им. Коминтерна был реорганизован в Ленинградский завод «Волна», а 7 июня 1993 г. решением КУГИ мэрии Санкт-Петербурга путем реорганизации государственного предприятия «Ленинградский завод «Волна» было учреждено предприятие ОАО «НПО Завод «Волна».

В 2005 г. НПО «Завод «Волна» становится базовым производством оборонного сектора холдинговой компании «ЭГО-холдинг».

В состав оборонно-промышленного комплекса холдинга сегодня входят только ведущие предприятия в своих областях оборонной промышленности, такие как: научно-технический институт «Радиосвязь», проектно-конструкторское бюро «РИО», научно-внедренческое предприятие «Протек», «Уранис-радиосистемы», «Морские навига-



Современный комплекс связи на тяжелом атомном ракетном крейсере «Адмирал Нахимов»

онные системы, завод «Знамя труда» и НПО «Завод «Волна» с тремя филиалами в городах Воронеж, Омск и Екатеринбург, являющийся ядром предприятий оборонно-промышленного комплекса холдинга.

НПО «Завод «Волна» сегодня осуществляет разработку, серийный выпуск, модернизацию и ремонт средств и комплексов радиосвязи и радиоэлектронной борьбы, антенных систем и антенно-аппаратурных комплексов широкого диапазона волн для стационарных и мобильных объектов связи – высокотехнологичной продукции для Министерства обороны РФ.

В основе многих комплексов радиосвязи и РЭБ, разрабатываемых и производимых заводом, лежат решения, реализованные в уникальной разработке предприятия – автоматизированной радиопередающей системе большой мощности, предназначенной для использования в современных автоматизированных радиоцентрах, обеспечивающих автоматическое или ручное построение радиопередающих трактов с гибкой конфигурацией.



Автоматизированная радиопередающая система большой мощности

Составными частями конфигурируемых трактов могут быть отдельные радиопередающие устройства, усилители мощности, антенно-фидерные устройства, возбудительные устройства и ВЧ-коммутаторы. В свою очередь, само изделие может являться составной частью более сложных и более мощных радиопередающих систем, реализующих до 16 трактов передачи с выходной мощностью до 80 кВт. Для реализации этих

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ ПРИБОРОСТРОЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ

функций имеется разветвленная система управления и диагностики.

Структурное построение автоматизированной радиопередающей системы большой мощности основано на модульном принципе. Каждый функциональный модуль встроен в единую информационную систему. Некоторые модули работают только локально, другие же имеют универсальный статус и могут использоваться для построения систем с переменной конфигурацией.

В основе линейки средств и комплексов РЭБ, производимых предприятием, лежат автоматизированные станции радиопомех Р-325У, Р-330 и автоматизированные передвижные комплексы РЭБ.



Автоматизированная станция радиопомех Р-325У

Автоматизированная станция радиопомех Р-325У предназначена для радиоэлектронного подавления поверхностной или пространственной волной КВ-радиосвязи оперативно-тактического и оперативного звеньев управления, работающих как на фиксированных частотах с традиционными видами передач, так и в режимах программируемой перестройки частоты и передачи коротких телекодированных информационных сообщений.

Станция обеспечивает: автоматический поиск источников радиоизлучений, определение пеленга на них, угла места, центральной частоты, занимаемой полосы частот, вида работы; автоматический выбор оптимальной помехи; автоматическое определение координат источников радиоизлучения (при работе в паре); технический анализ источников радиоизлучений (определение рабочей частоты, вида работы); автоматическое формирование и излучение помех, контроль работы подав-

ляемых радиолиний; автоматическое перенацеливание передатчика помех по результатам контроля или по заданной программе подавления; прием целеуказаний от пункта управления; передачу и прием информации при работе в сопряженной паре с одноименным изделием в качестве ведущей или ведомой станции через радиорелейную станцию; возможность управления четырьмя парами аналогичных станций помех (при работе в режиме ПУ).

Другой передовой разработкой предприятия является автоматизированный передвижной комплекс радиоэлектронного подавления, предназначенный для обнаружения, пеленгования и радиоподавления средств КВ-радиосвязи оперативно-стратегического, оперативного и оперативно-тактического звеньев управления противника.

Уникальной разработкой предприятия является комплексная аппаратная связи для ВМФ, предназначенная для обеспечения радиосвязи на стоянке, в развернутом состоянии, как в составе узла связи, так и автономно.



Комплексная аппаратная связи для ВМФ

Аппаратная обеспечивает: круглосуточную дуплексную КВ-радиосвязь в телефонном и телеграфном режимах в диапазоне частот 1,5–30 МГц с выходной мощностью радиопередающего устройства до 1 кВт (с возможностью уменьшения); автоматическую ретрансляцию телефонной информации в УКВ-диапазоне; привязку к узлам связи при помощи цифровых трактов (цифровых каналов) связи.

В результате проведенных на предприятии ряда опытно-конструкторских работ был разработан собственный унифицированный кузов-контейнер, предназначенный для комплектования вооружения и военной техники и разрабатывается по требованиям ГОСТ РВ 52047.

В ходе данных опытно-конструкторских работ разработаны несколько вариантов исполнения кузова для наземного навигационного комплекса, разработку которого в настоящее время завершает АО НВП «Протек».

После завершения ОКР предприятие планирует проектировать и выпускать кузова-контейнеры не только для нужд

Министерства обороны РФ, но и для других государственных служб и коммерческих организаций.



Унифицированный кузов-контейнер собственной разработки

Еще одной уникальной разработкой, выпускаемой нашим предприятием, в том числе и для военно-морского флота России, является преобразователь катодной защиты, предназначенный для питания автоматически регулируемым постоянным током систем противокоррозионной защиты подводной части морских судов неограниченного района плавания (в том числе ледоколов), а также подводной части корпуса плавэлектростанций, нефтегазодобывающих платформ и других плавсооружений.



Преобразователь катодной защиты для кораблей ВМФ

Преобразователь катодной защиты конструктивно выполнен из трех блоков, установленных на общей раме, и выносного пульта дистанционного управления: блок переключения сети предназначен для автоматического перехода с основной сети на резервную; блок контроля токов анодов предназначен для контроля тока на каждом из подключенных анодов; блок УПТ предназначен для преобразования трехфазного напряжения 380 В в регулируемый однополярный постоянный ток; пульт дистанционного управления предназначен для дистанционного управления системой.

Для питания компенсационных обмоток системы размагничивающих устройств (РУ) кораблей военно-морского флота на предприятии был разработан и серийно выпускается преобразователь реверсивный управляемый статический УСП. Он преобразует трехфазный переменный ток напряжением 380 В частотой 50 Гц в стабилизированный постоянный ток, изменяющийся по величине и знаку в зависимости от сигнала управления, создаваемого аппаратурой управления системы РУ корабля.



Преобразователь реверсивный управляемый для системы размагничивания кораблей ВМФ

Другими уникальными устройствами, производимыми на предприятии, являются радиопередающие устройства РПДУ-1000 и Р-161-5ПРД.



РПДУ-1000



РПДУ Р-161-5

Радиопередающее устройство РПДУ-1000 предназначено для работы в составе автоматизированных комплексов связи надводных кораблей и катеров, а также автономной работы.

Преимуществами перед существующими аналогами являются способность работать номинальной мощностью (без снижения) во всем рабочем диапазоне температур вплоть до +55° С, а также обеспечение работы корабельных антенн с волновым сопротивлением фидера 75 Ом без ограничения по КВВ.

Автоматизированное широкополосное радио передающее устройство КВ-диапазона большой мощности (5 кВт) Р-161-5ПРД, предназначено для передачи информации в телефонных и телеграфных режимах работы при использовании в подвижных и стационарных объектах радиосвязи и средствах РЭБ.

Созданное Омским филиалом завода радиоприемное устройство Р-673 является одним из самых востребованных на сегодня радиоприемным устройством в России.



Радиоприемное устройство Р-673

Разработанные и выпускаемые на предприятии автоматизированные коммутаторы передающих антенн, предназначенные для подключения выходов РПДУ мощностью до 8 кВт к входам антенно-фидерного тракта в условиях стационарного объекта и надводного корабля являются одними из системообразующих элементов высокочастотного тракта кораблей ВМФ.



Коммутатор передающих антенн Ю-627

Разработанный для коммутации приемных антенн КВ диапазона на радиоприемные устройства в диапазоне частот от 0,006 до 60 МГц и приемопередающих антенн УКВ-ДЦВ диапазонов на радиостанциях в диапазоне частот от 100 до 400 МГц коммутатор Ю-628 также является одним из ключевых устройств радиотрактов стационарных объектов и надводных кораблей.



Коммутатор приемных антенн Ю-628

Научно-технический институт «Радиосвязь» выполняет основную долю научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в составе предприятий оборонно-промышленного комплекса холдинга и является ведущим предприятием в области разработки, модернизации и ремонта антенных систем, возбуждательных устройств, средств и комплексов радиосвязи и радиоэлектронной борьбы, таких как:

– антенны КВ- и УКВ-диапазонов для мобильных, стационарных и морских объектов;

– возбуждательные устройства для применения в серийно изготавливаемых и вновь разработанных радиопередающих устройствах;

– широкополосные радиопередающие устройства РПДУ-1000 предназначенные для работы в составе автоматизированных комплексов связи надводных кораблей и катеров, а также автономно.



Широкополосное РПДУ-1000

Другим передовым предприятием холдинга с огромным научно-производственным потенциалом является Проектно-конструкторское бюро «РИО», одно из ведущих отечественных предприятий в части проектирования, изготовления, поставок и поддержания жизненного цикла средств и комплексов связи для кораблей и судов обеспечения ВМФ.

Основные направления деятельности предприятия:

– привязка варианта исполнения автоматизированного комплекса связи к проекту корабля в соответствии с требованиями технического задания судопроектной организации и Заказчика;

– изготовление и поставка судостроительным заводам автоматизированных комплексов связи, комплексов связи ГМССБ, комплексов радиосвязи «Бриз», различного коммутационного и абонентского оборудования, а также источников бесперебойного питания;

– информационно-управляющие системы, цифровое коммутационное

оборудование, такое как уникальная линейка многофункциональных абонентских терминалов связи, выносных пультов связи, аппаратуры коммутации, пультов управления и источников бесперебойного питания;



Многофункциональный абонентский терминал

– коммутаторы локальной сети для работы в локальной сети с технологией Ethernet 10/100/1000/10000 Мбит/с каналами, образуемыми электрической и волоконно-оптической средой передачи данных;

– система цифровой коммутации и управления для оперативной коммутации информационных и управляющих цепей технических средств с целью формирования трактов связи;



Комплекс коммутации и управления корабля

– выполнение модернизационных работ на мощных береговых радиостанциях и радиоцентрах;

– сервисное обслуживание и ремонт средств и комплексов связи на кораблях и судах обеспечения ВМФ.

В состав комплексов связи разработки и производства АО «ПКБ «РИО» могут быть интегрированы корабельная система громкоговорящей связи и трансляции, корабельная АТС, а также информационная управляющая система, позволяющая строить объектовые вычислительные сети сложной архитектуры.

Входящее в состав холдинга АО «Морские навигационные системы» проектирует и производит широкий спектр навигационного оборудования, включая интегрированные мостиковые системы

и навигационные тренажеры, океанографическое оборудование, комплексные системы управления техническими средствами, системы пожарной сигнализации и пожаротушения, системы теле- и видеонаблюдения за морской акваторией, внутрисудовые системы видеонаблюдения, палубные и вспомогательные механизмы, швартовное оборудование, системы активной катодной защиты, а также оборудование для оснащения морской, шельфовой и портовой инфраструктуры.

На предприятии серийно производятся:

– мобильный пост управления подводно-техническими работами, предназначенный для обеспечения спуска и плавания обитаемых подводных аппаратов с различных судов-носителей;

– комплекс навигационного и гидрографического гидроакустического оборудования для выполнения гидрографической съемки морского дна, определения стратификации грунта Мирового океана, определения профиля скорости звука;

– морской глубоководный манипулятор МГМ-7, для выполнения подводно-технических работ, с помощью различного вида инструмента и приспособлений.



Морской манипулятор МГМ-7

АО «МНС» обладает компетенциями и имеет опыт поставок систем отгрузки нефти и управления швартово-грузовыми операциями, АСУТП и вертолетного командного поста для стационарного морского ледостойкого отгрузочного причала «Варандей», платформы «Приразломное», плавучей буровой платформы «Арктическая», оснащения навигационным и радиооборудованием дизель - электроходов усиленного ледового класса «ГМК «Норильский никель» и танкеров компании ООО «Лукойл-Арктик-Танкер». Счет кораблей, судов и платформ, на которых установлены изделия, системы и комплексы АО «МНС», давно превысил 1000.

Передовые разработки в области радиоэлектроники ведутся на базе входящего в холдинг предприятия «Уранис-

Радиосистемы». Предприятие разрабатывают и производит компоненты для комплексов радиосвязи и оборудование морской радиоэлектроники: усилители мощности, антенные устройства, цифровые программно-перестраиваемые фильтры, мощные литий-ионные аккумуляторные блоки и спутниковые аварийные буи.

Предприятие серийно производит:

– антенные согласующие устройства для диапазона рабочих частот от 1,5 до 30 МГц;

– антенны КВ- и УКВ-диапазонов;

– фильтры и преселекторы;

– усилители мощности КВ-диапазона.



Усилитель мощности КВ диапазона

АО «НВП «Протек», одно из важнейших наукоемких предприятий ОПК холдинга, имеющее в своем распоряжении необходимую инфраструктуру, современное лабораторное и производственное оборудование, высококвалифицированный персонал, специализируется на выпуске антенных устройств, средств и комплексов РЭБ, систем навигации и управления.

Предприятие производит активную передающую фазированную антенную решётку, предназначенную для формирования, усиления и излучения радиопомех навигационной аппаратуре потребителей спутниковых радионавигационных систем, а также базовым станциям системы сотовой связи стандарта GSM.

АО «Завод «Знамя труда» – предприятие полного цикла изготовления, деятельность которого направлена на создание новых уникальных конструкций арматуры по специальным требованиям заказчиков для серийно выпускаемой арматуры для теплоэнергетики, химической, нефтяной и газовой промышленности, в том числе и для таких крупных клиентов как ПАО «Газпром».



Уникальное оборудование завода «Знамя Труда»

На предприятии производятся:

- специальная арматура для поставки на АЭС;
- судовая арматура;
- общепромышленная арматура.



Трубопроводная арматура специального назначения

В настоящее время НПО «Завод «Волна», являющийся ядром предприятий ОПК холдинга, представляет собой современный высокотехнологический производственный комплекс и включает в себя: заготовительное, сборочное и вспомогательные производства, которые обеспечивают полный технологический цикл изготовления продукции.

Объединение имеет лицензии на разработку, производство, ремонт и техническое обслуживание вооружения и военной техники, и на осуществление работ с использованием сведений, составляющих государственную тайну, и выпускает современные комплексы радиосвязи и радиоэлектронной борьбы.

На сегодняшний день объединение активно развивается, осваивает новые направления, внедряет современные прогрессивные технологии, проводит модернизацию оборудования, значительно увеличивает объем производства. Закончено строительство двух новых цехов, в которых приступили к производству контейнеров различного типа



Цех комплексной сборки завода «Волна»

и крупногабаритных антенно-мачтовых устройств. Предприятие по производству радиоэлектронной продукции становится полноценным многопрофильным заводом.

Производство претерпело немало изменений. Были закуплены современные станки для обработки пластмассы, а также портально-фрезерные станки; приобретена установка глубокого сверления, которая не только существенно расширяет возможности производства важнейшей продукции, но и позволит в дальнейшем отказаться от ручного труда, автоматизировав весь процесс производства.



Заготовительное производство

Только за последние месяцы плодотворной работы НПО «Завод «Волна» получил лицензию Роскосмоса на разработку и производство средств и комплексов в интересах корпорации. В настоящее время происходит постановка продукции на производство в интересах Роскосмоса.

Основным залогом успеха и главной ценностью предприятия во все времена был и остается высокопрофессиональный и сплоченный коллектив работников – патриотов своего предприятия. И наша главная задача – успешно реализовывать его потенциал в настоящем и будущем, храня и приумножая традиции, используя инновации и технологии XXI века.

Сегодня наше научно-производственное объединение «Завод «Волна» по праву можно назвать одним из лидирующих предприятий в сфере производства радиоэлектронной техники военного образца. За всем этим стоит самоотверженный труд работников завода, ветеранов производства, всех тех, кто с уважением относится к традициям родного завода.

В НПО «Завод «Волна» работают высококвалифицированные кадры, при этом все сотрудники регулярно повышают свою квалификацию, что позволяет идти в ногу со временем как в разработке новых изделий, так и в выпуске серий-

ной продукции. В целях повышения эффективности производства для работников созданы все условия.

Всего на предприятии трудятся более 1300 человек. Самой большой службой является производственная – здесь работают более 500 человек, успешно руководит ею талантливый организатор заместитель генерального директора по производству Денис Игоревич Александров.

Служба главного конструктора занимает важное место. Возглавляет ее главный конструктор И.В. Рыбаков, кандидат технических наук, доцент.

Именно здесь осуществляются разработка и доводка всех изделий, проверяется их соответствие техническому заданию. Эффективно решаются сложные задачи оптимизации структуры и состава разрабатываемых изделий с учетом требований заказчика при использовании отечественной элементной базы и сопровождения производства и эксплуатации серийных изделий с учетом импортозамещения в реальных условиях эксплуатации этих изделий.

Большое внимание уделяется научному потенциалу предприятия. В научных подразделениях трудятся более 14 кандидатов и один доктор наук. В последнее время произошло значительное омоложение кадрового состава, особенно на производстве предприятия и сре-

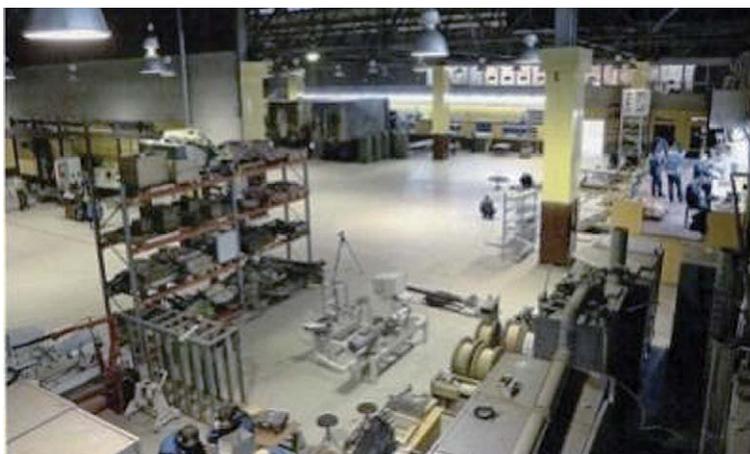
ди инженерно-технических работников. Средний возраст сотрудников предприятия составляет 36 лет.

Для подготовки собственных научно-производственных кадров в нашем научно-производственном объединении при Государственном техническом университете им. проф. Бонч-Бруевича создана и успешно работает базовая кафедра. С другими техническими вузами города Санкт-Петербурга налажены тесные взаимовыгодные отношения по подготовке специалистов в интересах оборонно-промышленного комплекса холдинга.

С целью совершенствования уровня подготовки технических и инженерных кадров нашего научно-производственного объединения создан собственный образовательный центр, имеющий лицензию на право проведения образовательной деятельности. В ближайших планах предприятия – его развитие до уровня крупного тренажерно-обучающего центра по подготовке не только собственных специалистов, но и обучению и переподготовке специалистов Вооруженных сил Российской Федерации и наших зарубежных партнеров.

Передовые идеи, уникальные конструкторские решения реализуются в разрабатываемых и изготавливаемых в настоящее время на предприятии комплексах радиосвязи, радиоэлектронной борьбы и других уникальных элементах системы военной связи. Вся эта продукция получила сегодня высочайшую оценку военного руководства страны.

Задачи, которые ставились и ставятся перед предприятием, всегда требовали высокого профессионализма, новаторских разработок, уникальных решений, ответственного отношения к их воплощению на каждом этапе. И завод гордится достигнутыми результатами, которые с момента его основания отвечали самым высоким стандартам. ■



Выпуск серийной продукции



Процесс сборки комплексов связи



Проведение приемо-сдаточных испытаний комплекса

Одно из основных направлений развития существующей системы связи специального назначения (СН) – это создание ее системы управления (СУ). Отличительной особенностью этой СУ является возможность управления ресурсами инфокоммуникационной сети (ИКС) СН, к которым относится каналный ресурс как совокупность каналов передачи данных (КПД) для всего множества информационных направлений связи (ИНС). Оптимальное распределение такого ресурса – один из наиболее эффективных методов повышения вероятности своевременной передачи информационных потоков (ИП) по ИНС [1]. Решения о целесообразном динамическом управлении ресурсом такого вида с учетом загруженности ИНС разнородными типами трафика и приоритета значительным образом влияют на своевременную передачу ИП через ИКС. Отличительной особенностью построения ИКС СН является ограниченность каналного ресурса, что делает процесс управления особо значимым и создает необходимость разработки специальных алгоритмов оптимального распределения каналного ресурса информационных направлений ИКС по типам трафика с учетом приоритетов.

На основе принципа оптимальности Беллмана [2, 3] синтезируем вычислительный алгоритм централизованного распределения каналного ресурса по типам трафика, оптимального по временным затратам пребывания потоков пакетов в ИНС. Синтезируемый алгоритм позволяет осуществлять оптимальное распределение пропускных способностей из дискретного набора их значений, что отражает реальную ситуацию с использованием типов трафика на каждом ИНС. Помимо этого учитываются характеристики ИНС, такие как КПД с отказами и восстановление после информационно-технического дестабилизирующего воздействия (ИТДВ) на ИКС. Одной из основных отличительных особенностей синтезируемого алгоритма является использование выражений для оценки вероятности своевременного прохождения пакетов между вершинами ИКС СН с учетом ИТДВ противником на данное ИНС.

АЛГОРИТМ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КАНАЛЬНОГО РЕСУРСА ИНФОРМАЦИОННЫХ НАПРАВЛЕНИЙ ИКС ПО ТИПАМ ТРАФИКА С УЧЕТОМ ПРИОРИТЕТОВ

Процедура оптимального распределения каналных единиц пропускной способности, выделенных для каждого типа трафика с учетом их приоритетов, может быть реализована алгоритмом, представленным на рис. 1.

Алгоритм состоит из шести основных блоков, которые взаимодействуют следующим образом:

- в блоке 1 вводят исходные данные:
- количество типов трафика с разделением по приоритетам, которые обслуживает ИНС (M);
- общую пропускную способность ИНС (C);
- количество распределяемых каналных единиц пропускной способности по типам трафика (N_j);
- интенсивность потоков заявок, поступающих в СМО от типа трафика (λ_j);
- суммарную интенсивность потока поступающих в СМО заявок (Λ);
- характеристики ИНС (скорость распространения сигнала в среде (V), расстояние передачи пакетов (l));
- размеры пакетов для каждого типа трафика, которые обслуживает ИНС (L).

СПОСОБ ОПТИМАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КАНАЛЬНОГО РЕСУРСА ИНФОРМАЦИОННЫХ НАПРАВЛЕНИЙ СЕТИ СВЯЗИ ПО ТИПАМ ТРАФИКА С УЧЕТОМ ПРИОРИТЕТОВ

*П.В. Лебедев, канд. техн. наук, преподаватель,
Л.В. Воробьев, канд. техн. наук, проф., доцент, ВАС им. С.М. Буденного,
Е.А. Рылов, ген. директор АО «ПКБ «РИО»,
контакт. тел. +7 (911) 749 7641, +7 (981) 810 3800, +7 (981) 136 7169,
spirit-angel@yandex.ru, t321ac178@bk.ru, E.Rylov@pkb-rio.com*

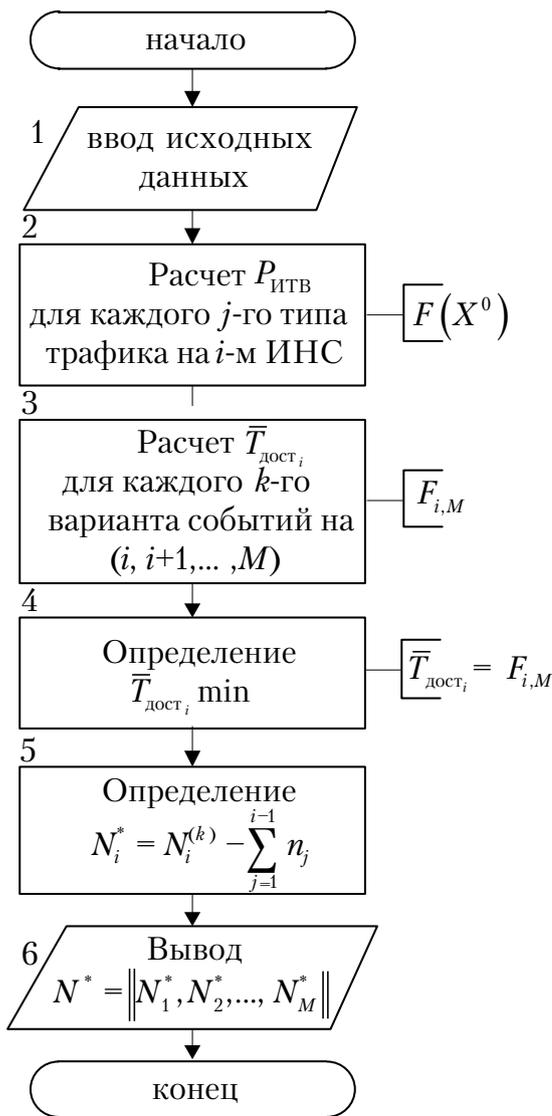


Рис. 1. Алгоритм распределения каналных единиц пропускной способности в ИНС ИКС СН по алгоритму Беллмана

В блоке 2 составляют матрицу вероятности информационно-технического воздействия на j -й тип трафика трафика ($j = \overline{1, M}$) в i -м ИНС по формуле

$$F(X^0) = \max_{X^0} \sum_{i=1}^S A_i(P_{итв}) \left\{ 1 - \prod_{j=1}^M \left[1 - \alpha_{ij}(P_{итв}) \left(1 - \prod_{v=1}^T E_{vij}^{X_{vj}} \right) \right] \right\}$$

с учетом приоритетов.

В блоке 3 на каждом i -м этапе рассматривают u возможных вариантов канальных единиц пропускной способности, выделяемых для i -го, $(i+1)$ -го, ..., M -го типа трафика:

$$N_i^{(1)} = C, N_i^{(2)} = C - 1, \dots, N_i^{(k)} = C - (k - 1), \dots, N_i^{(u)} = 0.$$

Далее для каждого k -го варианта ($k = \overline{1, u}$) выделяемых канальных единиц пропускной способности решают функциональные уравнения [4]

$$F_{i,M}(N_i^{(k)}) = \min_{n_i=0, N_i^{(k)}} \left\{ P_{\text{ИТВ}, \frac{\lambda_i}{\Lambda}} \bar{T}_{\text{дост}, i}(N_i) + F_{i+1,M}(N_i^{(k)} - n_i^{(k)}) \right\},$$

где $F_{i,M}(N_i^{(k)})$ – минимальное среднее время пребывания пакета в i -м типе трафика при условии, что канальные единицы пропускной способности для этого типа трафика $n_i^{(k)}$ не превосходят $N_i^{(k)}$, а для $(i+1)$ -го, ..., M -го типа трафика общее число выделенных канальных единиц равно $N_i^{(k)} - n_i^{(k)}$.

В блоке 4 на основе поэтапного решения уравнений блока 3 определяют минимальное значение целевой функции равно $\bar{T}_{\text{дост}}(N^*) = F_{1,M}(C)$, а также оптимальное значение канальных единиц пропускной способности, выделяемых первому радионаправлению (N_1^*).

В блоке 5 находят оптимальное число выделяемых канальных единиц пропускной способности для других типов трафика ($i = 2, M$) с помощью обратной поэтапной процедуры, причем на каждом i -м этапе для определенных на предшествующих этапах величин $n_j = \overline{(1, i)}$ вычисляют оставшиеся

канальные единицы пропускной способности $N_i^{(k)} = C - \sum_{j=1}^i n_j$ и обеспечивающие минимальное время доставки пакетов значение n_i^* при вычисленном $N_i^{(k)}$.

В блоке 6 выводят результаты функционирования алгоритма (оптимальный вектор распределения канальные единицы пропускной способности ИНС по типам трафика с учетом их

приоритетов $N^* = \|N_1^*, \dots, N_i^*, \dots, N_M^*\|$, минимизирующий среднее время доставки пакетов в обслуживаемых типах трафика).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в настоящей статье представлен способ оптимального распределения системой управления канального ресурса сети связи по типам трафика с учетом их приоритетов, позволяющий решать задачи анализа и определения наилучших распределений потоков данных при воздействии дестабилизирующих факторов на сеть связи и ее систему управления. Приведенный алгоритм распределения канальных единиц пропускной способности в ИНС ИКС СН, основанный на алгоритме Беллмана, позволяет не только динамически перераспределять трафик по сети, но и успешно противостоять информационно-техническому воздействию противника.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Одоевский С.М., Лебедев П.В., Ключников В.О.* Модель оптимального распределения канального ресурса информационных направлений в инфокоммуникационной сети. – Сб. тр. XXVII Международ. науч.-техн. конфер., посвященной 60-летию полетов в космос Ю.А. Гагарина и Г.С. Титова. – Воронеж, ИД ВГУ, 2021. – С. 389–393.
2. *Колесников А.А., Ланнэ А.А., Борийчук Г.И., Ефимов А.С. и др.* Прикладная математика: Курс лекций /Под ред. А.А. Колесникова. – СПб.: Изд. Военной академии связи им. С.М. Будённого, 1987. – 209 с.
3. *Зелигер Н.Б., Чузреев О.С., Яновский Г.Г.* Проектирование сетей и систем передачи дискретных сообщений. – М.: Радио и связь, 1984.
4. *Ясинский С.А., Лебедев П.В., Григорчук А.Н., Живодерников А.Ю.* Оптимизационные методы распределения каналов передачи данных телекоммуникационной системы распространения геоинформации по типам трафика //Информация и космос. – 2022. – № 4. – С. 32–36. ■

ВВЕДЕНИЕ

Системы коротковолновой связи (КВ) широко используются для организации связи на флоте [1, 2]. Так, на средних дальностях до 150 миль используется диапазон так называемых промежуточных волн от 1,605...4,0 МГц, а на больших расстояниях свыше 150–200 миль связь организуют в диапазоне частот 4–27,5 МГц [3, 4].

Несмотря на активное применение спутниковых систем связи, КВ системы не утратили своего функционального назначения и по-прежнему играют ключевую роль в информационном обмене между морскими судами [5].

Международной глобальной морской системой связи при бедствии (*GMDSS – Global Maritime Distress and Safety System*) в КВ диапазоне определены частоты: 2182, 4125, 6215, 8291, 12290, 16420 кГц, которые используются для связи в интересах обеспечения безопасности и при подаче сигналов бедствия [6].

По показателю затрат, приходящихся на передачу бита, отнесенного к километру дистанции связи, КВ радиосвязь является одним из наиболее эффективных видов связи [7]. По каналам КВ линий радиосвязи, как правило, передают голосовые и телеграфные сообщения на скоростях до 200 Бод [8]. Указанные ограничения связаны с особенностями ионосферных каналов, характеризующихся высоким уровнем шумов. Поэтому основными видами модуляции для систем КВ радиосвязи является частотная, амплитудная и однополосная модуляция, реже используется фазовая модуляция [9].

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ЛИНИЙ РАДИОСВЯЗИ С АМПЛИТУДНОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ

*А.А. Павлов, ген. директор,
АО «НТИ «Радиосвязь»,*

*С.В. Дворников, д-р техн. наук, проф., ВАС им. С.М. Будённого,
контакт. тел. (812) 247 9400*

С успешной разработкой стандарта ALE 3G развитие получили более сложные модуляционные форматы на основе ортогонального частотного мультиплексирования каналов, которые обеспечивают высокую стабильность связи в условиях интерференции, обусловленной особенностями многолучевых каналов. Но поскольку применение данного стандарта предусматривает высокостабильную синхронизацию, обеспечиваемую за счет глобальных навигационных систем, такой вариант в принципе неприемлем для систем КВ радиосвязи ВМФ и специального назначения [10].

Поскольку для КВ каналов характерен высокий уровень шумов и помех, негативно влияющих на качество связи, на практике, как правило, применяют узкополосные и низкочастотные передачи [11]. Поэтому вопросы обеспечения помехоустойчивости приема в системах морской КВ радиосвязи являются актуальными.

В связи с этим в настоящей статье приведены результаты разработки модели сигналов амплитудной модуляции (АМ) с управляемым уровнем несущего колебания, позволяющего

повысить энергетический потенциал линий морской КВ радиосвязи в условиях флуктуационных помех.

СИГНАЛЫ АМПЛИТУДНОЙ МОДУЛЯЦИИ

Синтез сигналов АМ осуществляется в соответствии со следующим выражением [12]:

$$u_{AM}(t) = U_0 \times [1 + m_{AM} \cos \Omega(t)] \cos \omega_0(t), \quad (1)$$

где U_0 – формирующее напряжение; m_{AM} – индекс амплитудной модуляции, представляющий собой отношение амплитуды модулирующего колебания к амплитуде несущего модулируемого колебания, который в общем случае может быть переменной величиной (на практике применяют индекс модуляции в пределах $m_{AM} [0; 1]$); $\Omega(t)$ – полная фаза модулирующего сигнала; $\omega_0(t)$ – полная фаза несущего колебания.

Спектр сигналов АМ представляет собой несущее колебание с двумя зеркально расположенными относительно него боковыми полосами, содержащими одинаковое информационное наполнение [13].

В качестве примера на рис. 1 представлена временная реализация сигнала АМ $u_{AM}(t)$, модулированного сигналом линейной частотной модуляции.

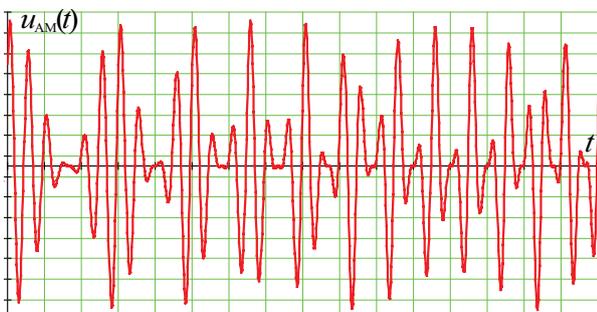


Рис. 1. Временное представление сигнала АМ

На рис. 2 показан спектр данного сигнала $|F_{AM}(f)|$.

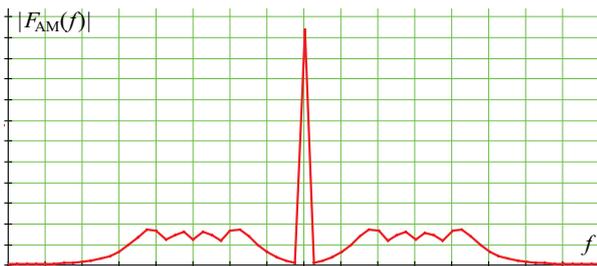


Рис. 2. Спектральное представление сигнала АМ

Учитывая, что спектр сигнала АМ двухсторонний, то, соответственно, его спектральные составляющие зеркальны относительно несущего колебания. При этом энергия, приходящаяся на несущее колебание, в два раза превышает энергию, приходящуюся на информационные составляющие, или в четыре раза – энергию каждой из боковых полос. То есть изначально 2/3 энергии излучения передачи затрачивается на несущее колебание, а учитывая, что информация в каждой из боковых полос одинакова, то на передачу информационного контента затрачивается всего лишь 1/6 часть мощности передатчика.

Так как спектральная плотность мощности сигнала АМ равномерно распределена в пределах каждой из боковых полос [14], то амплитудные значения информационных составляющих будут определяться занимаемой ими полосой частот. А с учетом того, что на каждую из полос приходится всего лишь 1/6 часть энергии излучения, можно получить уравнение зависимости уровня спектральных составляющих, приходящихся на несущее колебание, по отношению к спектральным составляющим информационного контента. С учетом нестабильности частот и защитного интервала будем полагать, что на полосу

несущего колебания, с учетом нестабильности генераторов и неидеальности АЧХ фильтров выделено $\Delta F_0 = 50$ Гц. Следовательно, уровень амплитуды несущего колебания составит

$$U_0 = \sqrt{\frac{2E}{3\Delta F_0}}, \quad (2)$$

где E – энергия, приходящаяся на передачу сигнала; ΔF_0 – полоса частот несущего колебания.

Тогда при условии, что информационный сигнал занимает полосу $\Delta F_s = 1$ кГц [15], уровень амплитуды спектральных составляющих информационного сигнала составит

$$U_s = \sqrt{\frac{1E}{6\Delta F_s\Pi}}, \quad (3)$$

где Π – пик-фактор сигнала, для голосовых сообщений $\Pi = 3,3$; ΔF_s – полоса частот, занимаемая информационным сигналом.

Используя формулы (2) и (3) можно найти соотношение амплитудных составляющих в спектре несущего колебания и информационного:

$$\frac{U_0}{U_s} = \sqrt{\frac{2 \times 6\Delta F_s\Pi}{3\Delta F_0}}. \quad (4)$$

Анализ выражения (4) показывает, что амплитудные значения несущего колебания существенно превышают амплитуду спектральных компонент информационного сигнала.

В частности, для рассмотренного примера указанные различия увеличиваются до 16 раз, или на 24 дБ. Поскольку помехозащищенность приема определяется энергетическими показателями информационной части сигнала [16], можно полагать, что эффективная передачи АМ возможна только в условиях низкого уровня канальных шумов и помех. Именно поэтому на флоте используют однополосную модуляцию [17]. Следовательно, необходим поиск новых подходов к повышению энергетического потенциала сигналов АМ.

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ФОРМИРОВАНИЮ СИГНАЛОВ АМПЛИТУДНОЙ МОДУЛЯЦИИ С УПРАВЛЯЕМЫМ УРОВНЕМ ПИЛОТ-СИГНАЛА

Вместе с тем анализ выражения (1) показал, что результирующее значение несущего колебания определяется первым слагаемым второго множителя. И если его определить как

$$m_0 \in [0; 1], \quad (5)$$

то выражение (1) можно переписать в виде

$$s_{AM}(t) = U_0 \times [m_0 + m_{AM} \cos \Omega(t)] \cos \omega_0(t). \quad (6)$$

Тогда, изменяя параметр m_0 , можно изменять уровень мощности, приходящий на несущее колебание, и тем самым перераспределять высвободившуюся энергию передачи между пилот-сигналом и информационными составляющими.

Параметр m_0 определим как коэффициент уровня несущей.

В качестве примера на рис. 3 представлены спектры сигнала АМ при $m_0 = 1$ и при $m_0 = 0,15$.

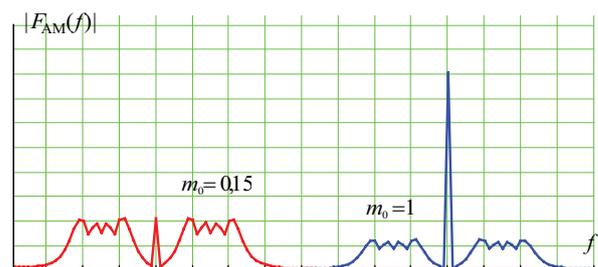


Рис. 3. Спектральное представление сигналов АМ с различными значениями коэффициента уровня несущей

Заметим, что переход от $m_0 = 1$ к значению $m_0 = 0,15$ позволил повысить мощность спектральных составляющих в 2,9 раза, что составило порядка 4,6 дБ.

Таким образом, возможность управления величиной несущего колебания спектра результирующего сигнала АМ позволит повысить помехоустойчивость радиолиний систем морской КВ радиосвязи.

Практическое применение полученного результата видится в следующем: при вхождении в связь коэффициент уровня несущей полагаем равным единице. Затем при установлении устойчивой связи на приемной стороне надо перейти на внутреннюю синхронизацию. Это позволит снизить уровень передаваемой несущей и тем самым, как минимум, на 4,6 дБ повысить помехозащищенность радиолинии.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты исследования показывают, что разработанная технология управления уровнем несущего колебания при синтезе сигналов АМ открывают новые возможности по передаче сообщений.

Во-первых, исключается необходимость применения процедур фильтрации при подавлении пилот-сигнала.

Во-вторых, позволяет за счет изменения уровня пилот-сигнала перераспределять мощность между несущей и боковыми полосами, тем самым обеспечивать устойчивую работу в каналах с переменными параметрами.

В-третьих, технология амплитудной модуляции позволяет передавать в каждой из боковых полос независимый информационный контент, что открывает возможность повышения производительности радиолинии.

Дальнейшее исследование связано с реализацией методов совместной частотно-временной обработки сигналов [18, 19] и применением методов разнесения [20].

ЛИТЕРАТУРА

1. *Талагаев В.И.* Методологический подход к анализу и обеспечению устойчивости систем морской радиосвязи // *Техника средств связи.* – 2018. – № 3 (143). – С. 86–92.
2. *Кулинич А.И., Маринич А.Н., Припотнок А.В., Устинов Ю.М.* Основные направления модернизации морской ВЧ радиосвязи // *Науч.-техн. сб. Российского морского регистра судоходства.* – 2012. – №35. – С. 136–141.
3. *Кулинич А.И.* Основные направления по увеличению скорости телеграфии морской высокочастотной радиосвязи рыбопромысловых судов // *Вестник Камчатского ГТУ.* – 2014. – № 27. – С. 5–8.
4. *Глушанков Е.И., Рылов Е.А., Хренов А.А.* Потенциальная эффективность систем морской радиосвязи с пространственной обработкой сигналов // *Электронные средства и системы управления* // *Мат-лы докл. Международ. науч.-практ. конфер.* 2021. – № 1–2. – С. 269–270.
5. *Толубко В.Б., Комашинский В.И., Саид М.А.С.* Сети коротковолновой радиосвязи для морского транспорта. – В сб.: *Транспорт России: проблемы и перспективы: Мат-лы Юбилейной Международ. науч.-практ. конфер.*, 2015, с. 108–115.
6. *Бакланов Е.Н.* Глобальная морская система связи при бедствии и для обеспечения безопасности: учеб. пособие. – Владивосток: Дальрыбвтуз, 2006. – 71 с.
7. *Дворников С.В., Овчинников Г.Р., Балыков А.А.* Программный симулятор ионосферного радиоканала декаметрового диапазона // *Информация и космос.* – 2019. – № 3. – С. 6–12.
8. *Дворников С.В., Марков Е.В., Маноши Э.А.* Повышение помехозащищенности передач декаметровых радиоканалов в условиях непреднамеренных помех // *Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт.* – 2021. – Т. 15. – № 6. – С. 4–9.
9. *Глушанков Е.И., Рылов Е.А., Цветков Д.А.* Анализ электромагнитной совместимости в системах морской радиосвязи с многоэлементными антеннами // *Морской вестник.* – 2021. – № 3 (79). – С. 114–115.
10. *Козирацкий Ю.Л., Прохоров Д.В., Панов С.А., Панарин А.Ю.* Обоснование способов радиоподавления линий радиосвязи в радиосетях управления высадкой морского десанта // *Воздушно-космические силы: Теория и практика.* – 2021. – № 19. – С. 268–284.
11. *Дворников С.В., Манаенко С.С., Дворников С.С., Позорелов А.А.* Синтез фазоманипулированных вейвлет-сигналов // *Информационные технологии.* – 2015. – Т. 21. – № 2. – С. 140–143.
12. *Куликов Г.В., Шамшур А.О., Печенин Е.А., Шталов Е.В.* Анализ помехоустойчивости приема сигналов с квадратурной амплитудной модуляцией на фоне импульсной помехи // *Вестник Воронежского института.* – 2022. – №1. – С. 15–20.
13. *Дворников С.В., Пшеничников А.В., Бурыкин Д.А.* Структурно-функциональная модель сигнального созвездия с повышенной помехоустойчивостью // *Информация и космос.* – 2015. – № 2. – С. 4–7.
14. *Дворников, С.В.* Теоретические основы синтеза билинейных распределений. – СПб.: Изд-во Политех. ун-та, 2007. – 268 с. EDN: QMRKRH
15. *Дворников С.В., Пшеничников А.В.* Формирование спектрально-эффективных сигнальных конструкций в радиоканалах передачи данных контрольно-измерительных комплексов // *Изв. высших учебных заведений: Приборостроение.* – 2017. – Т. 60. – № 3. – С. 221–228.
16. *Агиевич С.Н., Дворников С.В., Гусельников А.С.* Описание сигналов в базисах функций сплайн-Виленкина–Кристенсона // *Контроль. Диагностика.* – 2009. – № 3. – С. 52–57.
17. Анализ помехоустойчивости передач с однополосной модуляцией в каналах с флуктуационными помехами / А.С. Дворников, М. А. Гудков, Б. А. Аюков [и др.] // *Вопросы радиоэлектроники.* – Серия: *Техника телевидения.* – 2022. – № 4. – С. 58–64. – EDN PQZSZB.
18. *Дворников С. В., Бородин Е. Ю., Маджар Х., Махлуф Ю. Х.* Частотно-временное оценивание параметров сигналов на основе функций огибающих плотности распределения их энергии // *Информация и космос.* – 2007. – № 4. – С. 41–45. – EDN KXAKNX.
19. *Дворников, С.В.* Демодуляция сигналов на основе обработки их модифицированных частотно-временных распределений / С. В. Дворников // *Цифровая обработка сигналов.* – 2009. – № 2. – С. 7–11. – EDN KVENTD.
20. *Дворников, С.В., Балыков А.А.* Предложения по управлению скоростью передачи и помехоустойчивостью сигналов с перестановочной частотной модуляцией // *Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт.* – 2020. – Т. 14. – № 6. – С. 20–26. – DOI 10.36724/2072-8735-2020-14-6-20-26. – EDN LLPGYL. ■

Классическим способом гидроакустической связи является использование гидролокаторов, состоящих из акустической антенны и бортовой аппаратуры. Акустическая антенна, в свою очередь, состоит из множества преобразователей, в результате работы которых формируется аналоговое напряжение, называемое полезным сигналом. Однако такой сигнал подвержен воздействию электромагнитных наводок, а значит, способен искажаться, что может влиять на чувствительность и, соответственно, качественную работу гидроакустической станции.

В статье проанализирована возможность внедрения волоконно-оптических технологий в гидроакустические коммуникации.

Актуальность темы обусловлена важностью улучшения функциональных возможностей гидроакустических коммуникаций при океанологических и океанографических исследованиях, а также преимуществами современных средств фотоники и оптики.

ГИДРОАКУСТИКА КАК ВАЖНЕЙШАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ ДРУГИХ ОТРАСЛЕЙ НАУКИ И ТЕХНИКИ

Гидролокация является одним из самых масштабных аспектов для изучения водных глубин. Она предоставляет возможность исследовать Мировой океан и поддерживать связь между подводными и надводными судами там, где затруднено распространение радиоволн. Гидролокация помогает в навигации, телеуправлении и телеметрии.

Однако, акустические сигналы в толще водной среды между надводными судами и подводными аппаратами могут быть подвержены искажениям при обмене данными между корреспондентами ввиду разнообразия физических явлений и их параметров в водных массах. Таким образом, при разработке аппаратуры гидроакустической связи, предусматриваются меры для борьбы с разнообразными помехами, создаваемыми в водной среде.

Каждое движущееся судно может служить излучателем самых разных по характеру и значению акустических колебаний, совокупное действие которых создает значительный подводный шум в диапазоне от инфра- до ультразвуковых частот на окружающую водную среду – явление первичного акустического поля судна. Качество работы гидроакустических средств судна, возможность обмена информацией между корреспондентами в гидросфере напрямую зависит от уровня шумности судна. Тем не менее, совокупность инженерных разработок, соответствующие направленные действия экипажа позволяют серьезно снизить уровень гидроакустического поля судна.

Существуют два важных элемента для надежной работы гидролокатора:

- подводный излучатель мощного акустического сигнала;
- чувствительный приемник, точно реагирующий на самые слабые отражения этого сигнала от погруженных в воду объектов [1].

В зависимости от используемого принципа работы выделяют гидролокаторы двух типов – пассивные и активные. В данном случае рассматривается активная гидролокация, общая структурная схема которого показана на рис. 1.



Рис. 1. Общая структурная схема активного гидролокатора

ВНЕДРЕНИЕ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ В ГИДРОАКУСТИЧЕСКУЮ СИСТЕМУ С ЦЕЛЮ ПОВЫШЕНИЯ ЕЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ И УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА СВЯЗИ МЕЖДУ СУДАМИ

А.С. Гринвальд, инженер-технолог 3-й категории, АО «51 ЦКТИС», контакт. тел. (812) 423 1600, 571 4053

Основной составляющей гидролокатора являются преобразователи. Существует огромное множество разных классов гидроакустических преобразователей, но основными из них являются магнитострикционные и пьезокерамические. Несмотря на перегрузки, магнитострикционные преобразователи имеют возможность превышать максимальную интенсивность в тяжелых условия эксплуатации – во влажной и агрессивной среде. Однако для них требуется водяное или воздушное охлаждение, что приводит к нагружению системы вспомогательным оборудованием и является для нее дополнительным излишним грузом. Еще одной характерной особенностью и одним преимуществом пьезокерамических преобразователей перед магнитострикционными является коэффициент полезного действия (КПД). КПД такого преобразователя почти на 30% меньше, чем пьезоэлектрического [2]. Таким образом, для приема и передачи информации акустической антенной в гидросфере наиболее подходящим преобразователем будет пьезокерамический.

Необходимо отметить, что в гидроакустическом канале передачи данных аналоговый сигнал, формируемый акустической антенной при приеме входного сигнала, подвержен электромагнитным наводкам, которые, в свою очередь, значительно влияют на результаты измерений, а чувствительность гидроакустической станции впоследствии уменьшается. Оптимальный метод, который способен разрешить данное явление, представляет собой перевод аналогового сигнала в световой.

ВНЕДРЕНИЕ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ В ГИДРОАКУСТИЧЕСКИЕ КОММУНИКАЦИИ

Для исследования способа перевода аналогового сигнала в световой проанализируем понятие волоконно-оптических брэгговских решеток (ВБР).

Под действием активного лазерного излучения в ультрафиолетовой области спектра современные оптоволоконные кабели способны изменять свои оптические свойства. Данный эффект используется для наведения дискретных (периодических) изменений показателя преломления сердцевины вдоль длины волокна, что, в свою очередь, приводит к формированию решетки Брэгга внутри сердцевин. ВБР представляет собой участок одномодового волоконного световода, в сердцевине которого сформирована периодическая структура, являющаяся модулирующей показателя преломления вдоль ее оси.

Схема волоконно-оптической брэгговской решетки приведена на рис. 2 [3].

При прохождении излучения через оптоволокно с введенной в него ВБР происходит его частичное или полное отражение от решетки в определенном спектральном диапазоне. Излучение, которое не попадает в данный диапазон, будет продолжать распространяться в заданном первоначальном направлении. Изменение внешних воздействий на материал, таких как температура, механическое напряжение, давление, влечет за собой изменение его геометрических параметров. Это справедливо и для оптоволокна, в котором также испытывают изменение па-



Рис. 2. Схема волоконно-оптической брэгговской решетки

раметры записанных в него ВБР. Данные изменения приводят к сдвигу длины волны брэгговского резонанса и, как следствие, к изменению спектров отражения и пропускания решеток. Следовательно, по анализу данных изменений можно судить о характере внешних воздействий на оптоволокно [4].

Принцип работы гидроакустической волоконно-оптической антенны заключается в следующем: поиск осуществляется с помощью активного гидролокатора. Источник судна выделяет широкополосное акустическое излучение. Пространство дна будет отражать излучение с разной спектральной составляющей, что обусловлено разной плотностью естественного грунта и различных месторождений. Волоконно-оптическая антенна, буксируемая судном, регистрирует эти сигналы. Оборудование, находящееся на борту, впоследствии обрабатывает данные, пришедшие с антенны и, исходя из временной задержки полезного сигнала, выдает направление на искомый объект [6].

ИССЛЕДОВАНИЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОГО ГИДРОФОНА

Волоконно-оптические гидрофоны (ВОГ) – это датчики, фиксирующие звуковое давление в водной среде. Выделяют конденсаторные, пьезоэлектрические и оптоволоконные ВОГ [5]. Последние не подвержены электрическим помехам и отличаются способностью регистрировать звуковые колебания в гидросфере с большой чувствительностью, что является в нашем случае большим преимуществом.

ВОГ работают по принципу лазерной интерференции, который подразумевает использование интерферометров – гомодинный, гетеродинный интерферометр с общим оптическим путем или двухлучевой интерферометр.

В случае двухлучевой интерферометрии опорный и измерительный лучи проходят вдоль разных оптических путей. После взаимодействия с исследуемым образцом лучи объединяются для создания интерференционной картины, которую в дальнейшем можно интерпретировать. Примером данного типа интерферометра может являться интерферометр Маха–Цендера.

Принцип работы интерферометра Маха–Цендера приведен на рис. 3 [7].

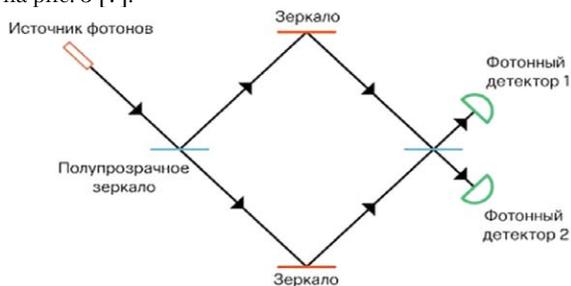


Рис. 3. Принцип работы интерферометра Маха–Цендера

В ВОГ используют интерферометр Маха–Цендера и когерентный источник излучения, распространяющий свет по двум плечам интерферометра. Оптоволокно, намотанное на катушку и являющееся чувствительным элементом, подвергается акустическому воздействию, которое модулирует фазу проходящего по нему света. Фотоприемник, в свою очередь, регистрирует изменение итоговой интерференционной картины, вызванной изменением фазы света. В качестве опорного и чувствительного плеча интерферометра используются одномодовые оптоволоконные кабели без сохранения поляризации.

Воздействия акустических колебаний впоследствии изменяют диаметр сердцевины, длину и показатели преломления сердцевины волокна и оболочки. Таким образом осуществляется фазовая модуляция распространяющегося по волокну светового излучения. Преобладающее явление в данном случае – это изменение длины волокна [6].

Схема волоконно-оптического интерферометра приведена на рис. 4 [3].

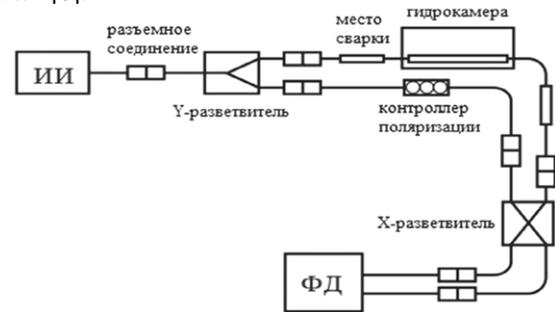


Рис. 4. Схема волоконно-оптического интерферометра

Контроллер поляризации, установленный в интерферометре, дает возможность регулировать контрастность интерференционной картины за счет подстройки поляризации в опорном плече.

Для того чтобы определить гидроакустическую чувствительность волоконно-оптического интерферометра (ВОИ), используется особая герметичная камера, в которую помещен участок световода, называемый чувствительным плечом. Благодаря низкочастотному акустическому излучателю в камере создается звуковое давление.

Так как во всем акустическом динамическом диапазоне оптоволокно, будучи расположенным в поле переменных давлений или статическом поле, ведет себя одинаково, рассмотрим механизм для случая гидростатического давления. Предположим, что на чувствительное плечо воздействует некое постоянное внешнее давление P . В рассматриваемом нами ВОИ распространяющаяся по оптоволокну фаза световой волны является параметром, изменяющимся под внешним воздействием.

Фазовый сдвиг $\Delta\Phi$ при единичном изменении давления ΔP определяется выражением [8]

$$\frac{\Delta\Phi}{\Delta P} = \frac{L\beta(1-2\mu)\left(\frac{n^2(2p_{12}+p_{11})}{2-1}\right)}{E}, \quad (1)$$

где L – длина покрытого участка волокна; β – постоянная распространения; μ – коэффициент Пуассона материала покрытия; n – коэффициент преломления сердцевины волокна; p_{11}, p_{12} – упругооптические коэффициенты кварца; E – модуль Юнга материала покрытия.

Таким образом, результат увеличения фазового сдвига зависит от разницы модулей Юнга у материалов покрытия и световода, а также от диаметра защитного покрытия. Иначе говоря, сдвиг фазы напрямую зависит от размера и свойств выбранного материала покрытия оптоволоконного. Соответственно, чем больше данные показатели, тем эффективнее увеличение фазового сдвига. При отношении диаметров покрытия и световода 20:1 наблюдается тенденция к насыщению процесса увеличения гидроакустической чувствительности.

Зависимость гидроакустической чувствительности оптоволоконного (G) от диаметра покрытия для двух разных материалов (a/d) приведена на рис. 5.

От правильности выбора материала, используемого для покрытия чувствительного световода, зависит степень восприимчивости интерферометра к гидроакустическому давлению. На основе практического исследования заключено, что увеличение чувствительности ВОИ от 10 до 100 раз материал покрытия должен иметь модуль упругости от 10 до 100 раз меньший, чем у волокна. Соответственно, модуль Юнга материала покрытия равен 0,5–9 гПа (гектоПаскаль).

Для исследования влияния материала покрытия оптоволоконного на увеличение его чувствительности к акустическому

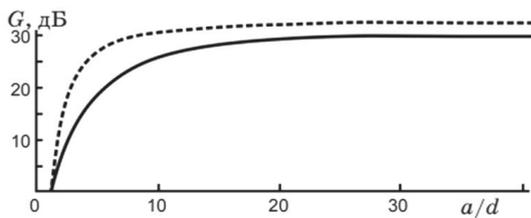


Рис. 5. Зависимость гидроакустической чувствительности оптоволоконна G от диаметра покрытия для двух разных материалов a/d

воздействию в водной среде использованы два разных полимера, модули Юнга которых заранее не были известны. Выбор полимеров основывался на показателе твердости, измеренном методом Шора. Этот метод заключается в погружении в образец индентора из закаленной стали для измерения сопротивления материала. Полимерные материалы, изделия из резины проверяются на твердость методом Шора от 0 до 100 единиц [8].

Для оценки влияния полимерных материалов на увеличение восприимчивости ВОИ к гидроакустическому воздействию было изучено абсолютное значение чувствительности некоторого оптоволоконна со стандартным покрытием к гидроакустическому давлению. Диапазон акустических частот в данном случае – 20500 Гц. Далее то же оптоволоконно использовалось в качестве чувствительного плеча. Одно волокно было покрыто полимером №1 с твердостью по Шору 25, другое – полимером №2 с твердостью 55.

Так были получены абсолютные значения гидроакустической чувствительности волокон в покрытии, и по результатам экспериментов для этих двух материалов построены графики зависимости относительного увеличения чувствительности G (в дБ) от частоты акустических колебаний F (в Гц).

Графики зависимости гидроакустической чувствительности оптоволоконна от акустической частоты для двух материалов покрытия приведены на рис. 6.

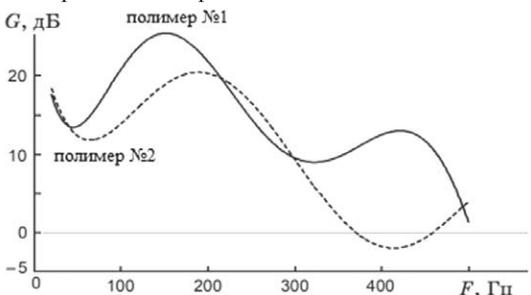


Рис. 6. Графики зависимости относительного увеличения чувствительности G (в дБ) от частоты акустических колебаний F (в Гц) для двух материалов покрытия

Исходя из графиков, отметим, что максимальное увеличение чувствительности составляет примерно 27 дБ для световода, покрытого полимером №1, и порядка 21 дБ для световода в покрытии №2. Также видно, что наиболее высокие показатели чувствительности двух материалов приходятся на низкочастотную область от 20 до 200 Гц. Такой результат является весьма положительным для дальнейшего проектирования ВОГ, так как в этом диапазоне лежит максимум излучения пленгуемых объектов.

Для изучения влияния на чувствительность ВОГ композитной структуры покрытия, состоящей из двух материалов, оптоволоконно в полимере №1 было расположено в термоусадочной трубке из поливинилхлорида (ПВХ), толщина стенки которой – 200 мкм.

График зависимости гидроакустической чувствительности световода от акустической частоты для композитной структуры покрытия приведен на рис. 7.

В данном случае максимальное увеличение чувствительности составляет около 22 дБ, при этом ее самые высокие показатели, как и в предыдущем случае, приходятся на низкочастотную область (20–200 Гц).

Использование защитного покрытия ПВХ толщиной 200 мкм допустимо, так как оно практически не влияет на гидроакусти-

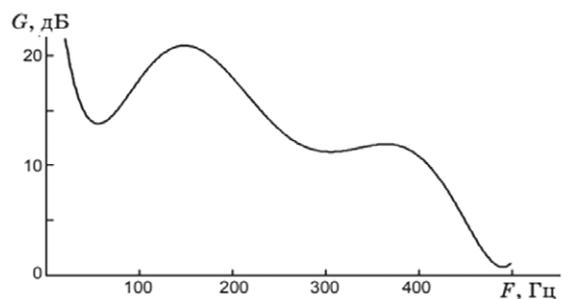


Рис. 7. График зависимости гидроакустической чувствительности световода G (в дБ) от акустической частоты F (в Гц) для композитной структуры покрытия

ческую чувствительность оптоволоконна. Это важный критерий, поскольку практическое применение ВОГ без использования защиты для его чувствительного элемента невозможно.

Таким образом, проведенные исследования показали, что в отличие от оптоволоконна в обычном акрилатном покрытии для оптоволоконна в покрытии из полимера можно увеличить чувствительность до 27 дБ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Был исследован способ улучшения гидроакустических коммуникаций на основе внедрения в них волоконно-оптических технологий. Для этой цели в гидроакустическом поле было проанализировано влияние материалов покрытия волокна на чувствительность гидрофона. Исследования показали, что в отличие от оптоволоконна в обычном акрилатном покрытии можно увеличить чувствительность оптоволоконна в покрытии из полимера до 27 дБ.

Таким образом, гидроакустическая система связи на базе волоконно-оптических датчиков отличается помехоустойчивостью, высокой чувствительностью и, соответственно, точностью передаваемых данных.

Следовательно, при переходе от акустического поля передачи данных к световому выявляются очевидные улучшения подводных телекоммуникаций. Корреспонденты, поддерживающие связь друг с другом, могут получать наиболее точную, четкую информацию о происходящем в конкретном участке водной среды, скорость передачи данных заметно возрастает, что влияет на быстроту принимаемого решения корреспондентом в той или иной ситуации или задаче.

Способ передачи информации, рассмотренный в данной статье, отличается актуальностью и новизной. Соответственно, гидроакустическая система связи на основе волоконно-оптических технологий может быть предложена в качестве альтернативной системы телекоммуникации в гидросфере.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гидролокатор – [Электронный ресурс]. Словарь морских терминов: [сайт]. – Режим доступа: <https://wiki.wargaming.net/ru/Navy:Гидролокатор>
2. Свердлин Г. М. Гидроакустические преобразователи и антенны: Учеб. пособие. – Л.: Судостроение, 1980. – 236 с.
3. Технология изготовления волоконных брэгговских решеток / Оргкомитет симпозиума, 20 ФГБОУ ВПО Пензенский гос. университет. – Тр.Международ.симпозиума «Надежность и качество», 2005.
4. Варжель С. В. Волоконные брэгговские решетки: Учеб. пособие. – СПб: Университет ИТМО, 2015. – 65 с.
5. Волоконно-оптические датчики: Вводный курс для инженеров и научных работников: Учеб. пособие / Под ред. Э. Улда, пер. с англ. И. Ю. Шкадиной. – М.: Техносфера, 2008. – 520 с.
6. Гидроакустическая волоконно-оптическая антенна – [Электронный ресурс] // Университет ИТМО. НИЦ Световой фотоники: [сайт]. – Режим доступа: http://sf.ifmo.ru/ru/projects/long_foh
7. Интерферометр Маха–Цендера: как увидеть воздух – [Электронный ресурс] // Постнаука: [сайт]. – Режим доступа: <https://postnauka.ru/wtf/156223>
8. Артеев В. А., Куликов А. В., Мешковский И. К., Стригалева В. Е. Метод повышения чувствительности волоконно-оптического гидрофона // Оптический журнал. – 2011. – С. 84–87. ■

ВВЕДЕНИЕ

В рамках концепции [1–3] построения (модернизации) передающих радиостанций стационарных узлов связи одними из основных задач являются проектирование и компоновка антенного поля с выбором наиболее оптимальных АФУ по энергетическим и неэнергетическим характеристикам с целью обеспечения максимально эффективного функционирования в составе обслуживаемых радиосетей и радионаправлений.

В настоящее время застройка и планировка антенных полей функционирующих радиостанций определяется в том числе возможностями местности, отводимой для этих целей, и зависит от типов и электрических параметров применяемых антенн. Необходимость иметь антенны, перекрывающие все многочисленные рабочие азимуты радиостанции, приводит, как правило, к малоупорядоченному расположению антенн и громоздким фидерным коммуникациям.

На передающих радиостанциях для связи в общем случае на малые (до 500 км) и средние (1000–2000 км) дальности применяются слабонаправленные диапазонные антенны типа ВГ, ВГД (вибратор горизонтальный диапазонный), ВГДШ (вибратор горизонтальный диапазонный шунтовой), УГД и УГДШ (уголковая горизонтальная диапазонная и шунтовая антенны).

Такие антенны, будучи симметричными горизонтальными излучателями с объемными вибраторами, имеют в горизонтальной плоскости круговую (УГД, УГДШ) диаграмму направленности в не более чем двух-, трехкратном диапазоне частот и многолепестковую вне частотного диапазона. Для магистральных радиолиний протяженностями более 2000 км, как правило, применяются горизонтальные ромбические антенны различных типоразмеров [3–5].

АНТЕННЫЕ ПОЛЯ ПЕРЕДАЮЩИХ РАДИОЦЕНТРОВ ДКМВ ДИАПАЗОНА НА ОСНОВЕ СВЕРХШИРОКОПОЛОСНЫХ АНТЕННЫХ СИСТЕМ

В.Д. Пашкевич, начальник отдела,
АО «НТИ «Радиосвязь»,
контакт. тел. +7 (962) 680 8607, pashkevich_vd@ntiradio.ru

Анализ технических решений, реализованных разработчиками антенных полей в 60–70-х гг. прошлого столетия, позволяет сделать вывод, что для каждого радионаправления с учетом протяженности радиотрасс и азимутов проектировались АФУ с индивидуальными типоразмерами, в результате чего на объектах появились конструкции [3–5]:

- антенны РГД (типоразмеры 65/4*1, 65/2,8*0,6, 70/6*1,25 и др. с различными длинами сторон ромба);
- антенны ВГДШ (типоразмеры 12/14*2, 25/16*2, 14/16*1,5, 8/12*1,2, 24/25*3 и др.).

Передающие антенны приведенных типов в составе радиостанций, как правило, не перекрывают частотный диапазон радиолинии, что приводит к необходимости строительства на заданном азимутальном направлении двух и более антенн типа ВГДШ, РГД для обеспечения маневрированием частотой радиоволн в зависимости от условий проведения сеансов радиосвязи.

Следствием такого подхода, а также поэтапным, по мере необходимости, возведением новых антенн явилось то, что антенное поле типового передающего радиостанции в противоречие требованиям, изложенным в [7], представляет собой неупорядоченно взаимно расположенные многотипные антенны. При-

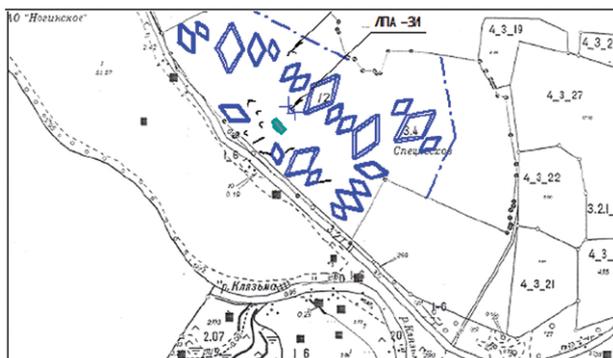
меры таких антенных полей приведены на рис. 1, а и 1, б.

Таким образом, к насущным проблемам антенных полей настоящего времени следует отнести:

- многообразие типов и неупорядоченность расположения АФУ с разветвленным такелажом воздушных фидерных линий, пересекающихся между собой, отсутствие унификации типов АФУ. Снижение компетенций обслуживающего персонала создает предпосылки к работе РПДУ на АФУ на несущих частотах вне частотного диапазона АФУ [17], что приводит к преждевременному выходу из строя РПДУ при работе на рассогласованную нагрузку;
- применение нескольких типоразмеров АФУ с целью обеспечения работы во всем КВ диапазоне для обслуживания одной радиолинии, что увеличивает площадь антенного поля;
- отсутствие в большинстве случаев на объектах резервных (аварийных) АФУ, резервирующих основные радионаправления.

Кроме того, остаются актуальными вопросы сокращения площадей антенного поля и устранение мачт с разветвленным такелажом из конструкции декаметровых антенн магистральных радиосвязей.

а)



б)



Рис. 1. Примеры антенных полей типовых радиостанций КВ диапазона: а – до 3 антенн РГД для одной радиолинии, б – хаотичное расположение различных АФУ

В случае разработки широкополосной декаметровая антенной системы (АФС) появляется возможность использовать ее в качестве типового элемента радиодцентра и осуществлять фазирование излучения нескольких АФС с целью повышения коэффициента усиления передающих антенн и реализации принципа многократного использования АФС. Данное обстоятельство позволит проектировать антенные поля в заметной степени более однородными и компактными.

С учетом указанной проблематики рациональным путем модернизации антенного поля стационарного передающего радиодцентра, а также целью настоящей работы являются:

- 1) обоснование и выбор унифицированного антенного излучателя, перекрывающего весь диапазон ДКМВ, так называемой однолитерной антенны;
- 2) оценка электрических характеристик унифицированного антенного излучателя путем численного моделирования и экспериментальных работ;
- 3) сравнительный анализ энергетических и неэнергетических характеристик наиболее распространенных антенн ВГДШ, РГД с предложенным решением;
- 4) анализ результатов трассовых испытаний по оценке приращения эффективной изотропной излучаемой мощности (ЭИИМ), формируемой одиночным излучателем, АФАР на его основе, сравнение с ЭИИМ, формируемой антеннами УГД, ВГДШ, РГД на трассе средней протяженности (2100 км);
- 5) выработка предложения по схемотехническому построению сегмента унифицированного высокочастотного тракта на базе предложенного излучателя и АФАР.

Дополнительно в [9] была рассмотрена и обоснована целесообразность применения штыревых антенн и АФАР на их основе в качестве и основных, и резервных (аварийных) антенн, приведены результаты трассовых испытаний на трассе малой (650 км) протяженности. В рамках настоящей статьи в качестве дополнения к результатам [9] приводятся результаты трассовых испытаний таких антенн на трассе средней протяженности (2100 км).

ВЫБОР УНИФИЦИРОВАННОГО АНТЕННОГО ИЗЛУЧАТЕЛЯ

Анализ требований к организации КВ радиосвязи типового передающего радиодцентра показал, что наиболее востребованными являются радиотрассы протяженностью от 100 до 4–5 тыс. км. Исходя из этого требования, можно рассчитать технические диапазоны радиодлиний.

На рис. 2 представлены данные, полученные по долгосрочным прогнозам с помощью программных пакетов «Трасса» [10], ITS HF Propagation [11], МСЭ

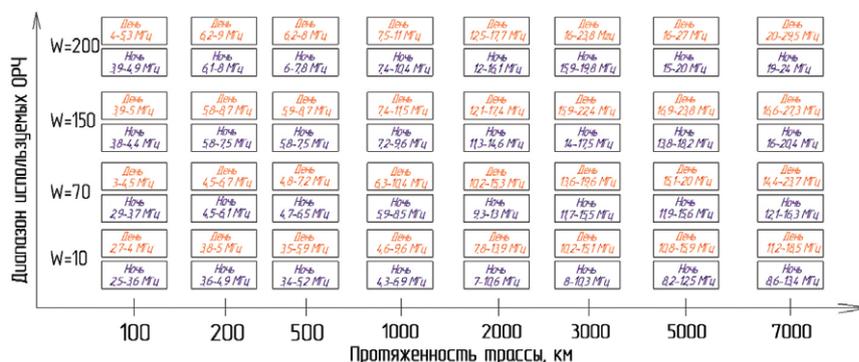


Рис. 2. Расчетные значения ОРЧ для ионосферных радиодлиний различной протяженности с учетом изменения солнечной активности для среднеширотных радиодлиний на территории РФ

[20] по используемым ОРЧ на среднеширотных трассах протяженностями до 7000 км. Из рисунка видно, что для обслуживания радиодлиний до 5000 км должен быть использован диапазон ОРЧ от 2,6 до 27 МГц. С учетом колебаний значений ОРЧ от НПЧ до МПЧ, связанных с изменением ионосферы по искусственным или естественным причинам, внезапными ионосферными возмущениями, технический диапазон радиодлиний протяженностями до 5000 км будет диапазоном от 2 до 28–30 МГц, т.е. весь диапазон ДКМВ.

Учитывая сформированное требование к рабочему диапазону частот (от 2 до 30 МГц) выбор типов антенн, обладающих удовлетворительными электрическими характеристиками при 10–15-кратном отношении крайних частот диапазона, весьма ограничен.

Рабочий диапазон антенны, согласно [15], – это диапазон частот (длин волн), в котором параметры антенны находятся в заданных пределах. В рамках данной работы прием за частотный диапазон антенной системы совокупность параметров: коэффициент стоячей волны по напряжению (КСВН) и ширина главного лепестка ДН в горизонтальной ($2\Delta\phi^\circ$) и вертикальной ($2\Delta\theta^\circ$) плоскостях, которые должны быть:

- для антенн, работающих в режиме бегущей волны (РГД, РГ), и логопериодических антенн (ЛПА) – КСВН $\leq 3,3$, $2\Delta\phi^\circ \geq 8^\circ$, $2\Delta\theta^\circ \geq 8^\circ$ [5,22];
- для полуволновых симметричных горизонтальных вибраторов (ВГДШ, УГД) – КСВН ≤ 5 [7], $2\Delta\phi^\circ \geq 8^\circ$, $2\Delta\theta^\circ \geq 8^\circ$.

Логопериодические антенны (ЛПА) являются практически единственными широкополосными частотно-независимыми антеннами, пригодными для работы без перестройки в указанном диапазоне частот с высокой степенью согласованности с радиопередающими устройствами (значения коэффициентов бегущей волны по напряжению – до 0,8–0,9). Классические плоские наклонные ЛПА подробно описаны в ряде работ [4,5,12–14].

ОБОСНОВАНИЕ И ВЫБОР МЕТОДА ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ АФУ

Антенны коротковолнового диапазона конструируются, как правило, из цилиндрических хорошо проводящих металлических прямых отрезков, определенным образом ориентированных в пространстве. Диаметры отрезков проводников при этом весьма малы по сравнению с длиной волны. На этапе электродинамического анализа ставится задача расчета электрических характеристик спроектированной антенны – диаграммы направленности (ДН), входного сопротивления в рабочей полосе частот, коэффициента усиления (КУ) и т.д. Интересующие характеристики можно получить, зная распределение тока на проводниках, образующих антенну. Операция определения распределения тока в конечном итоге выполняется численными методами путем вычисления интегралов и решения системы линейных алгебраических уравнений на ЭВМ. Исходными выражениями к интегральным уравнениям распределений токов по вибраторам являются уравнения Максвелла.

При решении задач конструирования антенн различной конфигурации необходимо составить интегральные уравнения для каждой из них, а затем получить их решения. Решения могут быть получены сведением интегральных уравнений к системам линейных алгебраических уравнений с последующим вычислением на ЭВМ.

При исследовании проволочных антенн можно исходить из уравнения Полингтона и из уравнения Халлена, строгое решение которых в аналитическом виде в настоящее время не получено, а решение ищется приближенными методами, одним из потенциально наиболее точных является метод моментов [23].

Различные реализации метода моментов как численное решение интегрального уравнения получили развитие за последние десятилетия благодаря совершенствованию средства вычисления – ЭВМ. Соответственно, появились и программные реализации с вычислительными ядрами

на основе той или иной разновидности метода моментов; в основном определяющим фактором в степени соответствия вычисленного токового распределения на заданной антенной структуре истинному, априори неизвестному, является выбор базисных и весовых функций.

На сегодняшний день для расчета основных характеристик проектируемой антенны можно воспользоваться специализированными профессиональными пакетами, значительно повышающими точность расчетов. В наибольшей степени на расчет КВ антенн ориентированы программы NEC (Numerical Electromagnetic Code). Вместе с тем очевидно, что проверка расчетов должна выполняться с целью проверки как самого программного продукта, так и выбранных граничных условий и конструктивного исполнения. Последнее может быть выполнено на масштабных моделях антенных систем.

РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ АНТЕННЫ ЛПА, АФАР НА ЕЕ ОСНОВЕ, ИССЛЕДОВАНИЕ ИХ ХАРАКТЕРИСТИК

В работе исследовалась классическая плоская логопериодическая структура с параметрами $\tau = 0,9$; $\sigma = 0,093$; $N = 26$ (количество вибраторов); $\alpha = 30^\circ$ (угол при вершине ЛПА); $L_1 = 52$ м (длина наибольшего вибратора); $\beta = 15^\circ$ (угол наклона полотна ЛПА), электродинамическая модель которой приведена на рис. 3. Данная антенна является серийно изготавливаемой и используется на объектах.

Учитывая необходимость:

- организации двух независимых радиоканалов (основной режим) практически с каждым (в зависимости от объекта) корреспондентом – объектом взаимодействия;
- реализации одного радиоканала в режиме пространственного сложения мощностей (ПСМ) двух радиопередаточных устройств в режиме синфазной работы с повышенным значением ЭИИМ радиоканала для борьбы с преднамеренными и непреднамеренными помехами была разработана модель двухэлементной АФАР на базе антенн ЛПА – ФАР 2 ЛПА (рис. 4).

Расчетные энергетические характеристики ЛПА и ФАР 2 ЛПА приведены ниже в таблице.

На рис. 5 приведем расчетные в 4NEC2X и экспериментально полученные значения КСВН в диапазоне частот 2–30 МГц для антенны ЛПА и элементов ФАР 2 ЛПА.

Из представленных выше результатов следует, что антенны ЛПА и ФАР 2 ЛПА являются эффективными антенными системами, которые могут успешно применяться в передающих радиосистемах. Однако представленные варианты

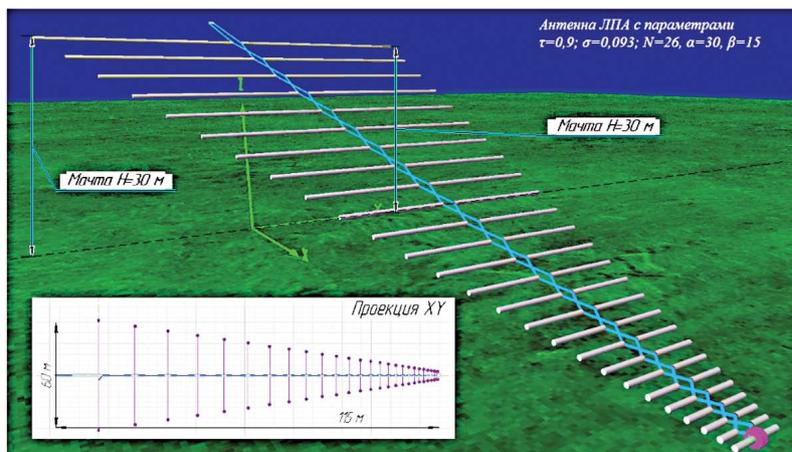


Рис. 3. Антенна ЛПА

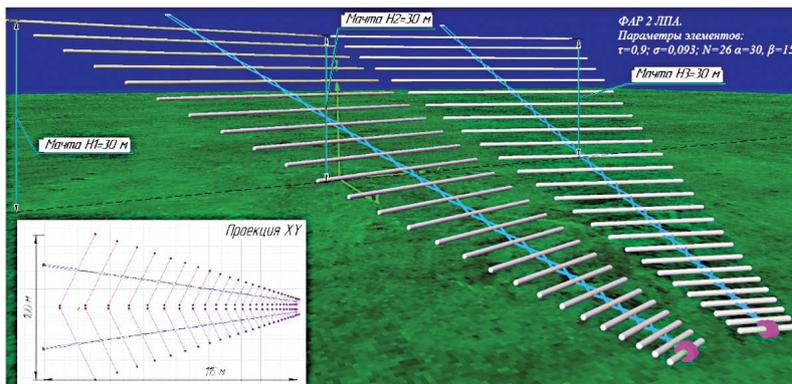


Рис. 4. Электродинамическая модель ФАР 2 ЛПА

обладают следующими недостатками:

- невозможность работы в диапазоне от 2 до 3 МГц;
- наличие двух опорных мачт для ЛПА и трех для ФАР 2 ЛПА, что является элементом избыточности в части конструктивного исполнения.

Варьирование значениями габаритов, числа вибраторов и коэффициента усиления ЛПА практически всегда осуществляется путем выбора соответствующих значений знаменателя геометрической прогрессии τ и относительного расстояния между вибраторами в ЛПА (параметр σ), связанных между собой соотношением

$$\sigma = \frac{1}{4} \times (1 - \tau) \times \cot \alpha, \quad (1)$$

где α – угол между осью антенны и линией, проходящей через концы вибраторов.

При этом, чем ближе τ к единичному значению, тем больше количество вибраторов в ЛПА и тем больше значение абсолютного коэффициента усиления (КУ).

С целью расширения рабочего диапазона частот логопериодической структуры необходимо подобрать значения τ и σ таким образом, чтобы энергетические характеристики были не менее характеристик приведенного выше аналога (см. табл. 1). Для каждого значения τ существует оптимальное с точки зрения КУ значение σ , которое рекомендуется выбирать в соответствии с графиками, приведенными в [12, 14], однако при разработке сверхширокополосных ЛПА КВ-диапазона с перекрытием по частоте $f_{\max}/f_{\min} \approx 15$ и более приходится отступать от рекомендаций графиков и искать компромисс

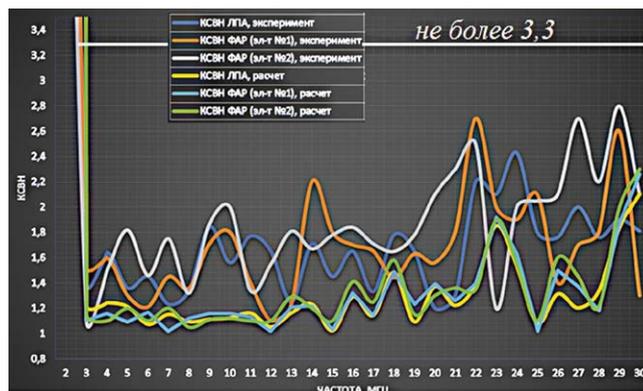


Рис. 5. Значения КСВН антенны ЛПА, элементов из состава ФАР 2 ЛПА, полученные расчетным и экспериментальным способами

Характеристики антенных систем ЛПА, ФАР 2 ЛПА, ЛПГИ, ФАР 2 ЛПГИ, ВГДШ, РГД (полученные расчетным способом)

f, МГц	Тип АФС	КСВН	Δmax°	Gmax дБи,	G $\Delta=10^\circ$ дБи	G $\Delta=15^\circ$ дБи	G $\Delta=20^\circ$ дБи	G $\Delta=40^\circ$ дБи	G $\Delta=60^\circ$ дБи	G $\Delta=80^\circ$ дБи	2 $\Delta\theta^\circ$	2 $\Delta\phi^\circ$	Кол-во опорных мачт/высота, м	Занимаемая площадь, га	
2	ЛПА	150	70	7,1	-4,2	-0,88	1,33	5,68	6,96	7,07	110	360	2/30	0,8	
	ФАР 2 ЛПА	78	70	8,1	-3,2	0,1	2,36	6,73	8	8	110	360	3/30	1,32	
	ЛПГИ	2,5	70	6,55	-5,6	-2,2	0	4,8	6,39	6,4	85	180	1/35	1,2	
	ФАР 2 ЛПГИ	1,9	65	10,2	-1,22	2,1	4,35	8,86	10,13	9,8	85	110	2/35	2,56	
	РГД	1,15	65	10,7	-7,7	-3,3	0,2	9	10,2	0,7	35	80	6/35	3,52	
	ВГДШ	100	90	5,92	-7,8	-4,9	-2	2,9	5	5,8	100	360	2/14	0,45	
3	ЛПА	1,22	45	9,63	1,16	4,33	6,36	9,54	8,88	6,36	60	90			
	ФАР 2 ЛПА	1,1	40	11,1	2,94	6,1	8,1	11,1	10	6,4	50	50			
	ЛПГИ	1,7	45	8,79	0,2	3,38	5,43	8,67	8,15	5,77	60	110			
	ФАР 2 ЛПГИ	1,5	40	12,5	4,73	7,85	9,82	12,5	11,1	7,7	50	50			
	РГД	1,42	40	14,3	1,22	5,45	8,65	14,3	5,8	-20	25	40			
	ВГДШ	41	90	6,7	-6,2	-3	-0,6	4,13	6	6,6	108	360			
4	ЛПА	1,24	40	10,2	2,2	5,33	7,32	10,16	8,86	5,39	50	80			
	ФАР 2 ЛПА	1,16	40	11,4	3,7	6,8	8,8	11,4	9,6	5,2	45	60			
	ЛПГИ	1,31	40	8,9	1,8	4,8	6,6	8,86	8,43	5,2	55	110			
	ФАР 2 ЛПГИ	1,3	40	14	5,36	8,6	10,7	14	10,9	3,54	40	40			
	РГД	1,32	30	16,6	7,24	11,2	14	14,7	-19	-4,3	20	30			
	ВГДШ	12	88	6,82	-5	-1,2	0,5	4,92	6,39	6,78	116	360			
7	ЛПА	1,15	45	10,4	3,13	6,22	8,14	10,38	8,19	3,55	45	80			
	ФАР 2 ЛПА	1,02	45	11,9	5	8	9,9	11,7	9	2,82	45	50			
	ЛПГИ	1,16	45	8,9	1,76	4,77	7	8,86	8,88	5,15	55	110			
	ФАР 2 ЛПГИ	1,5	45	13,6	5,66	8,84	10,9	13,54	9,7	4,64	35	40			
	РГД	1,55	25	21	18,9	21	21	-1,2	7	4,4	15	10			
	ВГДШ	3	56	6,69	-1,48	2,1	3,61	6,6	6,2	5,2	140	104			
10	ЛПА	1,13	45	10,6	4,24	7,18	8,92	10,37	7,2	1,5	45	70			
	ФАР 2 ЛПА	1,2	45	11,9	5,8	8,7	10,4	11,7	7,9	1	40	50			
	ЛПГИ	1,31	40	10,3	4,35	7,3	8,97	9,84	5,25	-2	40	80			
	ФАР 2 ЛПГИ	1,5	40	13,4	8,31	11,1	12,6	12,7	7,6	-0,5	35	40			
	РГД	1,38	12	23,1	23	21	14,8	13,7	-7,2	1,88	10	8			
	ВГДШ	1,57	30	8,64	3	6,27	7,5	8	3	-3,7	38	64			
14	ЛПА	1,23	30	11	4,89	7,95	9,74	10,11	6,15	-4	35	70			
	ФАР 2 ЛПА	1,22	30	12,8	7,3	10,18	11,85	11,5	7,2	-5,1	35	40			
	ЛПГИ	1,32	45	10,3	4,44	7,5	9,2	9,8	1,84	-6	35	80			
	ФАР 2 ЛПГИ	1,5	30	13,9	8,1	10,8	12,46	12,1	4,5	-8	30	30			
	РГД	1,6	8	22,5	21,2	12	6,8	4,8	4,83	-2,7	8	4			
	ВГДШ	7,2	32	10,2	6,82	9,46	10,1	3,68	1,94	7,18	24	32			
18	ЛПА	1,48	30	10,8	5,65	8,28	9,88	9,95	2,66	-9,3	35	70			
	ФАР 2 ЛПА	1,5	30	12,5	7	9,7	11,4	11,7	3,2	-11	30	50			
	ЛПГИ	1,6	30	10,8	6	8,43	9,8	8,44	-3,1	-17	30	70			
	ФАР 2 ЛПГИ	1,7	25	14	8,94	11,9	13,56	11,2	0,5	-6,9	25	30			
	РГД	1,38	6	17,8	8,45	6,65	12,2	12,9	3,56	-5,2	6	4			
	ВГДШ	5,1	26	8,49	7,24	8,5	7,88	-1	-1	-8,8	18	(*)			
22	ЛПА	1,4	25	11,1	6,55	9	10,35	9,58	-1,8	-15	30	70			
	ФАР 2 ЛПА	1,4	25	12,9	7,9	10,5	12,1	11,4	-1,3	-10,2	30	50			
	ЛПГИ	1,45	25	11,2	7	9,28	10,6	7,52	-6	-3,2	30	70			
	ФАР 2 ЛПГИ	1,4	25	13,7	9,8	12,3	13,5	10,7	-5,8	-1,9	30	30			
	РГД	1,4	(*)												
	ВГДШ	9,4	24	6,73	6,22	6,41	4,64	5,5	2,73	-1,65	16	(*)			
26	ЛПА	1,46	25	11,2	6,76	9,63	11	7	-7	-4,2	30	70			
	ФАР 2 ЛПА	1,5	25	13,9	9,9	12,5	13,65	9,2	-5,6	-0,8	25	40			
	ЛПГИ	1,29	25	10,9	7,54	10,15	10,9	6,2	-11	1,6	30	70			
	ФАР 2 ЛПГИ	1,3	20	14	10,8	13,22	14	9,2	-6,3	3,75	25	20			
	РГД	1,4	(*)												
	ВГДШ	7,5	12	8	7,58	7,3	4,24	7,8	-10,9	-3,2	14	(*)			
30	ЛПА	2,13	25	11,3	8,24	10,4	11,1	7	-8,8	0,2	25	70			
	ФАР 2 ЛПА	2,26	25	13,2	10	12	13	9,5	-5,2	2,65	30	40			
	ЛПГИ	1,58	25	11	8	10,11	11	4,2	-2,7	-3,4	25	70			
	ФАР 2 ЛПГИ	1,4	20	13,9	11	13,12	13,85	6,93	1	6,21	25	20			
	РГД	1,55	(*)												
	ВГДШ	5,3	10	0,9	0,9	-1,63	-5,44	-5,18	-20	0,3	12	(*)			

* – направленные свойства в горизонтальной и/или вертикальной плоскости отсутствуют

между величиной КУ и приемлемыми габаритами антенного полотна.

Так, при разработке антенны, представленной на рис. 3, $\tau = 0,9$, $\sigma = 0,093$. При этом поперечные размеры составили 95×40 м, количество вибраторов – 26, в то время как применение оптимального в соответствии с [12, 14] значения $\sigma = 0,17$ привело бы почти к двукратному увеличению длины антенного полотна и, как следствие, к существенному усложнению конструктивного исполнения, увеличению числа опорных мачт, что неприемлемо.

Путем оптимизации и подбора параметров τ и σ , анализа и расчетных оценок ряда вариантов была выбрана структура с параметрами $\tau = 0,87$, $\sigma = 0,12$, содержащая 26 вибраторов поперечными размерами 135×80 м. Для построения антенны таких размеров по классической схеме с плоским наклонным полотном (см. рис. 3) потребуется не менее шести мачт – по две спереди и сзади полотна и две в середине. Конструкция получается дорогой и сложной в обслуживании.

Поэтому с целью упрощения и удешевления была разработана конструкция ЛПА изогнутой пирамидальной формы (ЛПГИ), в которой вибраторы относительно собирающей линии наклонены по отношению к земле на угол Ψ , лежащий в пределах $100^\circ \leq \Psi \leq 155^\circ$. Сама же логопериодическая структура с целью сокращения количества опорных мачт и упрощения конструкции имеет излом, вершиной которого является место соединения вибратора № 22 с распределительной линией таким образом, чтобы обеспечить углы наклона обеих частей распределительной линии [16] для ориентации главного лепестка ДН под требуемыми углами возвышения (места). Такая конструкция позволяет обойтись одной мачтой в середине структуры и одной стойкой у точки питания (рис. 6).

При построении двухэлементной решетки из антенн ЛПГИ – ФАР 2 ЛПГИ, для того чтобы в режиме ПСМ обеспечить одинаковую ширину главного лепестка диаграммы направленности ФАР в средней и верхней частях рабочего диапазона частот и предупредить появление дифракционных максимумов, антенны ЛПГИ необходимо размещать под углом друг к другу.

При этом положение максимумов диаграмм направленности в горизонтальной плоскости антенны ЛПГИ в автономном режиме работы сдвигалось от оси ФАР именно на этот угол в ту и другую стороны, т. е. не соответствовало направлению на корреспондента. Оказалось, что можно практически устранить этот нежелательный эффект путем некоторой модификации конструкции антенны ЛПГИ для применения в составе ФАР. Суть этой модификации состоит в том, что, хотя со-

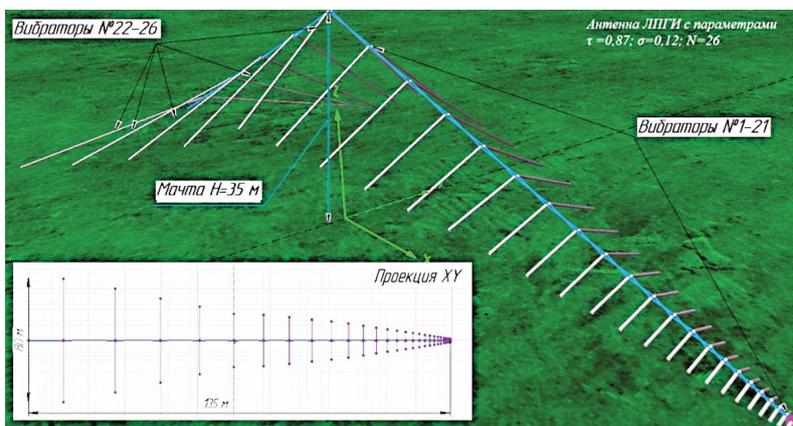


Рис. 6. Антенна ЛПГИ

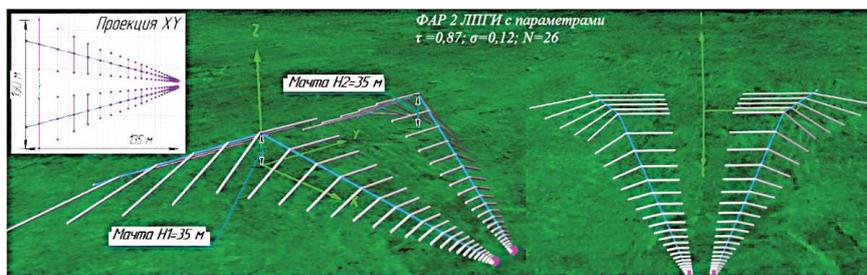


Рис. 7. Электродинамическая модель ФАР 2 ЛПГИ

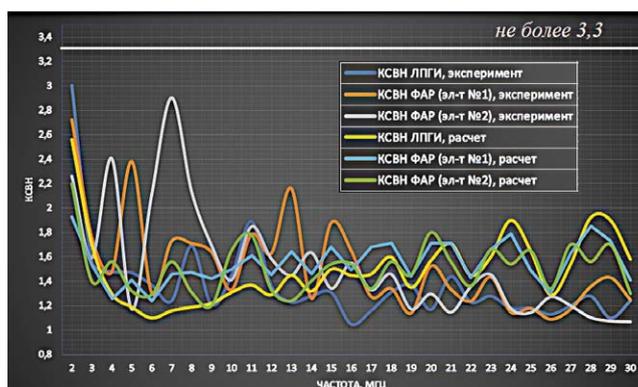


Рис. 8. Значения КСВН антенны ЛПГИ, элементов из состава ФАР 2 ЛПГИ, полученные расчетным и экспериментальным способами

бирательные линии антенны ЛПГИ расположены под углом друг к другу, вибраторы обеих антенн соосны и расположены на линиях перпендикулярных оси ФАР, в отличие от структуры, приведенной на рис. 4. Расчеты подтвердили равномерность такой модификации. Схематическое изображение двухэлементной ФАР на базе модифицированных антенн ЛПГИ показано на рис. 7.

На рис. 8 приведены расчетные и экспериментальные значения КСВН в диапазоне частот 2–30 МГц.

По результатам рассмотренных вариантов можно сделать вывод, что предложенная конструкция расширила нижнюю границу рабочего диапазона антенны с 3 до 2 МГц. Кроме того, конструктивное исполнение позволяет сократить число опорных мачт с двух до одной при одиночной антенне и с трех до двух при двухэлементной решетке. Недостатком предложенного решения является увеличение поперечных размеров, однако это неизбеж-

но при расширении частотного диапазона.

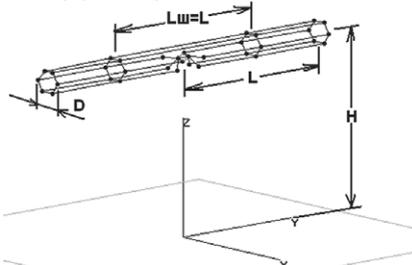
Расчетные энергетические характеристики ЛПГИ и ФАР 2 ЛПГИ приведены в табл. 1.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ И НЕЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АНТЕНН ВГДШ, РГД С ПРЕДЛОЖЕННЫМ РЕШЕНИЕМ

Исследовав в предыдущем разделе классическую ЛПА, двухэлементную АФАР на ее основе, а также модифицированные варианты изогнутых логопериодических структур с расширенным частотным диапазоном, приведем количественные оценки энергетических и неэнергетических характеристик основных типов используемых на радицентрах антенн РГД $65/4 \times 1$, ВГДШ $12/5 \times 2$ (рис. 9). В сравнительном анализе рассмотрен только один типоразмер РГД ($\lambda_0 = 32,43$ м, $D = 235$ м, $d = 110$ м, $h = 32$ м, $L = 130$ м, $b = 38$ м), так как другие типоразмеры имеют аналогичные ха-

а)

Антенна ВГДШ 12,5/14*2 с параметрами:
 $L=12,5$, $H=14$, $D=2$



б)

Антенна РГД 65/4*1 с параметрами:
 $\lambda_0=32,43$ м, $D=235$ м, $d=110$ м, $h=32$ м, $L=130$ м, $b=38$ м

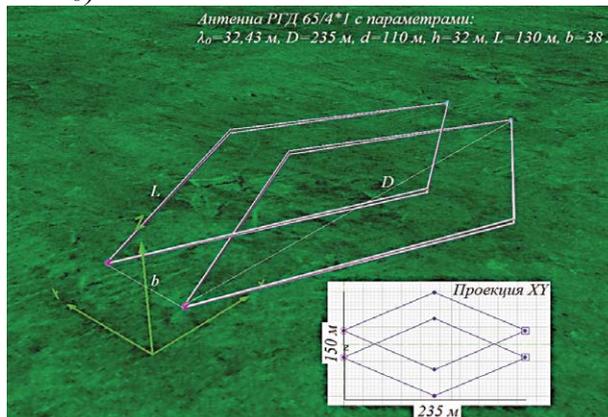


Рис. 9. Электродинамические модели антенн, а – ВГДШ и б – РГД

рактические, отличие будет только в перемещении их по частотному диапазону. По результатам анализа данных таблицы, с учетом критериев по определению частотного диапазона АФУ, заданных выше, частотные диапазоны рассмотренных антенн составили:

- ЛПА, ФАР 2 ЛПА – 3–30 МГц;
- ЛПГИ, ФАР 2 ЛПГИ – 2–30 МГц;
- РГД 65/4*1 – 2–11 МГц;
- ВГДШ 12,5/14*2 – 4,2–13,9 МГц.

Как видно из результатов, требуемая широкополосность обеспечивается антеннами ЛПГИ, ФАР 2 ЛПГИ.

По неэнергетическим характеристикам наибольшую занимаемую площадь, а также наибольшее количество мачтовых опор, что пропорционально стоимости изделия, занимает антенна РГД, наименьшие показатели – антенна ВГДШ. Логопериодические структуры занимают промежуточное положение.

РЕЗУЛЬТАТЫ ТРАССОВЫХ ИСПЫТАНИЙ АФУ НА ТРАССЕ СРЕДНЕЙ ПРОТЯЖЕННОСТИ

В данном подразделе представлены результаты трассовых испытаний АФУ ЛПА, ФАР 2 ЛПА, ВГДШ, АШ, ФАР 2 АШ на трассе протяженностью 2100 км (г. Омск – г. Москва).

Методология испытаний была аналогичной, приведенной в [9, 18], и заключается в том, чтобы за период времени, не превышающий 10–15 минут (период стационарности ионосферы), провести 90-секундные сеансы излучения узкополосных телеграфных сигналов и запись создаваемыми ими уровней на приемной стороне. На все испытываемые антенны работало два радиопередающих устройства с выходной мощностью 5 кВт, подключенные к АФУ через автоматизированный антенный коммутатор. Из-за многолучевости в сочетании с флуктуациями параметров ионосферы, приводящими к тому, что характеристики результирующего поля сигнала в месте приема непрерывно менялись и прием коротких волн сопровождался быстрыми и медленными изменениями уровня сигнала

на входе приемника, замираниями [21], по каждому сеансу вычислялось медианное значение уровня поля, создаваемого антенной системой в точке приема. Фазирование систем ФАР 2 ЛПА и ФАР 2 АШ было выполнено по алгоритму, приведенному в [9]. Результаты анализа и обработки сеансов приведены на рис. 10.

Наибольший энергопотенциал на радиолинии, как и ожидалось, создает ФАР 2 ЛПА, приращение уровня сигнала в точке приема относительно работы одного РПДУ на антенну ЛПА составило от 4 до 9 дБ/мкВ.

Приращение уровня сигнала, формируемого от ФАР 2 АШ, относительно одной антенны АШ составило от 2,1 до 8 дБ/мкВ. Это подтверждает эффективность предложенного в [9] способа фазирования двухэлементных решеток с управляемой диаграммой направленности и позволяет сделать вывод об эффективности применения штыревых антенн с перестраиваемыми согласующими устройствами и АФАР на их основе на трассах средней протяженности.

Антенны типа симметричный горизонтальный излучатель (и их производные – ВГДШ, УГД, ВГДШП, ВГДШ-2У всех многочисленных типоразмеров и т. д.) могут эффективно заменяться антеннами типа АШ и ЛПА.

Антенны типа ЛПГИ и ФАР 2 ЛПГИ в трассовых испытаниях не участвовали

(на объекте модернизации данные АФУ отсутствовали, экспериментальные данные, приведенные на рис. 8 получены в более ранних работах, выполненных авторами), но, основываясь на расчетных данных табл. 1, можно сделать вывод, что уровни принимаемых сигналов будут не меньше, а в существенном ряде случаев и больше уровней, формируемых ЛПА и ФАР 2 ЛПА, во всем коротковолновом диапазоне.

Также ввиду отсутствия антенны на модернизируемом объекте, сориентированной по азимуту на приемный пункт, не удалось провести трассовые испытания антенны РГД. Анализируя количественные характеристики антенны РГД с антеннами ЛПА (ЛПГИ), ФАР 2 ЛПА (ФАР 2 ЛПГИ), можно утверждать, что на частотах трассовых испытаний (10–14 МГц) КУ при $\Delta = 5-15^\circ$ (для трассы 2100 км – [19]) у антенны РГД значительно (на 5–10 дБи) больше, чем у ЛПА, соответственно, и в точке приема наблюдался бы пропорциональный энергетический выигрыш. Однако на трассах малой (~200–1500 км) протяженности или на частотах выше 13–14 МГц (когда у антенны РГД главный лепесток становится шириной всего в единицы градусов), антенны типа ЛПА будут предпочтительней благодаря наличию свойства стационарности энергетических характеристик во всем рабочем диапазоне частот.

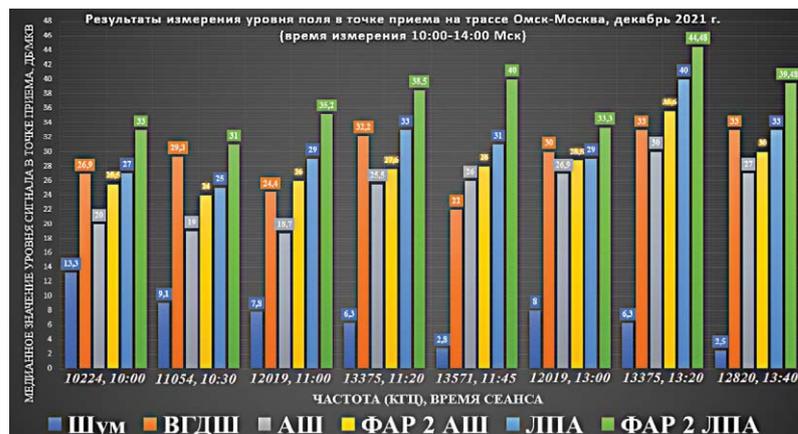


Рис. 10. Результаты трассовых испытаний антенных систем

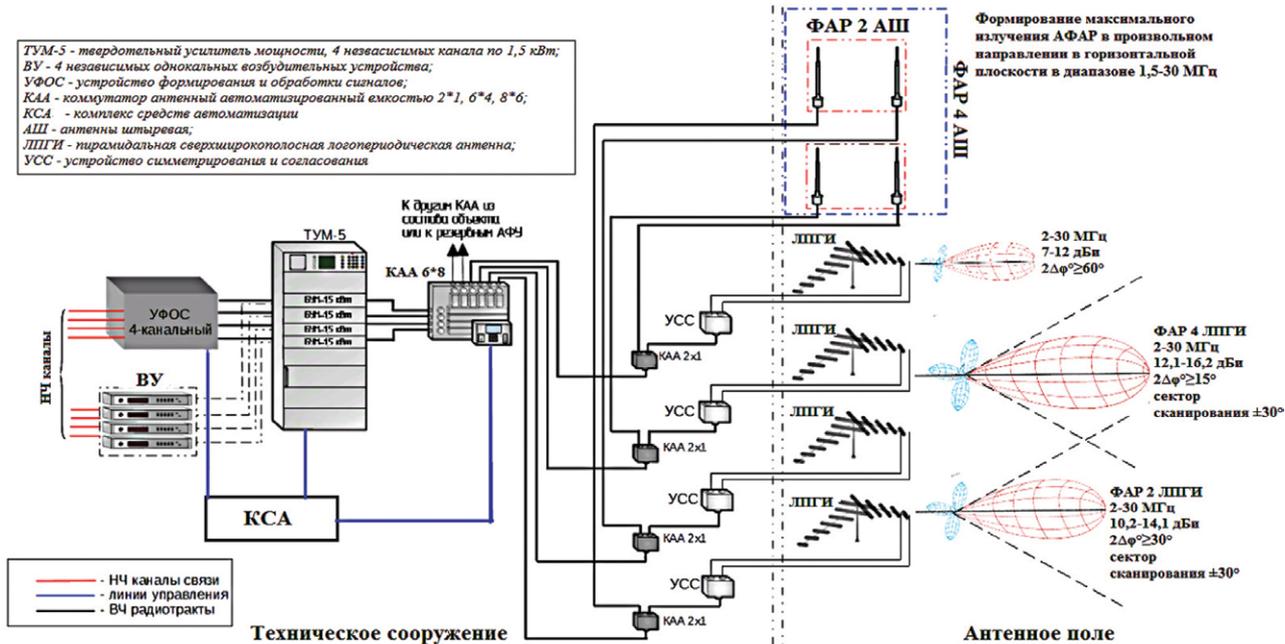


Рис. 11. Сегмент ВЧ тракта с использованием АФУ типа АШ, ЛПГИ

Выработка предложения по схемотехническому построению сегмента унифицированного высокочастотного тракта на базе рассмотренных антенн

Вариант высокочастотного тракта, построенный на базе одиночных излучателей АШ (резервная антенна), ЛПГИ (основная антенна), а также формируемыми из них двух- и четырехэлементных АФАР с управляемой диаграммой направленности в горизонтальной плоскости приведен на рис. 11.

Представленный комплекс позволит обеспечить:

- формирование четырех независимых радиоканалов;
- двух независимых радиоканалов с увеличенной ЭИИМ, образуемых ФАР 2 ЛПГИ или ФАР 2 АШ в различных сочетаниях;
- формирование одного канала с увеличенной ЭИИМ с подводимой к антенной системе ФАР 4 ЛПГИ или ФАР 4 АШ 5 кВт;
- резервировать основные наземные АФУ типа ЛПГИ быстроразвертываемыми аварийными типа АШ [9].

Приведенную на рис. 11 структуру следует рассматривать как базовую, которую можно наращивать до требуемых как количества одновременно работающих радиолиний, так и результирующего энергопотенциала.

На рис. 12 представлен вариант типовой компоновки антенного поля стационарного радиоцентра с применением разработанных АФС – ЛПГИ и ФАР 2 ЛПГИ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения данной работы получена совокупность теоретических, расчетных и экспериментальных результатов, позволивших обосновать необходимость замены существующих устарев-

ших физически и морально АФУ в составе типовых передающих радиоцентров КВ диапазона, функционирующих в составе радиолиний протяженностями от 100 до 5000 км, на новые унифицированные аналоги – сверхширокополосные логопериодические антенны – и как резервирующие их несимметричные вертикальные вибраторы, а также АФАР с управляемыми диаграммами направленности, построенные на базе этих антенн.

В рамках данной работы получены следующие результаты:

- 1) рассмотрено современное состояние антенных полей и антенн КВ диапазона;
- 2) обоснованы и сформулированы основные требования к антенным системам, которые должны применяться в стационарных радиоцентрах для передачи информации в КВ диапазоне на дальности от 100 до 5000 км. С учетом сфор-

мулированных требований выбран тип АФУ – логопериодические антенны;

3) разработаны электродинамические модели плоских наклонных ЛПА и двухэлементных решеток на их основе, серийно изготавливаемых и применяемых на объектах, приведены их расчетные характеристики, сформулированы недостатки таких систем;

4) с учетом недостатков плоских наклонных ЛПА предложен вариант пирамидальной изогнутой конструкции (ЛПГИ), который позволил достичь коэффициента перекрытия по частоте $K_f = 15$ сократил количество опорных мачт с двух до одной в одиночной антенне и с трех до двух в двухэлементных решетках на базе этих антенн при неизменности энергетических характеристик;

5) исследованы электродинамические модели и рассчитаны характеристики

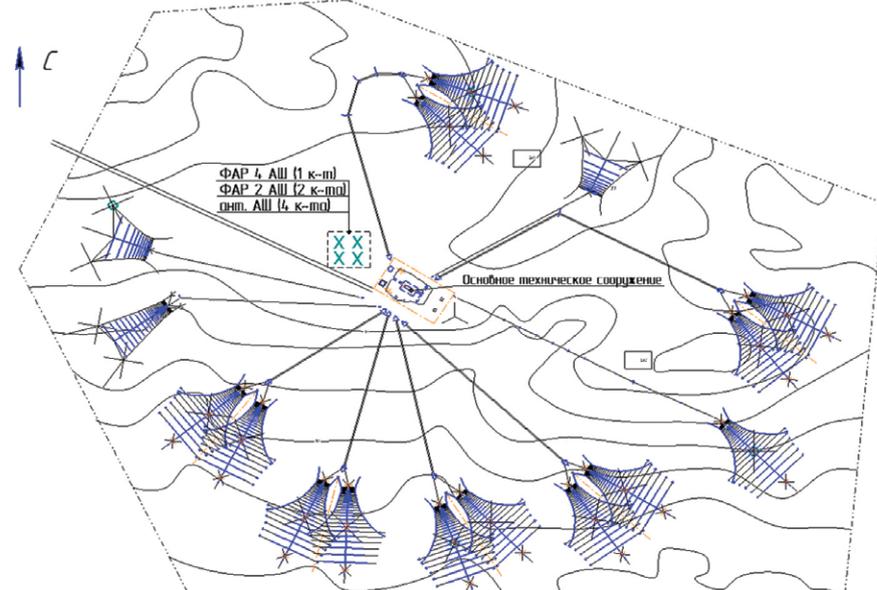


Рис. 12. Вариант антенного поля стационарного радиоцентра с применением разработанных АФС

существующих и широко используемых антенн типа ВГДШ, РГД, антенн нового конструктивного исполнения ЛПА, ФАР 2 ЛПА, а также предлагаемого варианта ЛПГИ, ФАР 2 ЛПГИ;

6) проведены трассовые испытания антенн ВГДШ, АШ, ФАР 2 АШ, ЛПА, ФАР 2 ЛПА на трассе средней протяженности (2100 км): энергетический выигрыш двухэлементных ФАР относительно одиночного излучателя составил от 2,1 до 8 дБ/мкВ для несимметричных вертикальных вибраторов (АШ) и от 4 до 9 дБ/мкВ для логопериодических антенн на частотах 10–14 МГц в период проведения испытаний;

7) по результатам анализа расчетов и экспериментальных данных можно сделать вывод о возможности эффективной замены существующих антенн ВГДШ, РГД на рассмотренные ЛПГИ, АШ и АФАР;

8) на основе полученных результатов выработаны предложения по построению сегмента ВЧ тракта в составе объекта. Предложенное решение является базовым, состав оборудования может быть увеличен до требуемого количества одновременно функционирующих радиолиний в соответствии с задачами, возложенными на объект.

В качестве предложений по применению рассмотренных сверхширокополосных логопериодических антенн в качестве передающих антенн действующих и перспективных стационарных и мобильных комплексов декаметровый радиосвязи, с учетом исследований, представленных в данной работе, также возможно сформулировать следующие тезисы:

1. Диапазон рабочих частот ЛПГИ, ФАР 2 ЛПГИ, высокая степень согласования выхода передатчика и антенно-фидерного тракта, отсутствие необходимости применения перестраиваемого согласующего устройства в перспективе позволяют рассмотреть возможность применения разработанных систем в автоматических декаметровых радиолиниях с целью повышения помехоустойчивости, помехозащищенности и скрытности радиосвязи за счет применения современных технологий частотно-адаптивных радиолиний, программной перестройки частоты, использования шумоподобных сигналов во всем коротковолновом диапазоне.

2. Характеристика направленности разработанных антенн обеспечивает формирование широких зон обслуживания с возможностью их оперативного перемещения, данное обстоятельство позволяет использовать разработанные ФАР в качестве передающих антенн ретрансляционных объектов в сетях с радиально-ветвящейся структурой.

3. С целью снижения стоимости декаметровых радиолиний, с учетом свойства формирования широких зон обслужива-

ния, формируемых антеннами ЛПГИ, целесообразна их эксплуатация с несколькими передатчиками (многочастотными) для снижения массогабаритных показателей оборудования, занимаемой антенными полями площади и сокращения обслуживаемого персонала.

4. При модернизации действующих радиостанций применение разработанных ЛПГИ позволит обеспечить покрытие азимутального направления связи в пределах 60 °С дальностями радиосвязи от 100 до 5000 км.

5. ФАР 2 ЛПГИ позволит формировать зоны радиовидимости с возможностью их оперативного перемещения по азимуту в пределах $\pm 30^\circ$ относительно центрального направления (оси излучения ФАР) и дальностями от 100 до 5000 км.

6. Целесообразно при разработке перспективных объектов предложенные АФС использовать в качестве типового элемента, что позволит осуществить фазирование излучения нескольких АФС с целью повышения коэффициента усиления передающих антенн и реализации принципа многократного их использования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Жилинков В. И., Цыванюк В. А., Лисицын Ю. Д. Применение высокотехнологичных средств при модернизации КВ передающих радиостанций. – Международ. науч.-техн. конф. «Радиотехника, электроника и связь» (РЭИС–2011), Омск, Россия, 5–8 июля 2011. – Омск: Изд. Омского науч.-исслед. ин-та приборостроения, 2011, с. 249–255.
2. Мешалкин В. А., Савицкий О. К. Перспективы развития средств и комплексов радиосвязи Вооруженных сил Российской Федерации // Техника радиосвязи. – 2010. – № 15. – С. 65–76.
3. Мешалкин В. А., Чепелев К. В. Совершенствование стационарных передающих центров радиосвязи путем использования модульного принципа построения передатчиков с активными фазированными антенными решетками. – VIII Международ. науч.-техн. и науч.-метод. конф. «Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании», Санкт-Петербург, Россия, 27–28 февраля 2019. – СПб.: Изд. СПбГУТ, 2019. – Т. 3. – С. 273–277.
4. Гвоздев И. Н., Муравьев Ю. К., Серков В. П., Черволен В. П. Характеристики антенн радиосистем связи. – Л.: Изд. Военной ордена Ленина Краснознаменной академии связи им. С. М. Буденного, 1978. – 231 с.
5. Айзенберг Г. З., Белоусов С. П., Журбенко Э. М. Коротковолновые антенны // Под ред. Г. З. Айзенберга. – М.: Радио и связь, 1985. – 535 с.
6. С2–1123–48. Антенны коротковолновые диапазонные. Типы, размеры, электрические характеристики, технические условия. СССР, Министерство судостроительной промышленности. Утв. УС ВМС 12/12 МСП 14Х, 1948.
7. ВНТП 212–93. Передающие и приемные радиостанции, радиотелевизионные передающие станции и радиотелевизионные ретрансляторы. Утв. Министерством

связи России. Приказ от 15.07.93 № 168. Дата введения 01.01.1994.

8. Шахильян В. В. Проектирование радио-передатчиков: Учеб. пособие для студентов вузов связи, обучающихся по специальности «Радиосвязь, радиовещание и телевидение». – М.: Радио и связь, 2000. – 656 с.
9. Пашкевич В. Д., Голубев В. М., Проценко М. С. Моделирование и расчет характеристик АФАР КВ-диапазона на базе несимметричных вертикальных вибраторов // Тр. учеб. заведений связи. – 2021. – Т. 7. № 1. – С. 81–92. DOI:10.31854/1813–324X-2021-7-1-81-92
10. Барабашов Б. Г., Анишин М. М., Жбанков Г. А., Косогов А. А. Пакет программ прогнозирования характеристик ВЧ-радиоканалов // III Международ. науч.-техн. конф. «Радиотехника, электроника и связь» (РЭИС–2015), Омск, Россия, 6–8 октября 2015 г. – М.: Наука, 2015. – С. 106–108.
11. HF Propagation Prediction and Ionospheric Communications Analysis [электронный ресурс]. – URL: <https://www.voacarp.com/> (дата обращения 14.05.2022).
12. Яковлев А. Ф., Пятиенков А. Е. Широкодиапазонные направленные антенные решетки из вибраторных элементов. – СПб.: НИЦ связи ВМФ, 2007, 141 с.
13. Du Hamel R. H. and Isbell D. E. Broadband logarithmically periodic antenna structures // IRE National Convent Record. – 1957. – Part 1. – P. 119–128.
14. Кэррел Р. Расчет логопериодических вибраторных антенн. – Сб.: Сверхширокополосные антенны / Под ред. Л. С. Бененсона. – М.: Мир, 1964.
15. ГОСТ 24375–80. Радиосвязь. Термины и определения. – М.: Изд-во стандартов, 1982.
16. Голубев В. М., Пашкевич В. Д. Сверхширокополосная логопериодическая антенна с коллинеарными вибраторами. Патент на полезную модель RU 179700 от 09.11.2017. Опубл. 22.05.2018 // Бюлл. 15.
17. Романов Ю. В. О некоторых типичных ошибках построения систем высокоскоростной КВ радиосвязи // Техника радиосвязи. – 2012. – № 18. – С. 5–20.
18. Голубев В. М., Пашкевич В. Д., Проценко М. С. Разработка и экспериментальное исследование АФАР КВ-диапазона с управляемой диаграммой направленности // Тр. учеб. заведений связи. – 2020. – Т. 6. – № 1. – С. 50–59. DOI:10.31854/1813–324X-2020-6-1-50-59
19. Ротхамель К., Кришке А. Антенны / Пер. с немец. – Т. 1. – М.: Лайт Лтд, 2000. – 416 с.
20. Рекомендации МСЭ-R P.533–13. Метод для прогнозирования рабочих характеристик ВЧ-линий / Международ. союз электросвязи. – Сер. Р. Распространение радиоволн. – [Электр. ресурс]. 2015. – URL: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.533-13-201507-S!! PDF-R.pdf (дата обращения: 25.04.2022).
21. Благовещенский Д. В. Радиосвязь и электромагнитные помехи: Учеб. пособие. – СПб.: СПбГУАП, 2002. – 70 с.
22. Калинин А. И., Черенкова Е. Л. Распространение радиоволн и работа радиолиний. – М.: Связь, 1971. – 440 с.
23. Банков С. Е., Грибанов А. Н., Курушин А. А. Электродинамическое моделирование антенных и СВЧ структур с использованием ФЕКО. – М.: One-Book, 2013. – 423 с ■

Продолжение статьи.

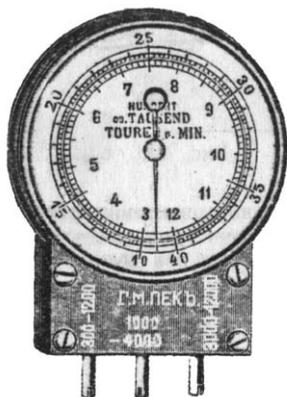
Начало см. на стр. 1

для всех предприятий Связьмортреста, создающих системы связи, сигнализации, телемеханики, радионавигации и другой морской техники.

Великая Отечественная война преврала широкие планы по реконструкции, переоборудованию и расширению производственных площадей предприятия. Свыше 70 процентов кадровых рабочих ушли на фронт, их место заняли женщины и подростки. В декабре 1941 г. производство почти полностью остановилось из-за нехватки электроэнергии, сырья, топлива. Большинство оборудования пришлось эвакуировать, но даже в страшные дни блокады трудовая деятельность предприятия не прекращалась. В осажденном Ленинграде предприятие продолжало жить и бороться вместе со всей страной. Группа специалистов заводской лаборатории во главе с ее начальником Б. С. Барановым была направлена на объекты Балтийского флота для ремонта и наладки различных приборов и систем. Приказом командующего Балтийским флотом старший инженер Борис Сергеевич Баранов был награжден орденом Красной Звезды «за образцовое выполнение заданий командования на фронте борьбы с немецкими захватчиками и проявленные при этом доблесть, мужество и героизм». Более шестидесяти работников завода погибло на фронтах войны или умерло в блокадные годы, зачастую прямо на рабочих местах, в заводских цехах.

В начале 1943 г. в стенах предприятия развернута ремонтная база судовой радиотехнической аппаратуры. После победоносного окончания Великой Отечественной войны завод быстро пополняется новым оборудованием, возвращаются демобилизованные воины – бывшие и новые рабочие, инженерно-технические работники.

Вновь организуется исследовательская лаборатория, проводятся разработки тензометрической аспа-



Изделия завода Г. М. Пека. Каталожное изображение тахометра, обложка каталога «Станки и инструменты для обработки металла»

140 ЛЕТ В МОРСКОМ ПРИБОРОСТРОЕНИИ К ЮБИЛЕЮ АКЦИОНЕРНОГО ОБЩЕСТВА «НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ФИРМА «МЕРИДИАН»

А.А. Копанев, д-р техн. наук, проф., ген. директор АО «НПФ «Меридиан»,
контакт. тел. (812) 232 3975

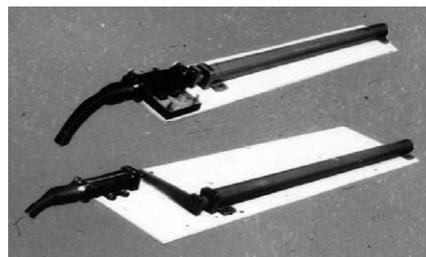


Дореволюционное фото (слева) здания завода Г. М. Пека, где сегодня расположена центральная площадка (справа) АО «НПФ «Меридиан», Санкт-Петербург, ул. Блохина, д. 19

ратуры, начинается серийный выпуск знаменитых судовых радиопередатчиков типа АСП-4. С участием ведущих научно-исследовательских институтов отрасли начинается освоение новых тематических направлений. Предприятие окончательно перестраивает свою работу в ключе судового приборостроения с использованием средств стремительно развивающейся электроники. В 50-е гг. XX в. предприятие выполняет первые самостоятельные разработки систем измерения и компенсации магнитных полей, автоматических судовых систем пожаротушения, включая разработку датчиков, создаются образцы новых изделий для измерения неэлектрических величин: прогибомеры, кренодифференциметры, торсиометры.

Приказом Министерства судостроительной промышленности в марте 1963 г. предприятие преобразовано в Особое конструкторское

бюро (ОКБ-860) с присоединением к нему опытного завода. Также в состав ОКБ-860 передано три тематических отдела из ОКБ-781. С этого момента на предприятии развернута работа по созданию систем, связанных с использованием корабельного вооружения: боевые информационно-уп-



Прогибомер и торсиометр (фото около 1950 г.)

равляющие системы, системы совместного безопасного применения оружия, пульта судовождения и другие системы обработки информации специального назначения. Предприятие преобразуется в специализированное конструкторское бюро, за исследовательскими и конструкторскими отделами закрепляются задачи по соответствующим направлениям.

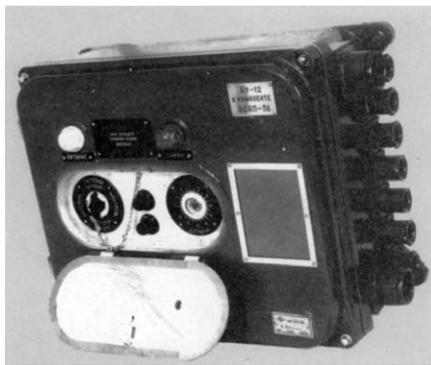
Новый виток развития ОКБ-860 наступает в 1968 г. с включением в со-



став производственных площадей, расположенных в пригороде Ленинграда – г. Гатчина. Предприятие назначено базовой организацией по разработке и изготовлению пультов и секций судовождения, и отныне называется «Центральное конструкторское бюро «Меридиан». А спустя восемь лет происходит создание Научно-производственного объединения «Меридиан», в ведение которого, помимо гатчинского завода, переданы филиалы в г. Харьков и г. Севастополь.

Столетний юбилей в 1983 г. предприятие, выросшее из небольшой механической мастерской, встречает уже в качестве мощного научно-производственного комплекса с многотысячным коллективом рабочих, инженерно-технических работников и служащих – специалистов высочайшей квалификации по самым разным специальностям. Государство высоко оценило вклад НПО «Меридиан» в развитие отечественного судостроения, наградив его коллектив орденом Трудового Красного Знамени. Наступил период расцвета предприятия, обеспечивающего потребности кораблестроения Советского Союза – одной из ведущих держав в этой области.

Основную тематику предприятия того времени составляли системы корабельной защиты – такие, как противопожарные системы, системы измерения и компенсации электромагнитных полей, пульты судовождения, информационно-управляющие системы и системы совместного безопасного применения оружия, системы управления средствами радиосвязи и радиоэлектронными средствами специального назначения, тренажерные, обучающие и диагностические комплексы.



Прибор БУ-12 изделия «ЭСАП-3б» – одной из первых противопожарных систем, разработанных и изготовленных предприятием

Вспоминая годы послевоенного развития предприятия, нельзя не назвать тех специалистов и руководителей, чьим самоотверженным трудом создавалась сложнейшая радиоэлектронная техника и формировался имидж успешного предприятия, способного выполнить самые напряженные производственные планы. Среди руководителей подразделений предприятия и ведущих специалистов можно отметить Д. С. Аврутина, Е. Д. Питько, М. П. Зубакова, З. А. Оршанского, Б. М. Фишера, Е. А. Фомичева, Ю. Г. Лобанова, Н. К. Темкина, Н. И. Ионсона, В. Г. Глушинского, Б. А. Чеботарева, А. А. Никонова, Г. Я. Скородумову, А. П. Панькина и многих других. Главными инженерами предприятия были: А. А. Романов, В. И. Алексеев, Е. Г. Сорокин, А. А. Копанев. Руководителями предприятия с 1963 по 1992 г. являлись Николай Александрович Иванов, Николай Васильевич Евстифеев, Николай Евгеньевич Казаринов и Петр Петрович Кудаков. С 1992 г. и по настоящее время

предприятием руководит Александр Алексеевич Копанев, доктор технических наук, профессор, Почетный судостроитель РФ, лауреат Премии Правительства РФ.

Наступил 1991 г. Он вошел в историю крушением Советского Союза и стал еще и годом начала серьезных преобразований на предприятии. Одновременно с провозглашением независимости рядом советских республик из объединения вышли филиалы, став предприятия иностранных государств. А вслед за отпавшими филиалами был приватизирован и вышел из состава объединения завод в Гатчине. Объем заказов на предприятии упал практически до нуля, численность работников начала резко сокращаться. Перед руководством «Меридиана» встал главный вопрос – что нужно сделать, чтобы сохранить предприятие?

Основными задачами в это тяжелое время стало сохранение «костяка» кадрового состава инженерно-технических работников и рабочих опытного производства, производственных мощностей и технологического оборудования, а также основных направлений деятельности предприятия: корабельных информационно-управляющих систем, систем совместного безопасного применения собственного оружия надводных кораблей, систем взрывопожаробезопасности, систем компенсации электромагнитных полей. Эти задачи были решены коллективом предприятия за счет создания новых направлений деятельности и самоотверженной работы инженеров, рабочих и служащих.

С 1991 по 1993 г. предприятие диверсифицировало свое производство и конструкторские подразделения на выпуск востребованной гражданской продукции. Был освоен выпуск витринных панелей из алюминия и стекла, которыми предприятие оснастило универмаг «Большой Гостиный Двор» в Санкт-Петербурге. Разработаны и успешно изготавливались несущие конструкции рекламных носителей, которые до сих пор надежно стоят вдоль Пулковского шоссе. Многие магазины и бутики города были оснащены стеллажами и стойками для одежды из нержавеющей стали нашего производства. Впервые в истории предприятия по контракту с мэрией Санкт-Петербурга была разработана гражданская система пожарной безопасности «Сирена», предназначенная для жилых зданий повышенной этажности и объектов инфраструктуры города. Этими системами силами специалистов предприятия были оборудованы такие объекты, как здание



Молодежная бригада заводских рабочих ФЗУ

Комитета по финансам Правительства Санкт-Петербурга на Вознесенском проспекте, комплекс зданий универсама «Дом Ленинградской торговли», универсама «Детский мир», объекты жилищного строительства.

Одновременно система «Сирена» была сертифицирована для применения в топливно-энергетическом комплексе, что позволило оснастить ею целый ряд нефтегазодобывающих комплексов Западной Сибири.

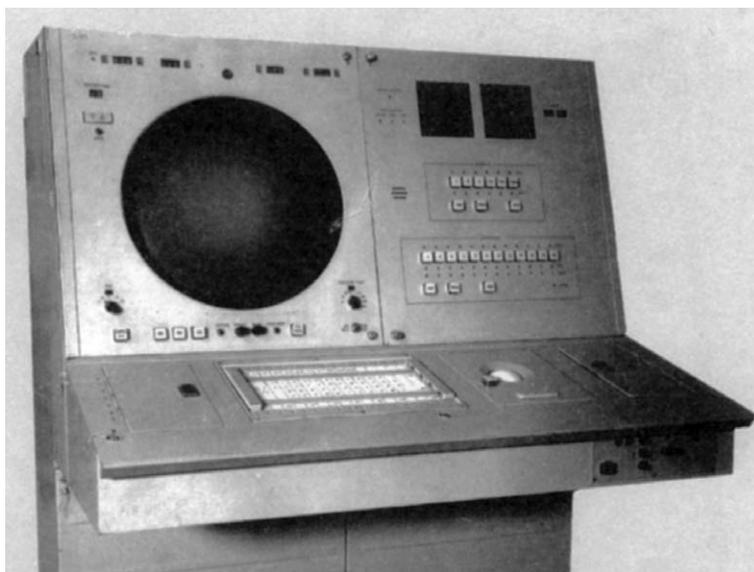
Приложенные усилия не прошли даром – предприятию удалось сохранить высококвалифицированные рабочие и инженерные кадры и развить опытное производство до уровня серийного, что обеспечило к 1995 г. вхождение вместе с другими судостроительными предприятиями страны в экспортную программу строительства кораблей проектов 15, 25А и 16 для ВМС Индии.

В ходе реализации этой экспортной программы были поставлены инозаказчику БИУС третьего поколения типа «Требование-Э», комплексы систем совместного безопасного применения оружия типа «Блокировка», системы включения средств пожаротушения типа «АПЗ-028», системы температурного мониторинга типа «СТС-072».

Успешная реализация первой экспортной программы позволила предприятию провести глубокую модернизацию разработанных в предыдущие годы изделий и расширить производственные мощности собственного производства с целью организации серийного выпуска новых изделий.

Так, в 1998–2000 гг. в инициативном порядке была разработана современная система боевого управления надводных кораблей четвертого поколения «Требование-М», которая стала основой экспортного потенциала предприятия на ближайшие полтора десятилетия. В это же время разрабатываются и внедряются в производство новейшие системы корабельной пожарной сигнализации типа «Касатка», системы температурного мониторинга типа «СТС-М», комплексы систем компенсации магнитных полей кораблей типа АМК-51. Все эти инновационные изделия стали основой второй экспортной программы предприятия, а именно обеспечения строительства трех кораблей пр.11356 для ВМС Индии. В эти же годы «Меридиан» поставляет изделия для ВМС Вьетнама (пр. ПС500) и Китая (пр. 956Э).

Важной вехой в истории предприятия стало его акционирование в 1999 г. и преобразование в Открытое акционерное общество «Научно-производственное объединение «Меридиан».



Прибор 171 изделия «МВУ-356» – предшественника современных БИУС

В 2004 г. Указом Президента РФ предприятие включено в Перечень стратегических акционерных обществ страны, а в 2020 г. становится одним из системообразующих организаций Санкт-Петербурга. В 2007 г. Указом Президента РФ ОАО «НПФ «Меридиан» входит в состав ОАО «Концерн «Моринсис-Агат», и в 2020 г. наряду с другими предприятиями концерна АО «НПФ «Меридиан» входит в АО «Корпорация морского приборостроения».

На протяжении всего периода, начиная с 1995 г. по настоящее время, одной из весомых составляющих в портфеле заказов предприятия являются экспортные поставки в интересах ВМС Республики Индия. Изделиями предприятия оснащаются корабли проектов 15, 16, 25, 61Э, 17, 15А, 1135.6, 15В, 28, 11430, 71, 17А и др. В кооперации с другими отечественными предприятиями АО «НПФ «Меридиан» приняло участие в создании совместных БИУС для кораблей пр.17 ВМС Индии. А на восьми фрегатах пр.1135.6 установлен БИУС «Требование-М», раз-

работка и изготовление которого полностью осуществлена специалистами фирмы, реализовавших принцип «от идеи до готовой продукции».

Практически на все корабли, строящиеся для отечественного военно-морского флота, устанавливаются изделия производства АО «НПФ «Меридиан». Так, системами взрывопожаробезопасности типа «АПЗ-028» и «СТС-М» оснащаются корабли проектов 20380, 22350, 22460, 550М, 11356, 22800 и др. Широкое применение на российском и зарубежных флотах получили системы компенсации магнитных полей типа АМК-51 (проекты 12418, 11661, ТП400, 22800). Изделиями условной подгруппы информационно-управляющих систем продуктового ряда предприятия – автоматизированной системой боевого управления «Требование-М» и системой безопасного применения оружия типа «Блокировка» – оснащены не только послужившие основой для одной из ключевых позиций в сфере ВТС России фрегаты пр. 11356,



Приборы Т-171 новейшего поколения изделия «Требование-М» на отладочном стенде

но и практически 100% всех кораблей ВМФ РФ, где применяются системы подобного класса.

Полученный опыт разработки корабельных систем различных направлений позволил предприятию занять свою нишу на рынке продукции гражданского назначения. В частности, такие изделия обеспечения взрывопожаробезопасности, как «Касатка», «Сирена-МК» востребованы в нефтегазодобывающем комплексе страны, а интегрированные мостиковые системы установлены на ряде судов гражданского флота (сухогрузы, теплоходы, суда на подводных крыльях). Одним из самых ярких достижений в этом ключе стала заслуженная победа в конкурентной борьбе с импортными системами противопожарной защиты системы «Касатка», которая была принята на оснащение серии универсальных атомных ледоколов с ядерной установкой мощностью 60 МВт «Арктика» пр. 22220, находящихся под личным контролем главы нашего государства.

Все эти результаты были бы невозможны без расширения производственных мощностей, внедрения новых технологий, повышения производительности труда. В настоящее время завершено строительство производственно-лабораторного корпуса в Санкт-Петербурге, введены в дей-



Известители и прибор ЦПИ изделия «Касатка»

ствие новые цеха металлообработки, линии порошковых и лакокрасочных покрытий в филиале «Специальная испытательная станция «Меридиан» в г. Луга Ленинградской области, ведется техническое перевооружение производства, реализуются планы внедрения новых технологий проектирования в центральном конструкторском бюро.

Сегодня, на новом витке развития нашего предприятия, коллектив успешно решает новые задачи, которые позво-

ляют сохранять высокий научно-технический потенциал, создавать весомый научно-технический задел на будущее, развивать «двойные технологии» наряду с чисто «гражданскими». Именно сочетание опыта, восходящего к векам 140-летней истории, и современных тенденций развития позволяют АО «НПФ «Меридиан» внести свой вклад в обеспечение стабильного положения и процветания как на внутреннем, так и на внешнеэкономическом поле деятельности государства. ■

Задача повышения скрытности кораблей по параметрам постоянного и низкочастотного переменного магнитного поля имеет богатую историю и решается уже не первое десятилетие. Но если вопросы постоянного магнитного поля (ПМПК) изучены достаточно хорошо и в этой области достигнуты значительные успехи, то в области переменного магнитного поля (НЭМПК) неисследованных проблем остается еще очень и очень много. Причем эти проблемы касаются как средств подавления излучения, так и средств измерения, позволяющих настроить средства подавления (АСК) и проверить качество достигнутого результата после настройки. Более того, в открытых зарубежных публикациях [1–4] появляются новые данные исследований распространения низкочастотного электромагнитного поля в водной среде, свидетельствующие о том, что в настоящее время при решении задачи его подавления не учитывается ряд существенных факторов.

Анализ новых исследовательских данных, выполненных отечественными специалистами [5], позволил сделать следующие выводы о распростра-

нении низкочастотных составляющих НЭМПК в мелком море (а именно на мелководье осуществляются настройка и проверка систем подавления НЭМПК). Наиболее общими закономерностями, выявленными в процессе анализа, являются:

а) изменение пространственной структуры поля из-за влияния границ раздела сред, характеристик затухания различных компонент поля по сравнению с безграничной морской средой;

б) существенный вклад боковых волн в общее поле в морской среде, который имеет место на всех глубинах при ус-

ловии, что глубина моря значительно меньше длины электромагнитной волны;

в) уменьшение скорости затухания компонент электромагнитного поля в зависимости от горизонтальной дальности до источника, которое объясняется подпиткой поля в морской среде за счет энергии боковых волн; в этих случаях изменение уровня поля на всей дистанции существенно уменьшается.

Авторы публикации [5], являющиеся ведущими отечественными специалистами в области исследования НЭМПК, делают важное заключение: «Рассмотренные вопросы актуальны и

ПЕРСПЕКТИВЫ УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА СРЕДСТВ НАСТРОЙКИ КОРАБЕЛЬНЫХ СИСТЕМ КОМПЕНСАЦИИ НИЗКОЧАСТОТНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

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

могут внести определенный вклад как в решение задачи обнаружения морских целей на мелководье по их низкочастотному электромагнитному полю, так и в совершенствование методов низкочастотной электромагнитной защиты кораблей и других морских объектов».

Данное заключение актуально не только как предмет чисто научного исследования, но напрямую касается качества подавления НЭМПК, находящихся в эксплуатации, строящихся и проектируемых кораблей. Более того, оно существенно актуализирует задачу модернизации технических средств настройки и контроля НЭМПК.

ЗАДАЧА КОНТРОЛЯ МАГНИТНЫХ МОМЕНТОВ

Источником излучения НЭМПК в подавляющем большинстве случаев является электрооборудование кораблей: дизель-генераторы, главные распределительные щиты, электрические двигатели. Как известно, индукция дипольного магнитного момента убывает в функции третьей степени расстояния, поэтому на большом расстоянии от источника НЭМПК измеритель индукции попадает в зону внешнего электромагнитного фона. В то же время на малом расстоянии от источника НЭМПК распределение в пространстве уровня магнитной индукции существенно отличается от дипольной модели. При настройке уровня подавления НЭМПК необходимо определять минимальное расстояние, на котором ошибка «недипольности» составила бы не более 10%.

Из закона Био-Савара-Лапласа [1] следует, что индукция B_x магнитного диполя P_m (рис. 1), которая создается источником НЭМПК, на расстоянии r от него определяется из соотношения

$$B_x = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{2P_m}{(\sqrt{R^2 + r^2})^3}, \quad (1)$$

где μ_0 – магнитная постоянная, Гн/м; R – эквивалентный радиус дипольного источника, м; r – расстояние до дипольного источника, м.

Упрощенный вид формулы (1), которую можно использовать без учета

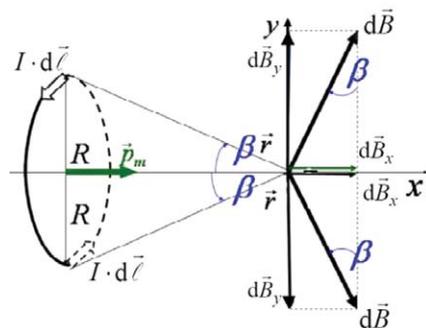


Рис. 1. К определению расстояния для измерения магнитного момента источника

геометрических размеров источника НЭМПК (в данном случае это – эквивалентный радиус R), имеет следующую запись:

$$B_x = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{2P_m}{r^3}. \quad (2)$$

Простые вычисления показывают, что для источника с максимальным габаритным размером 1 м, что примерно соответствует габаритам типового дизель-генератора, применить формулу (2) и получить из нее значение магнитного момента P_m по измеренным данным магнитной индукции B_x с необходимой инженерной точностью возможно на расстоянии 2,3–3,0 м от источника НЭМПК.

При выполнении измерений магнитной индукции B_x , если она проводится прибором с широкой полосой пропускания, сигнал подвергают узкополосной фильтрации в полосе не более 2 Гц и фиксируют данные на частоте 50 Гц.

СЕРИЙНАЯ АППАРАТУРА ДЛЯ НАСТРОЙКИ СИСТЕМ КОМПЕНСАЦИИ НЭМПК

Обратимся к серийной аппаратуре, выпускаемой АО «НПФ «Меридиан», для настройки систем автоматической компенсации НЭМПК, а именно к комплекту приборов контроля поля (КПКП), внешний вид составных частей аппаратуры КПКП показан на рис. 2.

Структурная схема аппаратуры КПКП показана на рис. 3. Сигналы с датчиков ДКП поступают на прибор ПКП (рис. 2, а), в составе которого имеются: коммутатор (К), дополнительный усилитель (ДУ, регулируемый преобразователь «напряжение–ток» (РПНТ) и индикатор (И) в виде стрелочного прибора.

Датчики ДКП (рис. 2, б) в количестве 9 шт. обладают идентичной структурой: индукция магнитного поля преобразуется на входе датчика ДКП в напряжение с помощью чувствительного элемента (ЧЭ), представляющего собой индукционную катушку разомкнутого типа с ферромагнитным сердечником. Далее напряжение поступает на входной интегрирующий усилитель (ВИУ) и фильтруется двухкаскадным фильтром (Ф) с центральной частотой 50 Гц.

Датчики ДКП принципиально имеют однокомпонентную структуру (рис. 3), поэтому для измерения компонент поля X, Y, Z датчики ДКП помещаются в ориентационный куб (рис. 2, в), обеспечивающий их ортогонализацию.

Соединительный ящик СЯ-П (рис. 2, г) герметичной конструкции собирает сигналы от девяти датчиков ДКП и коммутирует их в единый кабель, который подключается к прибору ПКП.

Датчики ДКП (рис. 4), ориентационный куб и соединительный ящик СЯ-П погружаются в воду посредством специальной балки, которая в комплект

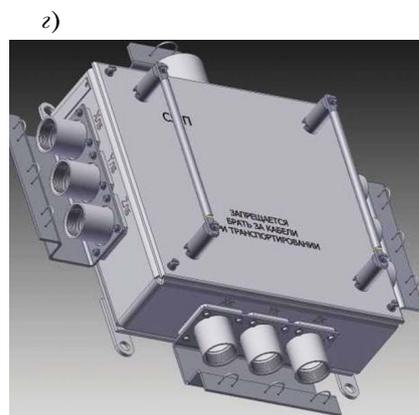
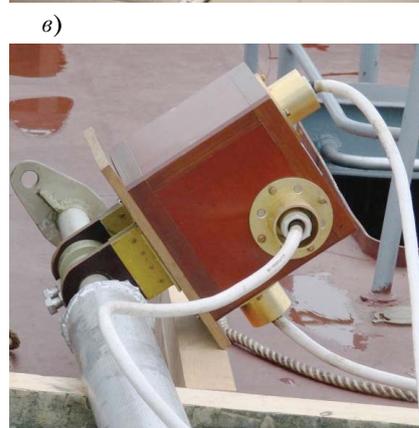
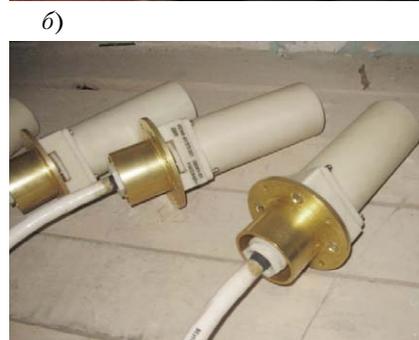


Рис. 2. Внешний вид КПКП: а – прибор ПКП, б – комплект датчиков ДКП, в – ориентационный куб, г – соединительный ящик СЯ-П

КПКП не входит и изготавливается строителем заказа, исходя из поперечного размера корпуса корабля. Крепление ориентационных кубов к балке осуществляется таким образом: два куба закрепляются на концах балки и служат для контроля НЭМПК под бортами заказа, а третий куб крепится по центру и контролирует НЭМПК в килевой плоскости.

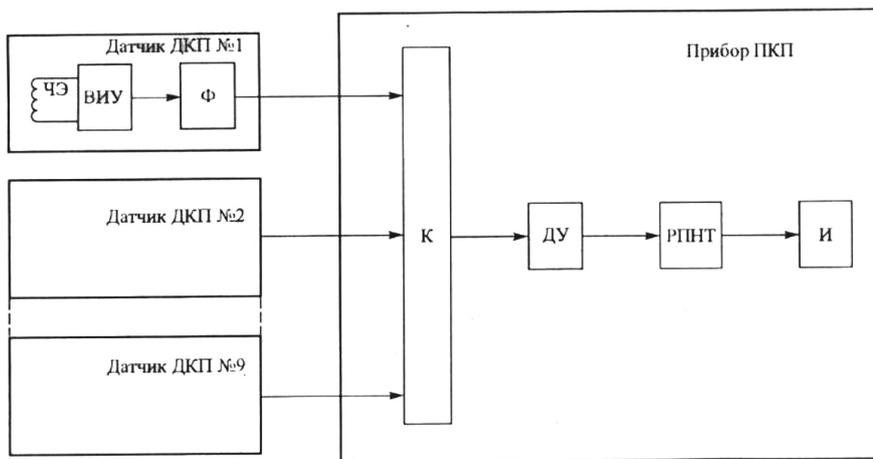


Рис. 3. Структурная схема аппаратуры КПКП



Рис. 4. Внешний вид чувствительного элемента датчика ДКП

Настройка системы АСК при применении аппаратуры КПКП может проводиться в двух диапазонах – 5,0 нТл и 0,5 нТл с отклонением не более 10% от максимального значения в диапазоне.

НЕДОСТАТКИ КОНТРОЛЯ ПОЛЯ ПРИ НАСТРОЙКЕ СИСТЕМ КОМПЕНСАЦИИ НЭМПК

Несмотря на то, что аппаратура КПКП успешно эксплуатируется заводами-строителями, к настоящему времени зафиксирован ряд ее недостатков, устранение которых позволит не только повысить качество настройки НЭМПК, но и провести исследования в вопросах, затронутых в публикации [5].

Кратко остановимся на этих недостатках. Во-первых, низкая помехозащищенность аппаратуры КПКП, относительный уровень контроля поля которой (0,1–5,0 нТл) весьма низкий. Другими словами, при эксплуатации аппаратуры необходимо выбрать место, в котором уровень внешней помехи по крайней мере на порядок ниже. Осуществлять контроль НЭМПК в условиях завода-строителя, вблизи мощного электроэнергетического оборудования и линий электропередач, не представляется возможным – аппаратура КПКП будет фиксировать только наличие внешней помехи высокого уровня.

Во-вторых, узкий диапазон работы аппаратуры КПКП. Несмотря на то, что, как правило, преобладающим является уровень НЭМПК частотой 50 Гц, исследование

структуры излучения дизель-генератора (рис. 5) в третьоктавной полосе частот показывает: в спектре излучения наличие и других частот, уровень которых иногда сравним с уровнем излучения на частоте 50 Гц.

Еще один недостаток напрямую связан с узкой полосой работы аппаратуры КПКП. Иногда по причинам, исследованные которых выходит за рамки данной статьи, появляются высокочастотные колебания в системе АСК. Эти колебания фиксируются в выходном сигнале АСК (рис. 6) как высокочастотная

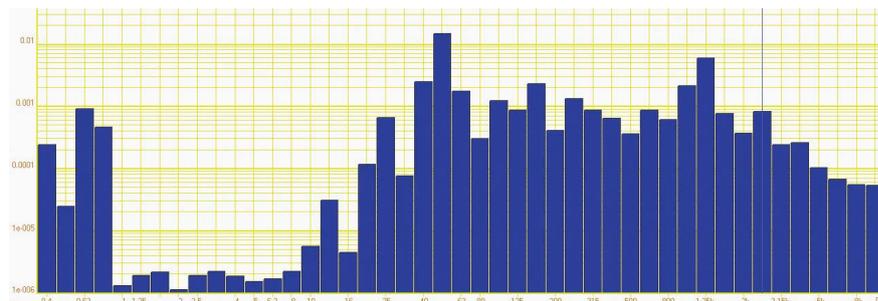


Рис. 5. Спектр излучения дизель-генератора (пример)

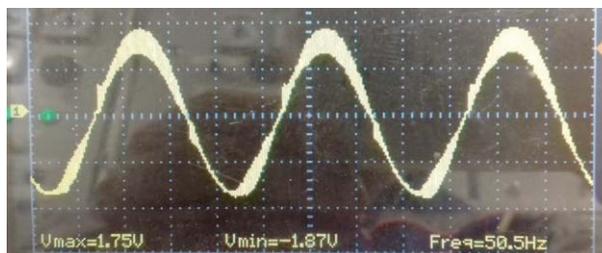


Рис. 6. Автоколебания в системе АСК

модуляция основного сигнала частоты 50 Гц, однако, поскольку паразитная модулирующая частота много выше частоты работы аппаратуры КПКП, при регулировке приходится дополнительно контролировать наличие автоколебаний отдельным прибором, так как аппаратура КПКП зафиксировать их не может.

Также недостатком аппаратуры КПКП является невозможность проверки технического состояния без дополнительного специализированного оборудования. В составе КПКП нет средств самоконтроля, задействовав которые, можно подать на вход калиброванный сигнал и проверить исправность каналов измерения перед использованием по назначению.

И, наконец, габаритные размеры аппаратуры КПКП. Погружная балка в полном снаряжении имеет массу около 100 кг, причем при ее разработке принимается во внимание не столько собственный прогиб, сколько прогиб под действием установленной аппаратуры. Кроме этого, балку сложно эксплуатировать: погружать, выравнивать в погруженном состоянии, передвигать вдоль корпуса заказа, поднимать на борт.

Необходимость наличия более современной модификации аппаратуры КПКП к настоящему моменту назрела.

УЛУЧШЕНИЕ ТАКТИКО-ТЕХНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ АППАРАТУРЫ КПКП

Проведенные специалистами АО «НПФ «Меридиан» исследования и имеющийся научно-технический задел позволили сделать вывод о возможности модернизации аппаратуры КПКП с целью придания ей более высоких эксплуатационных качеств и расширения функциональных возможностей.

На рис. 7 показана структурная схема модернизированной аппаратуры

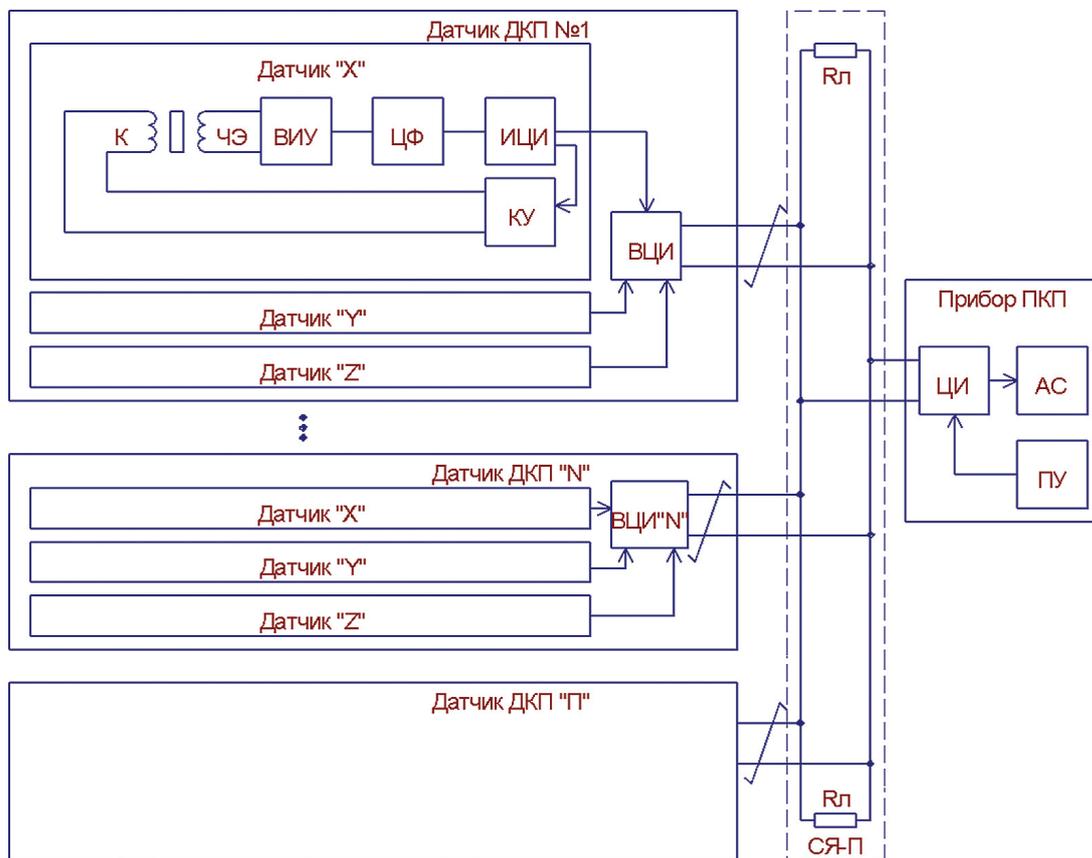


Рис. 7. Структурная схема модернизированной аппаратуры КПКП

КПКП. В датчики ДКП введены чувствительные элементы (ЧЭ) с уменьшенными габаритами в трехкомпонентном ортогонализированном исполнении. Кроме этого, в состав ЧЭ введены калибровочные обмотки (К), питаемые калибровочным устройством (КУ). Канал измерения индукции содержит входной интегрирующий усилитель (ВИУ), цифровой фильтр (ЦФ) и индивидуальный цифровой интерфейс (ИЦИ), обеспечивающий управление режимами «измерение/контроль» и сопряжение с внешними цифровыми интерфейсами (ВЦИ–ВЦИ«N»). Цифровая шина с согласующими сопротивлениями (R_n) формируется внутри модернизированного облегченного соединительного ящика СЯ-П. Затем цифровой сигнал поступает на цифровой интерфейс (ЦИ) модернизированного прибора ПКП, оснащенного панелью управления (ПУ) и анализатором спектра (АС).

Наличие современного анализатора спектра в составе прибора ПКП (либо анализатора, подключаемого отдельно) решает массу задач не только чисто измерительного характера, но также, учитывая возможность представления данных в удобном для восприятия виде, еще и избавляет персонал от необходимости заполнять таблицы измерений «вручную».

Экранные окна анализатора спектра позволяют увеличить или уменьшить количество датчиков ДКП, «на лету» определять максимум и минимум индук-

ции, воспроизводить графики индукции с наложением друг на друга.

Наконец, главное преимущество модернизированной аппаратуры КПКП, принципиально отличающееся от существующей в настоящее время аппаратуры, – датчик ДКП типа «П», показанный на рис. 7. Схемотехнически и конструктивно этот датчик ничем не отличается от других датчиков ДКП, но назначение его иное. Датчик типа «П» устанавливается на некотором удалении от борта заказа и контролирует уровень помехи частоты 50 Гц в акватории, где происходит настройка системы АСК. Сигнал датчика типа «П» синхронизируется с сигналами остальных датчиков ДКП и после процедуры фазового цифрового детектирования снижает в полезном сигнале уровень помехи частоты 50 Гц, ориентировочно на величину до 30 дБ. А это значит, что требования к электромагнитной обстановке в месте проведения настройки АСК могут быть снижены, что немаловажно для построечных работ, сокращения их трудоемкости.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Современная элементная база позволяет наметить дальнейшие пути модернизации аппаратуры КПКП, введя в состав датчиков ДКП глубиномеры для точного позиционирования измерительной части в подводном положении, реперное устройство для привязки измерений к разметке шпангоутов, а

также донную балку с автоматической установкой глубины погружения. Такие нововведения требуют значительной конструктивной переработки аппаратуры, однако при реализации этих предложений аппаратура КПКП может стать единым средством, пригодным не только для эксплуатации в режиме индикатора при настройке АСК кораблей в положении «на стопе», но и прибором, контролирующим качество выполненной настройки в положении «на ходу».

ЛИТЕРАТУРА

1. Valdivia N.P., Williams E.G., Alqadah H. Holographic Imaging of Ship Sources from Silencing Range Signatures // NRL Review. – 2015. – P.178 – 180.
2. Wang J., Li B., Chen L., Li L. A novel method for underwater moving targets by measuring their ELF emissions with inductive sensors // Sensors. – 2017. – Vol.17. – P.1734.
3. Wang J., Li B. Electromagnetic fields generated above a shallow sea by a submerged horizontal electric dipole // IEEE Trans. Antennas Propag. – 2017. – Vol.65. – P. 2707.
4. Liu Q., Sun Z., Jiang R., Zhang J., Zhu K. Electric field detection system based on denoising algorithm and high-speed platform // Sensors. – Vol.22. – P.5118. <https://doi.org/10.3390/s22145118>.
5. Калинин В.И., Светличный В.А. Анализ тенденций развития методов и средств измерения НЭМПК морских технических объектов. – Тр.ВВМИУВ: Итоги науч.-техн.конфер., 2022.
6. Рахматди Ю.А. Физика: силовые поля. – М. ИД «МИСИС», 2009. ■

Исследования скоростного судна, оборудованного носовыми и кормовыми интерцепторами в гидродинамическом канале, показали, что перед интерцепторами создаются зоны повышенного давления. За носовыми интерцепторами появляется воздушная каверна, заполняемая атмосферным воздухом. После этого происходит перераспределение и изменение сил и моментов, действующих на днище судна и существенно уменьшается его смоченная поверхность. В результате на 10–20% уменьшается сопротивление движению судна. Выдвижение кормовых интерцепторов снижает «горб» сопротивления при неблагоприятных носовых и кормовых центровках судна. Так как силы и моменты, действующие на днище судна, зависят не только от скорости движения, но и от величины выдвижения интерцепторов и их положения относительно центра масс, то, побортно секционируя носовые и кормовые интерцепторы и управляя их выдвижением, можно обеспечить оптимальную посадку судна во всем диапазоне движения на волнении, т.е. существенно улучшить ходовые и мореходные характеристики судна.

Для создания системы управления интерцепторами необходима разработка математической модели движения такого судна на волнении. Решение системы нелинейных уравнений с нестационарными параметрами не всегда удается отыскать даже с использованием современной вычислительной техники. Однако практика показала, что можно отыскать частное решение упрощенной системы дифференциальных уравнений, в которой не учитываются некоторые второстепенные факторы, и получить достаточно простую математическую модель, успешное применение которой способствует сокращению сроков и стоимости проектирования, создания и проведения исследований судна с системой управления интерцепторами (СУИ). В работах [1–4] предложена математическая модель судна, построенная на общетеоретических принципах. На ее основании и с использованием имеющейся информации о компоновке судна и параметрах установившихся режимов движения, полученных в результате модельных испытаний в канале, в статье предлагается модель для получения предварительных результатов по качественной оценке динамических характеристик продольного движения судна, оборудованного интерцепторами, движущегося в переходном режиме, когда учитываются как гидростатические, так и гидродинамические силы поддержания, создаваемые корпусом и интерцепторами судна.

АНАЛИЗ СИЛ И МОМЕНТОВ, ДЕЙСТВУЮЩИХ НА СУДНО

1. Гидростатические силы и моменты определяются объемом погруженной части корпуса [1] за вычетом объема, находящегося над «воздушной ямой» (каверной), которая образуется из-за наличия элементов механизации днища судна.
2. Гидродинамические силы и моменты, действующие на носовую и кормовую части корпуса, принимаются эквивалентными силам и моментам, возникающим на глиссирующих пластинах, имеющих площади, размах и удлинение, соответствующие проекциям частей корпуса судна на горизонтальную плоскость, и вычисляются с учетом эффективного удлинения, килеватости пластин, подпора и присоединенных масс жидкости [3–4] в предположении несущественности нестационарных составляющих.
3. Угол глиссирования носовой пластины $\alpha_{г.л.н}$ принимается равным наклону линии, проходящей через точку установки носовых исполнительных органов (ИО) и пересечения килевой линии с уровнем невозмущенной водной поверхности (НВП). Угол глиссирования кормовой пластины $\alpha_{г.л.к}$ принимается равным наклону линии, проходящей через точку

ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ИНТЕРЦЕПТОРАМИ СКОРОСТНОГО СУДНА

Ю.В. Копытов, гл. конструктор, ЗАО «ЦНИИ СМ»,
М.Л. Маршов, канд. техн. наук, доцент,
Д.А. Скороходов, д-р техн. наук, проф.,
 ФГБУН «Институт проблем транспорта имени Н.С. Соломенко» РАН,
 контакт. тел. (812) 640 1051, sudmash@sudmash.ru

установки кормовых ИО и заданную точку пересечения килевой линии с поверхностью возможной «воздушной ямы».

4. Наличие «воздушной ямы» обуславливается возмущением, замыкающимся на днище судна [1, 3]. Предполагается, что яма имеет цилиндрическую поверхность в поперечнике, а параметры волны вычисляются по формулам [1]:

$$y_B = -r_B \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{\lambda_B} \chi_{ко} + \varphi\right) - \text{ордината волнового профиля, (1)}$$

$$\lambda_B = 4 \cdot V \cdot \sqrt{\frac{B_H}{g}} - \text{длина волнового профиля, (2)}$$

$$r_B = \frac{(h_H + \delta_H)}{\sin \varphi} - \text{амплитуда волнового профиля, (3)}$$

$$\varphi = \arctg \left[\frac{2\pi}{4 \cdot \sqrt{\frac{B_H}{g}}} \cdot \frac{\chi_{ко} (h_H + \delta_H)}{V \alpha_{сх.п}} \right] - \text{фаза волнового профиля, (4)}$$

где δ_H – величина выдвижения носового интерцептора, $\alpha_{сх.п} = \alpha_{г.л.н}$ – угол схода потока с носового интерцептора, V – скорость движения судна, B_H , h_H – размах и глубина погружения задней кромки носового интерцептора, $\chi_{ко}$ – длина «воздушной ямы».

5. Длину «воздушной ямы» $\chi_{ко}$ вычисляют по уравнению

$$-h_H - \chi_{ко} \cdot \tg \alpha_{г.л.к} + r_B \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{\lambda_B} \chi_{ко} + \varphi\right), \quad (5)$$

полученному на основании выражений (1–5).

6. На кормовой интерцептор воздействует поток, искривленный из-за наличия «воздушной ямы», на угол скоса

$$\alpha_{сх.к} = \arctg \frac{dy_B}{dx} = \arctg \left[-\frac{r_B \cdot 2\pi}{\lambda_B} \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda_B} \chi_{ко} + \varphi\right) \right]. \quad (6)$$

Предположим далее, что основными составляющими проекции результирующей силы на ось OY (\bar{R}_y) и внешнего момента относительно оси OZ (M_z) являются перечисленные в п. 7–13.

7. Гидростатические составляющие

$$\bar{R}_y^{гс} = Y_{гс} \cdot \cos \vartheta \cong Y_{гс} \left(\vartheta, h_{цт}, \frac{dh_{цт}}{dt} \right) + Y^B; \quad (7)$$

$$\bar{M}_z^{гс} = M_z^{гс} \left(\vartheta, h_{цт}, \frac{d\vartheta}{dt} \right) + M_z^B,$$

где Y^B и M_z^B – составляющие, зависящие от волнения моря.

8. Сила тяжести

$$G_y = -G \cdot \cos \vartheta \cong -G. \quad (8)$$

9. Гидродинамические составляющие, определяемые подъемными силами и моментами пластин,

$$R_{y,н,к} = Y_{н,к} \cdot \cos(\alpha_{г.л.н,к} - \vartheta) \cong Y_{н,к},$$

$$M_{z,н,к} = M_{н,к} + \bar{M}_{н,к} = M_{н,к} + R_{y,н,к} \cdot x_{1,н,к} - R_{x,н,к} \cdot y_{1,н,к} \cong M_{н,к} + Y_{н,к} \cdot \left[x_{1,н,к} + (\alpha_{г.л.н,к} - \vartheta) \cdot y_{1,н,к} \right], \quad (9)$$

где Y_n , Y_k , M_n , M_k – подъемные силы и моменты, возникающие на носовых и кормовых пластинах (интерцепторах); \bar{M}_n ,

\bar{M}_k – приведенные к центру масс моменты от сил Y_n и Y_k ; x_{1n} , x_{1k} , y_{1n} , y_{1k} – координаты центров давления пластин относительно центра масс судна,

$$R_{x,n,k} = -Y_{n,k} \cdot \sin(\alpha_{г.л.н.к} - \vartheta) \cong -Y_{n,k} \cdot (\alpha_{г.л.н.к} - \vartheta). \quad (10)$$

10. Гидродинамические составляющие, определяемые силой Q лобового сопротивления пластин $R_{y,n,k}(Q)$, $M_{z,n,k}(Q)$:

$$R_{y,n,k}(Q) = -C_{r,n,k} \cdot \frac{\rho \cdot V^2}{2} \cdot \lambda_{n,k} \cdot B_{n,k}^2 \cdot \sin(\alpha_{г.л.н.к} - \vartheta) \cong -C_{r,n,k} \cdot \frac{\rho \cdot V^2}{2} \cdot \lambda_{n,k} \cdot B_{n,k}^2 \cdot (\alpha_{г.л.н.к} - \vartheta); \quad (11)$$

$$M_{z,n,k}(Q) = R_{y,n,k}(Q) \cdot x_{1,n,k} - R_{x,n,k}(Q) \cdot y_{1,n,k} \cong C_{r,n,k} \cdot \frac{\rho \cdot V^2}{2} \cdot \lambda_{n,k} \cdot B_{n,k}^2 \cdot [y_{1,n,k} - (\alpha_{г.л.н.к} - \vartheta) \cdot x_{1,n,k}], \quad (12)$$

где $C_{r,n}$, $C_{r,k}$, λ_n , λ_k , B_n , B_k – коэффициенты сил сопротивления пластин, удлинение и ширина носовых и кормовых пластин.

$$R_{x,n,k}(Q) = -C_{r,n,k} \cdot \frac{\rho \cdot V^2}{2} \cdot \lambda_{n,k} \cdot B_{n,k}^2 \cdot \cos(\alpha_{г.л.н.к} - \vartheta) \cong -C_{r,n,k} \cdot \frac{\rho \cdot V^2}{2} \cdot \lambda_{n,k} \cdot B_{n,k}^2. \quad (13)$$

11. Момент от силы аэродинамического сопротивления

$$M_z(Q_a) = R_x(Q_a) \cdot y_a = C_x^a \cdot \frac{\rho \cdot V^2}{2} \cdot S_m \cdot y_a, \quad (14)$$

где C_x^a – коэффициент аэродинамического сопротивления; S_m – площадь мидельного сечения корпуса и надстроек судна; ρ – плотность воздуха; y_a – координата центра давления аэродинамической силы сопротивления.

12. Составляющие силы тяги P движителей

$$R_y(P) = P \cdot \sin \varphi_T, \quad (15)$$

$$M_z(P) = P \cdot (x_p \cdot \sin \varphi_T - y_p \cdot \cos \varphi_T), \quad (16)$$

где x_p , y_p , λ_T – координаты и угол приложения тяги.

13. Составляющие, обусловленные отклонением органов управления,

$$R_y(\delta_{н.к}) = Y_{\delta_{н.к}} \cdot \cos \vartheta \cong Y_{\delta_{н.к}}; \quad (17)$$

$$M_z(\delta_{н.к}) = Y_{\delta_{н.к}} \cdot x_{\delta_{н.к}} - X_{\delta_{н.к}} \cdot y_{\delta_{н.к}}, \quad (18)$$

где Y_{δ_n} , Y_{δ_k} , X_{δ_n} , X_{δ_k} , x_{δ_n} , x_{δ_k} , y_{δ_n} , y_{δ_k} – подъемные силы, силы сопротивления и координаты центров давления, обусловленные отклонением носовых и кормовых органов управления.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КОРТКОПЕРИОДИЧЕСКОГО ПРОДОЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ СУДНА

Линейная математическая модель короткопериодического продольного движения судна в отклонениях от установившегося (сбалансированного) состояния, полученная в результате анализа исходных уравнений пространственного движения абсолютно жесткого твердого диаметрально симметричного тела в условиях применимости метода малых отклонений, записывается в общем виде, как система двух дифференциальных уравнений – сил, действующих по оси OY , и моментов относительно оси OZ :

$$m \left(\frac{dh_{цт}}{dt} + V_{x0} \cdot \frac{dV}{dt} \right) = \bar{R}_y; \quad J_z \cdot \frac{d\vartheta^2}{dt^2} = M_z. \quad (19)$$

В результате линеаризации вышеприведенных зависимостей определены следующие линеаризованные дифференциальные уравнения:

$$m \left(\frac{d\Delta h_{цт}}{dt} + V_{x0} \cdot \frac{d\Delta V}{dt} \right) = Y_0^{rc} + Y_{rc}^{\Delta\vartheta} \cdot \Delta\vartheta + Y_{rc}^{\Delta h_{цт}} \cdot \Delta h_{цт} + Y_{rc}^{\Delta V_y} \cdot \Delta V_y + Y_{rc}^{\Delta V_z} \cdot \Delta V_z + Y_{rc}^{\Delta \omega_z} \cdot \Delta \omega_z + Y_{rc}^{\Delta \omega_z} \cdot \Delta \omega_z + Y_{rc}^{\Delta \alpha_{г.л.и}} \cdot \Delta \alpha_{г.л.и} + R_{yi}(Q)_0 + R_{yi}(P_0) + Y(\delta_i)_0 + Y^{\delta_i} \cdot \Delta \delta_i, \quad (20)$$

$$J_z \cdot \frac{d\Delta \vartheta^2}{dt^2} = M_{z0}^{rc} + M_{rc}^{\Delta\vartheta} \cdot \Delta\vartheta + M_{rc}^{\Delta h_{цт}} \cdot \Delta h_{цт} + M_{rc}^{\Delta \vartheta} \cdot \frac{d\Delta \vartheta}{dt} + M_z^B + M_{0i} + Y_{0i} \cdot \bar{x}_{li} + M_i^{\Delta \alpha_{г.л.и}} \cdot \frac{d^2 \Delta \alpha_{г.л.и}}{dt^2} + \left(M_i^{\alpha_{г.л.и}} + Y_i^{\alpha_{г.л.и}} \cdot \bar{x}_{li} \right) \times \times \Delta \alpha_{г.л.и} + V_i^{\Delta V_y} \cdot \bar{x}_{li} \cdot \frac{d\Delta V_y}{dt} + \left(M_i^{\Delta V_y} + Y_i^{\Delta V_y} \cdot \bar{x}_{li} \right) \cdot \Delta V_y + Y_i^{\omega_z} \cdot \bar{x}_{li} \cdot \frac{d\omega_z}{dt} + \left(M_i^{\omega_z} + Y_i^{\omega_z} \cdot \bar{x}_{li} \right) \cdot \omega_z + M_{zi}(Q)_0 + M_z(Q_a)_0 + M_z(P_0) + M_z(\delta_i)_0 + M_z^{\delta_i} \cdot \Delta \delta_i. \quad (21)$$

Индекс i обозначает соответственно принадлежность к носовым и кормовым интерцепторам.

После замены переменных

$$\frac{d^2 \Delta \alpha_{г.л.и}}{dt^2} = \frac{d^2 \Delta \vartheta}{dt^2}, \quad \Delta \alpha_{г.л.и} = \Delta \vartheta,$$

$$\frac{d\Delta V_y}{dt} = \frac{d^2 \Delta h_{цт}}{dt^2}, \quad \Delta V_y = \frac{d\Delta h_{цт}}{dt},$$

$$\frac{d\omega_z}{dt} = \frac{d^2 \Delta \vartheta}{dt^2}, \quad \omega_z = \frac{d\Delta \vartheta}{dt}$$

и группировки членов в уравнении (20) и (21) получим систему уравнений в отклонениях и запишем ее в операторной форме. Эта система уравнений является линейной математической моделью короткопериодического продольного движения судна:

$$A_{11}(p) \cdot \Delta h_{цт} + A_{12}(p) \cdot \Delta \vartheta = F_{вол.}(t) + B_{1н} \cdot \Delta \delta_n + B_{1к} \cdot \Delta \delta_k; \quad (22)$$

$$A_{21}(p) \cdot \Delta h_{цт} + A_{22}(p) \cdot \Delta \vartheta = M_{вол.}(t) + B_{2н} \cdot \Delta \delta_n + B_{2к} \cdot \Delta \delta_k.$$

Дополнительно получается система уравнений, соответствующая установившемуся (балансировочному) режиму хода судна:

$$Y_0^{rc} - G + Y_{0i} + R_{yi}(Q)_0 + R_{yi}(P_0) + Y(\delta_i)_0 = 0; \quad (23)$$

$$M_{z0}^{rc} + M_{0i} + Y_{0i} \cdot \bar{x}_{li} + M_{zi}(Q)_0 + M_z(Q_a)_0 + M_z(P_0) + M_z(\delta_i)_0 = 0,$$

$$A_{11}(p) = a_{11} p^2 + b_{11} p + c_{11};$$

$$A_{12}(p) = a_{12} p^2 + b_{12} p + c_{12};$$

$$A_{21}(p) = a_{21} p^2 + b_{21} p + c_{21};$$

$$A_{22}(p) = a_{22} p^2 + b_{22} p + c_{22}, \quad (24)$$

$$a_{11} = m - Y_{нк}^{\Delta V_y}, \quad b_{11} = -Y_{нк}^{\Delta V_y} - Y_{rc}^{\Delta V_y}, \quad c_{11} = -Y_{rc}^{\Delta h_{цт}}, \quad (25)$$

$$a_{12} = -Y_{нк}^{\omega_z}, \quad b_{12} = m V_{x0} - Y_{нк}^{\omega_z} - Y_{к}^{\Delta \alpha_{г.л.и}}, \quad (26)$$

$$c_{12} = -Y_{нк}^{\Delta \alpha} - Y_{rc}^{\Delta \alpha} - Y_{к}^{\Delta \alpha_{г.л.и}},$$

$$a_{21} = -M_{зн.к}^{\Delta V_y}, \quad b_{21} = -M_{зн.к}^{\Delta V_y}, \quad c_{21} = M_{зг.к}^{\Delta h_{цт}}, \quad (27)$$

$$a_{22} = J_z - M_{зн.к}^{\omega_z} - M_{зн.к}^{\omega_z}, \quad b_{22} = -M_{зн.к}^{\omega_z} - M_{г.к}^{\omega_z} - M_{зк}^{\omega_z}, \quad (28)$$

$$c_{22} = -M_{зн.к}^{\Delta \alpha} - M_{г.к}^{\Delta \alpha} - M_{зк}^{\Delta \alpha_{г.л.и}}.$$

m , J_z – масса и момент инерции судна; V_{x0} – линейная скорость движения; n , k – индексы, соответствующие носовым и кормовым интерцепторам; $Y_{н.к}^{\Delta V_y}$, $Y_{н.к}^{\Delta V_y}$, $M_{зн.к}^{\Delta V_y}$, $M_{зн.к}^{\Delta V_y}$ – гидродинамические коэффициенты сил и моментов (ГДКСМ), возникающих на носовых и кормовых интерцепторах из-за наличия вертикальных перемещений центра масс судна.

Здесь

$$\left(\begin{array}{l} Y_{н.к}^{\Delta V_y} = Y_{н.к}^{\Delta V_y} + Y_{к.к}^{\Delta V_y}; \quad Y_{н.к}^{\Delta V_y} = Y_{н.к}^{\Delta V_y} + Y_{к.к}^{\Delta V_y}; \\ M_{зн.к}^{\Delta V_y} = M_{зн.к}^{\Delta V_y} + M_{зк.к}^{\Delta V_y}; \quad M_{зн.к}^{\Delta V_y} = M_{зн.к}^{\Delta V_y} + M_{зк.к}^{\Delta V_y} \end{array} \right); \quad (29)$$

$Y_{н.к}^{\Delta \omega_z}$, $Y_{н.к}^{\Delta \omega_z}$, $M_{зн.к}^{\Delta \omega_z}$, $M_{зн.к}^{\Delta \omega_z}$ – ГДКСМ угловых движений относительно поперечной оси OZ ;

$Y_{\kappa}^{\Delta\alpha_{\text{ск.к}}}, Y_{\kappa}^{\Delta\alpha_{\text{ск.к}}}, M_{\text{зк}}^{\Delta\alpha_{\text{ск.к}}}, M_{\text{зк}}^{\Delta\alpha_{\text{ск.к}}}$ – ГДКСМ, обусловленные изменением угла скоса потока на кормовых интерцепторах;
 $Y_{\text{н,к}}^{\Delta\alpha}, Y_{\text{н,к}}^{\Delta\alpha}, M_{\text{зн,к}}^{\Delta\alpha}$ – ГДКСМ, возникающие при изменении угла глиссирования;
 $Y_{\text{гс}}^{\Delta h_{\text{цг}}}, Y_{\text{гс}}^{\Delta h_{\text{цг}}}, M_{\text{гс}}^{\Delta h_{\text{цг}}}, M_{\text{гс}}^{\Delta h_{\text{цг}}}$ – ГСКСМ, создаваемых корпусом судна;
 $Y_{\text{гс}}^{\Delta y}, Y_{\text{гс}}^{\Delta y}$ – ГСКСМ, определяющие демпфирование вертикальных и угловых колебаний судна при $V_x = 0$;

$F_{\text{вол.}}(t), M_{\text{вол.}}(t)$ – возмущающие сила и момент относительно центра масс (поддержания), обусловленные волнением моря;
 $B_{1\text{н}} = Y_{1\text{н}}^{\delta_{\text{н}}}, B_{1\text{н}} = Y_{1\text{н}}^{\delta_{\text{н}}}, B_{2\text{н}} = M_{2\text{н}}^{\delta_{\text{н}}}, B_{2\text{н}} = M_{2\text{н}}^{\delta_{\text{н}}}$ – ГДКСМ, создаваемые отклонением носовых и кормовых интерцепторов;

G – сила веса (водоизмещение) судна; $Y_0^{\text{гс}}, M_{z0}^{\text{гс}}$ – гидростатические сила и момент относительно центра масс; $V_{0i}, M_{z0i} = Y_{0i} \cdot x_{1c}$ – гидродинамические подъемные силы (поддержания), создаваемые носовыми и кормовыми интерцепторами и приведённые к центру масс соответствующие им моменты;

$R_{y_i}(Q)_0, R_y(P)_0, M_{z_i}(Q)_0, M_z(P)_0$ – проекции на ось OY сил гидродинамического сопротивления интерцепторов и тяги движителей и соответствующие им моменты;

$M_t(Q)_0$ – момент аэродинамической силы сопротивления;

$Y(\delta_i), M_z(\delta_i)_0$ – гидродинамические силы и моменты, возникающие при отклонении носовых и кормовых интерцепторов.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СКОРОСТНОГО СУДНА, ОБОРУДОВАННОГО ИНТЕРЦЕПТОРАМИ

Математическая модель продольного движения была разработана для скоростного судна водоизмещением 250 т. Результаты теоретических исследований математической модели представлены в табл. 1.

Алгоритмы управления СУИ имели следующий вид:

$$\sigma_{\text{л,п}}^{\text{н}} = K_1^{\theta} \cdot \Delta\theta + K_2^{\theta} \cdot \frac{d\Delta\theta}{dt} - K_{\text{ос}}^{\text{н}} \cdot h_{\text{л,п}}^{\text{н}}; \quad (30)$$

$$\sigma_{\text{л,п}}^{\text{к}} = K_1^{\psi} \cdot \Delta\psi + K_2^{\psi} \cdot \frac{d\Delta\psi}{dt} - K_{\text{ос}}^{\text{к}} \cdot h_{\text{л,п}}^{\text{к}}; \quad (31)$$

где $\sigma_{\text{л,п}}^{\text{н}}, \sigma_{\text{л,п}}^{\text{к}}$ – алгоритмы управления соответственно носовыми левым и правым интерцепторами и кормовыми левым и правым интерцепторами, $K_1^{\theta}, K_2^{\theta}, K_1^{\psi}, K_2^{\psi}$ – коэффициенты усиления алгоритмов управления; $\Delta\theta, \Delta\psi$ – соответ-

ственно отклонение угла крена от нулевого положения и угла дифферента от установившегося значения, обеспечивающего максимальную скорость хода; $K_{\text{ос}}^{\text{н}}, K_{\text{ос}}^{\text{к}}$ – коэффициенты обратной связи по величине выдвигания носовых и кормовых интерцепторов; $h_{\text{л,п}}^{\text{н}}, h_{\text{л,п}}^{\text{к}}$ – величины выдвигания носовых и кормовых интерцепторов.

Исследования проводились для волнения моря 3 балла 3%-ной обеспеченности. Результаты математического моделирования показали, что умерение килевой качки составляло 1,1–1,5 раза в зависимости от курсового угла движения к волне. На тихой воде симметричные относительно диаметральной плоскости судна выдвигания интерцепторов, обеспечивающие его оптимальную посадку, позволяют на 20–30% снизить сопротивление воды движению, что может при соответствующем выборе движителей обеспечить прирост скорости полного хода на 3–4 уз.

По результатам теоретических исследований высокоскоростное глиссирующее судно массой 190 т [5] было оборудовано побортно расположенными носовыми и кормовыми интерцепторами с приводами и системой управления интерцепторами. СУИ содержала пульт управления, формирующий алгоритмы управления интерцепторами, блок датчиков, обеспечивающих выдачу информации в пульт управления по крену и дифференту судна, установленный в центре масс судна, и следящих приводов, каждый из которых с помощью тяг и качалок шарнирно соединен с соответствующими секциями интерцепторов.

Результаты испытаний судна представлены в табл. 2 и на рис. 1 и рис. 2. Испытания проводились с выключенной и включенной системой управления при движении судна на скорости 30 уз и 40 уз при волнении моря 3 балла 3%-ной обеспеченности.

Как видно из табл. 2, СУИ обеспечивает умерение бортовой качки в 2–5 раза и в 1,1–1,5 раза – килевой качки. Кроме того, за счет уменьшения сопротивления движению судна его скорость увеличивается на 3–12 % в зависимости от курсового угла движения к волне. Это подтверждает данные математического моделирования продольного движения судна. Повысились условия обитаемости персонала, заключающиеся в минимизации боковых и вертикальных перегрузок, что позволило свободно перемещаться по судну и управлять его техническими средствами.

Кроме того, испытания на волнении показали, что при работающих интерцепторах в 1,5–3 раза улучшаются курсовая устойчивость движения судна, а также его маневренные характеристики; испытания судов с убранными носовыми

Результаты теоретических исследований математической модели судна с интерцепторами

Таблица 1

Характеристика	Скорость, уз					
	30			40		
КУВ, град.	70	135	180	70	135	180
Макс. дифферент без СУИ*	4,0	5,4	6,2	3,7	5,3	5,8
Макс. дифферент с СУИ	3,6	4,5	4,7	3,1	3,5	3,8
Кратность умерения дифферента	1,1	1,2	1,25	1,2	1,5	1,5

*СУИ – система управления интерцепторами.

Результаты испытаний глиссирующего судна с интерцепторами

Таблица 2

Характеристика	Скорость, уз					
	30			40		
КУВ, град.	70	135	180	70	135	180
Макс. крен без СУИ	11,9	7,2	3,1	13,7	6,6	2,0
Макс. крен с СУИ	6,2	2,6	0,9	4,4	2,0	0,5
Кратность умерения крена	1,9	2,7	3,5	3,1	3,3	4,5
Макс. дифферент без СУИ	3,4	5,1	6,1	3,4	5,3	6,0
Макс. дифферент с СУИ	3,1	3,8	4,4	3,1	3,5	4,0
Кратность умерения дифферента	1,1	1,32	1,4	1,1	1,5	1,5

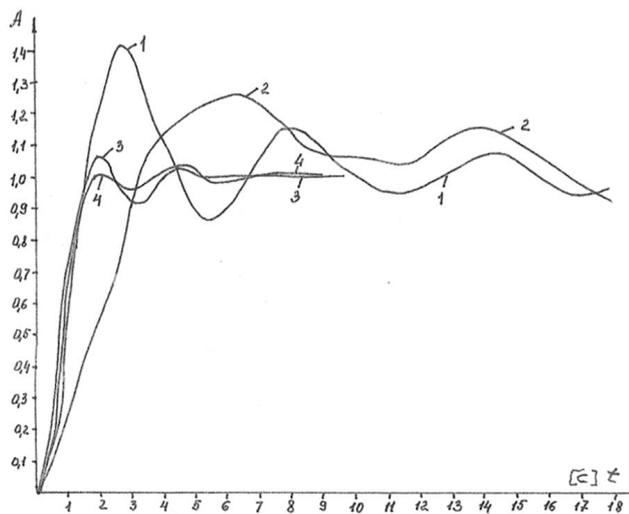


Рис. 1. Переходные процессы по крену
1, 2 – при выключенной системе управления, 3, 4 – при включенной системе управления; скорость хода – 32 уз, волнение моря – 3 балла 3%-ной обеспеченности

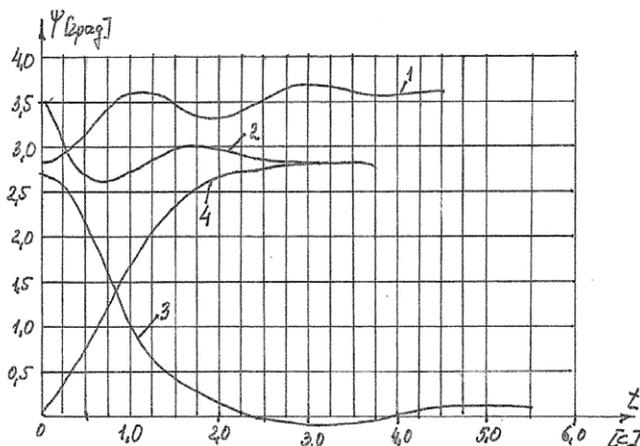


Рис. 2. Переходные процессы по дифференту
1 – выдвигание кормовых интерцепторов равно 0 мм, выдвигание носовых интерцепторов составляет от 0 до 120 мм; 2 – выдвигание кормовых интерцепторов равно 0 мм, выдвигание носовых интерцепторов составляет от 120 до 0 мм; 3 – выдвигание кормовых интерцепторов составляет от 0 до 90 мм, выдвигание носовых интерцепторов равно 0 мм; 4 – выдвигание кормовых интерцепторов составляет от 90 до 0 мм, выдвигание носовых интерцепторов равно 0 мм. Скорость судна – 32 уз, волнение моря – 3 балла 3%-ной обеспеченности

интерцепторами на переходных режимах движения показали, что при углах перекаладки рулей 20° время циркуляции уменьшилось в 1,5 раза с соответствующим уменьшением крена.

Из рис. 1 видно, что при выключенной системе управления интерцепторами переходный процесс по крену носит резко колебательный характер с большой амплитудой перерегулирования и сохраняет колебательность процесса более чем 18 с. При включенной системе управления амплитуда перерегулирования в 8 раз меньше, чем при выключенной системе управления интерцепторами, а колебательный процесс прекращается практически на 7 с.

Из рис. 2 видно, что наилучшим режимом управления по достижению требуемого дифферента, является режим 4, при котором процесс установления дифферента происходит плавно без перерегулирования и колебательности.

Современная система управления интерцепторами [6, 7] в комплекте с исполнительными приводами предназначена для автоматического умерения бортовой и килевой качки, для оптимизации параметров движения судна и исполнительных органов системы по критерию минимума гидродинамического сопротивления. Эта система получает информацию о поло-

жении корпуса от датчиков, измеряющих крен, дифферент и угловые скорости изменения этих величин. Далее в зависимости от скорости движения, крена, дифферента, сигналов от датчиков ускорений, сигналов о прямолинейном движении или циркуляции (развороте) формируются управляющие воздействия на интерцепторы. Управление осуществляется в автоматизированном режиме из рулевой рубки. Обмен данными между основным и резервным приборами вычислительными и рабочей станцией осуществляется по каналу Ethernet. Система обеспечивает:

- управление положением интерцепторов в зависимости от скорости хода судна, вводимой оператором загрузки судна и балльности волнения и по информации от датчиков параметров движения (умерение качки);
- обмен информацией с другими установленными на судне системами автоматизации;
- контроль параметров движения судна с выработкой предупредительной сигнализации в случае возникновения опасных режимов;
- предоставление информации на дисплее рабочей станции о текущих положениях органов управления и параметрах движения судна, хранение архивных данных.

Недостатками представляемых систем управления является то, что отсутствует информация об уравнениях движения, по которым можно проверить работоспособность предлагаемых систем управления, и отсутствуют конкретные данные эффективности работы системы управления.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотрены особенности формирования дифференциальных уравнений движения скоростного судна, оборудованного интерцепторами, которые позволяют интерпретировать их для любого судна данного типа.

Предлагаемый подход к математическому моделированию позволяет создать ряд достаточно простых как линейных, так и нелинейных имитационных моделей пространственного движения скоростного судна с интерцепторами, позволяющих решить задачи синтеза алгоритмов управления.

Представлены результаты моделирования на основе линейризованных уравнений движения судна с интерцепторами и системой управления ими, которые показали ее эффективность.

Представлены результаты экспериментальных испытаний, которые подтвердили теоретические исследования и необходимость установки интерцепторов и системы управления ими для повышения эффективности эксплуатации подобных судов.

Анализ представляемых современных систем управления интерцепторами из-за отсутствия результатов испытаний систем в реальных условиях вызывает сомнение в их эффективности по повышению ходовых качеств и умерению качки судов подобного типа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кользаев Б.А., Литвиненко А.И., Косоруков А.И. Справочник по проектированию судов с динамическими принципами поддержания. – Л.: Судостроение, 1980.
2. Справочник по теории корабля/ Под ред. Я.И. Войткунского – Л.: Судостроение, 1985.
3. Эпштейн Л.А. Устойчивость глиссирования гидросамолетов и глиссеров// Тр.ЦАГИ, 1941. – Вып. 500.
4. Егоров К.Т., Соколов В.Т. Гидродинамика быстроходных судов. – Л.: Судостроение, 1965.
5. Интерцепторы – средство управления гидродинамическими параметрами быстроходного судна. – Раздел Судостроение: http://www.barque.ru/shipbuilding/2000/interceptors_for_controlling_hydrodynamic_parameters
6. <http://www.ec.ru> (АО «ИЦИУС»), 2023.
7. <http://mordiesel.ru>. 2023. ■

За последние десятилетия технологии в области сбора, контроля, обработки и последующего хранения информации стремительно развиваются. Непрерывное технологическое усложнение информационно-вычислительных систем (ИВС), развитие технологий и научных исследований приводит к необходимости одновременного задания, измерения, корректировки и контроля значительно количества физических параметров. Это порождает собой сложную, разветвленную структуру системы, все элементы которой должны быть совместимы, работать слаженно, а неисправность одного не должна приводить к выходу из строя остальных элементов.

ИВС представляют собой совокупность программно-управляемых измерительных и вычислительных средств, и средств воздействия на исследуемый объект. Они являются автоматизированными средствами измерения и обработки информации и универсальным ядром системы. В конфигурацию информационных систем, как правило, входят средства измерения, вычислительная техника, вспомогательные устройства, специализированное программное обеспечение, а также каналы, обеспечивающие непрерывную связь всех составляющих частей.

Развитие информационных систем происходит по спиральной траектории (рис. 1), когда решение одной проблемы порождает следующую, и после решения нескольких последующих задач снова возникает изначальная проблема. Это обусловлено наличием большого количества элементов, их взаимосвязью между собой, их частным и общим вкладом в работоспособность системы. Рассмотрим этот вопрос подробнее.

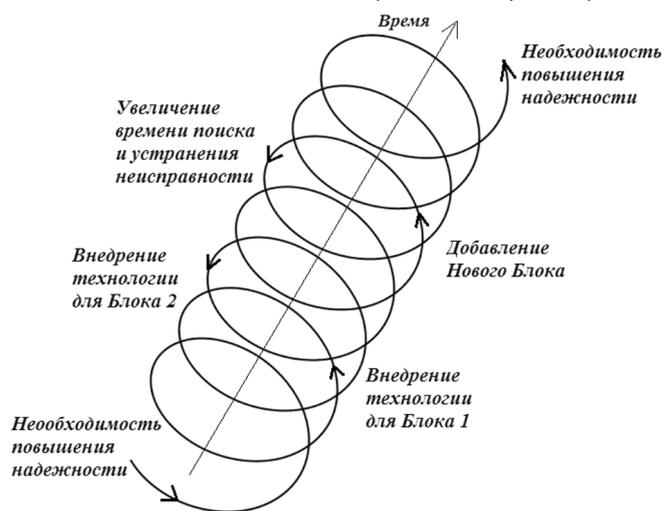


Рис. 1. Временная спираль развития ИВС

Повышение надежности всех элементов ИВС происходит за счет добавления в нее новых узлов, элементов и блоков. Добавление новых составных частей или усложнение старых неизменно приводит к увеличению времени на поиск неисправности в системе или на ее диагностику и устранение. Вышеперечисленное ведет к увеличению времени простоя оборудования, а значит, к снижению его экономической и производственной эффективности, что может в дальнейшем привести к отказу от использования такого оборудования. Постоянное возрастание объема и сложности используемых компонентов является одной из основных причин отказов.

При невозможности повышения надежности элементов ИВС, сокращение времени простоя оборудования может

МОДЕЛЬ ВЫБОРА МЕТОДА ДИАГНОСТИКИ НЕИСПРАВНОСТЕЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ ИЗ НАБОРА АЛЬТЕРНАТИВ

В.Г. Пушин, канд. техн. наук, начальник ИТЛ,
В.В. Филиппов, начальник НИЛ,
Л.А. Просвирякова, инженер,
 АО «Концерн «Гранит-Электрон»,
 контакт. тел. (812) 578 9440

быть обеспечено быстрым определением причины и места отказа.

В ИВС одним из наиболее встречаемых и легко диагностируемых отказов является разрыв электрической цепи. Часто отказ в данном случае вызван неправильной стыковкой входящих в состав комплекса элементов, механическим повреждением контактов, замыканием контактов посторонними предметами, повреждением стыковочных кабелей.

При возникновении отказа в работе электрической цепи прибегают к ее технической диагностике. Основными задачами технической диагностики является поиск участка цепи, где произошла ошибка и установление причины ее возникновения. Желательным результатом является устранение неисправности в возможно короткий срок с сохранением необходимого качества работ. На практике для нахождения участка цепи, где произошел отказ целесообразно использовать один из предлагаемых ниже методов диагностики неисправностей: прямого перебора; бисекции; «золотого сечения». Рассмотрим их подробнее.

Метод прямого перебора (простая последовательная проверка) является простейшим методом поиска значений функции. Все значения функции последовательно сравниваются с неким априорным значением – максимумом, минимумом, константой и др.

Представим электрическую цепь как последовательность из n участков и X_i элементов, где $i = 1, 2, 3, \dots, n, n \in N$ (множество целых чисел), а вероятность отказа p каждого из элементов неизвестна (рис. 2). Цепь разделяется на участки элементами и имеет соответственно $n - 1$ участков. Если участок цепи до некоего элемента X_i является рабочим, а сразу после элемента уже нет, то считаем, что элемент X_i неисправен.



Рис. 2. Цепь, вероятность отказа элементов которой неизвестна

Суть метода заключается в том, что все участки цепи, разделенные элементами, проверяются последовательно по порядку включения. Проверка продолжается до обнаружения неисправного элемента. То есть сначала мы проверим участок от X_1 до X_2 , потом от X_2 до X_3 и т.д. до X_n . Тогда максимальное количество производимых исследований

$$S_{\max} = n - 1.$$

Данный метод характеризуется большими временными затратами, однако максимально прост в применении. Для сокращения времени поиска участка цепи с отказом на практике часто используют симметричные методы поиска экстремума функции, такие как метод бисекции (деление отрезка пополам) и метод «золотого сечения».

Метод бисекции является самым простым из численных методов решения нелинейных уравнений вида $f(x) = 0$, где $f(x)$ непрерывна. Поиск основывается на теореме Больцано–Коши о промежуточных значениях. Для соответствия теореме функция должна принимать разные значения на концах отрезка. Если рассматривать электрическую цепь с появившейся в ней

«ошибкой» как функцию, то начало цепи будет иметь значение «1» (исправна), а конец цепи – «0» (неисправна). Тогда задача поиска экстремума функции, т.е. точки, где функция поменяет свое значение с 1 на 0, является задачей поиска отказавшего элемента в цепи.

Представим электрическую цепь как последовательность из n участков и X_i элементов, где $i = 1, 2, 3, \dots, n, n \in N$ (множество целых чисел) с равной вероятностью отказа входящих в нее элементов (рис. 3).

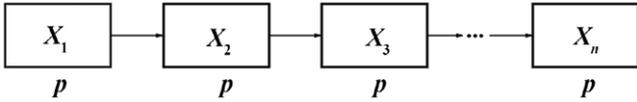


Рис. 3. Цепь с равной вероятностью отказа входящих в нее элементов

При равной вероятности отказа p элементов, входящих в цепь, оптимальным методом поиска неисправности будет метод бисекции. Если $n \bmod 2 = 1$, то для проверки выбирают элемент с номером $k = \frac{n+1}{2} + 1$. Если $n \bmod 2 = 0$, то $k = \frac{n}{2} + 1$.

Участок цепи до выбранного элемента подвергают испытаниям, по результатам которых принимают решение о дальнейших действиях. Если участок цепи до элемента X_k прошел проверку, т.е. признан рабочим, исследования повторяются на участке цепи от $i = k$ до $i = n$ до тех пор, пока не будет найден отказавший элемент. Если участок цепи до этого элемента признан неисправным, то исследования повторяют на участке от $i = 1$ до $i = k$. Максимальное количество производимых исследований будет вычисляться по формуле

$$S_{\max} \geq \log_2 n.$$

Алгоритм поиска неисправности методом бисекции можно представить в виде графа (рис. 4).

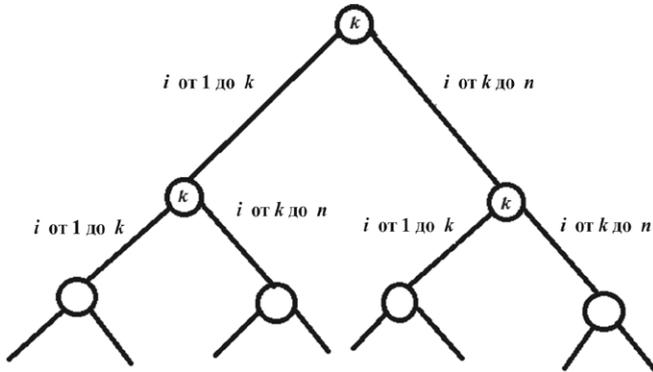


Рис. 4. Алгоритм поиска неисправности методом бисекции

Метод «золотого сечения». Как известно, в математике «золотое сечение» предполагает деление отрезка на две неравные части в пропорции 1:1,618... В случае с электрической цепью метод «золотого сечения» основан на предположении наличия на одном из участков цепи одного или нескольких элементов «идеальных» для отказа. Это может быть наиболее сложный элемент, элемент ненадлежащего качества или элемент, подвергающийся наибольшей физической, электрической, функциональной нагрузке и т.д. Метод «золотого сечения» – это метод использования наилучшего и единственного в своем роде решения – поиска на одном из участков цепи экстремума функции $f(x) = 0$, где $f(x)$ непрерывна.

Представим электрическую цепь как последовательность из n узлов X_i элементов, где $i = 1, 2, 3, \dots, n$. Известно, что вероятность отказа p определенных элементов больше, чем у других (рис. 5), т.е.

$$p_i \geq p_{i+1},$$

где $c \in N$ – (множество целых чисел).

В этом случае для диагностики применяют метод «золотого сечения». Первым проверяют участок цепи от $i = 1$ до $i = T_0$, где T_0 равно номеру элемента, у которого $p = \max$. Если этот участок цепи прошел проверку, то на участке цепи от $i = T_0$ до $i = n$ находят следующий элемент X_p , у которого $p = \max$ и проверяют участок цепи от $i = 1$ до $i = T_1$. Если участок цепи от $i = 1$ до $i = T_0$ не прошел проверку, то дальнейший поиск элемента с $p = \max$ производится на этом же участке цепи. В этом случае максимальное количество производимых исследований равно

$$S_{\max} = n - 1.$$

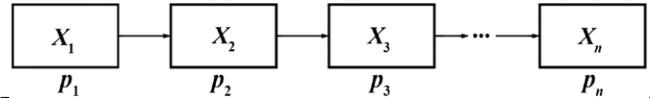


Рис. 5. Цепь с элементами, имеющими различную вероятность отказа

Алгоритм поиска неисправности методом «золотого сечения» можно представить в виде графа (рис. 6). Широкие ребра графа отображают участок цепи с максимальной вероятностью отказа.

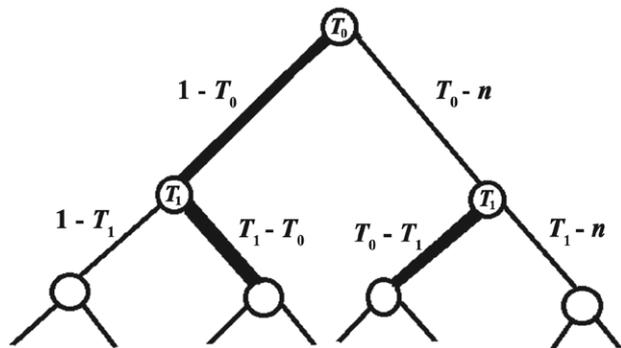


Рис. 6. Алгоритм поиска неисправности методом «золотого сечения»

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При выборе метода диагностики неисправностей электрической цепи необходимо оценить степень подготовленности персонала и временные затраты. Модель формализует и позволяет снизить трудоемкость процесса выбора метода диагностики неисправностей для лица, принимающего решения. За счет сочетания математических методов и экспертных оценок модель позволяет повысить обоснованность выбора метода диагностики неисправностей и, как следствие, предупредить возникновение технической ошибки выбора.

Для использования метода «золотого сечения» необходимо знать хотя бы один элемент с большей вероятностью отказа, что подразумевает под собой более глубокие знания исследуемой цепи, входящих в нее узлов, и, возможно, устройства, содержащего эту цепь. Метод бисекции, наоборот, не требует каких-либо специальных знаний, но занимает более длительное время, чем метод «золотого сечения».

Таким образом, в общем случае можно считать метод бисекции более предпочтительным, но если исследование требует больших трудозатрат, следует обратить внимание на метод «золотого сечения».

ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов Ю.П., Никитин В.Г., Чернов В.Ю. Контроль и диагностика вычислительных комплексов: Учеб. пособие. – СПб.: СПбГУАП, 2004. – 98 с.
2. Волков Е.А. Методы решения нелинейных уравнений и систем: Учеб. пособие. – М.: Наука, 1987. – 248 с. ■

В системе управления, изображенной на рис. 1, информация передается между постами КП_i по двум каналам связи j, образованным витыми парами, проложенным от поста к посту – называем их линиями связи (ЛС). Передачу данных обеспечивают двухканальные модули CAN, входящие в состав аппаратуры постов КП_i. Выходы одноименных каналов модулей через ЛС_i последовательно соединены друг с другом через соответствующие контакты разъемов. Схема резервированной сети CAN (см. рис. 1) состоит из пяти ЛС в каждом канале, последовательно соединенных друг с другом.

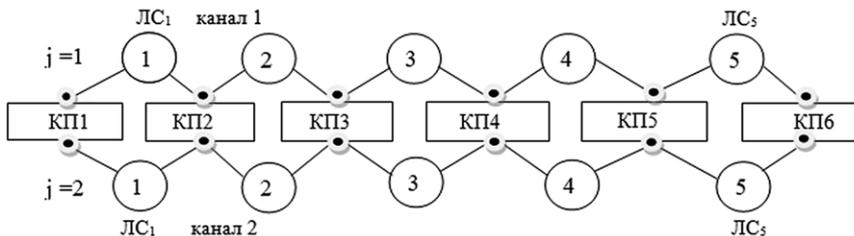


Рис. 1. Сеть CAN со структурным резервированием

Надежность аппаратуры постов не учитываем по следующим причинам:

- нас интересует только надежность сети CAN при внезапных обрывах ЛС_i, которые могут возникнуть при столкновении с неприятелем;
- цель статьи – показать выигрыш надежности информационного резервирования при сохранении структуры сети CAN.

При последовательном соединении ЛС_i вероятность безотказной работы (ВБР) канала j CAN равна произведению ВБР ЛС_i:

$$P_j = P_1 \cdot P_2 \cdot P_3 \cdot P_4 \cdot P_5 = \prod_{i=1}^5 P_i, \quad (1.1)$$

где P_i – ВБР ЛС_i.

Вероятность отказа канала j

$$Q_j = 1 - P_j = 1 - \prod_{i=1}^5 P_i. \quad (1.2)$$

При параллельном соединении каналов отказ сети CAN произойдет при одновременном отказе обоих каналов с вероятностью

$$Q = Q_1 \cdot Q_2. \quad (1.3)$$

ВБР структурно-резервированной сети CAN:

$$P = 1 - Q = 1 - Q_1 \cdot Q_2 = 1 - (1 - \prod_{i=1}^5 P_i)^2. \quad (1.4)$$

При одинаковой надежности всех соединений $P_i = p$:

$$P = 1 - (1 - p^5)^2 = 2p^5 - p^{10}. \quad (1.5)$$

Для определенности примем $p = 0,987$, тогда

$$P = 1 - (1 - 0,987^5)^2 = 1 - (1 - 0,93666817)^2 = 1 - 0,00401092 = 0,99598908.$$

ВОПРОСЫ НАДЕЖНОСТИ СЕТИ CAN СО СТРУКТУРНО-ИНФОРМАЦИОННЫМ РЕЗЕРВИРОВАНИЕМ

П.Г. Федоров, канд. техн. наук, зам. ген. директора по науке,
Ю.А. Ушев, вед. программист, АО «МНС»,
контакт. тел. (812) 320 3840

ВБР структурно-резервированной сети CAN

$$P = 0,99598908, Q = 0,00401092.$$

Для сравнения: ВБР нерезервированной системы

$$P_{н1} = 0,93666817, Q_{н1} = 0,06333183.$$

Выигрыш надежности структурного резервирования по отношению к одноканальной системе без резервирования $Q_{н1}/Q = 0,06333/0,00401 \sim 15$ раз.

Этот метод базируется на теореме математической логики о разложении функции логики по любому аргументу (Л1).

Применительно к задачам надежности эта теорема может быть сформулирована следующим образом:

$$P = q_i \cdot P(c_i = 0) + p_i \cdot P(c_i = 1), \quad (2.1)$$

где P_{c_i} – ВБР особого элемента c_i ; $q_{c_i} = 1 - p_{c_i}$ – вероятность отказа особого элемента c_i ; $P(c_i = 0)$ – ВБР системы при условии, что c_i элемент отказал; $P(c_i = 1)$ – ВБР системы при условии, что c_i элемент абсолютно надежен.

Для описания таких схем применяют две гипотезы:

H_1 (рис. 3) = все элементы C_i отказали;

H_2 (рис. 4) = элементы C_i работоспособны и пропускают дополнительную информацию.

Запишем формулу

$$P = P_{H1} + P_{H2}, \quad (2.1)$$

где $P_{H1} = q_{c_i} \cdot P(c_i = 0)$, $P_{H2} = p_{c_i} \cdot P(c_i = 1)$.

Расчет надежности схемы, соответствующей гипотезе H_1 (см. рис. 3)

Из формулы (1.5) для параллельно-последовательного соединения

$$P_{H1} = q_{c_i} (2p^5 - p^{10}) = q \cdot (2p^5 - p^{10}) = (1 - p) \cdot (2p^5 - p^{10}), \quad (2.2)$$

где при одинаковой надежности элементов $q_{c_i} = q = 1 - p$.

Расчет надежности схемы, соответствующей гипотезе H_2 (см. рис. 4)

НАДЕЖНОСТЬ ИНФОРМАЦИОННО-РЕЗЕРВИРОВАННОЙ ДВУХКАНАЛЬНОЙ СЕТИ CAN

Схема, изображенная на рис. 2, представляет собой схему с мостиками C_i . Для расчета надежности системы, которая не может быть сведена к последовательно-параллельному варианту, можно использовать метод разложения относительно особого элемента.

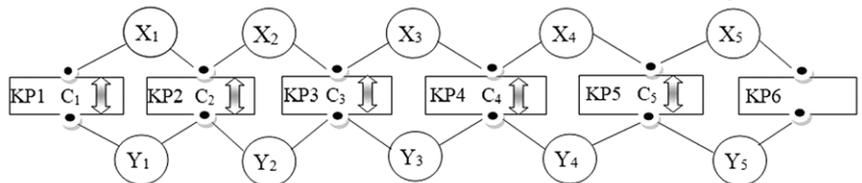


Рис. 2. Сеть CAN со структурным и информационным резервированием

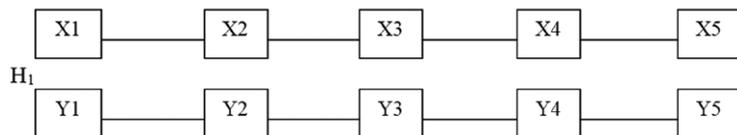


Рис. 3. Элементы C_i достоверно отказали (не пропускают никакой информации)

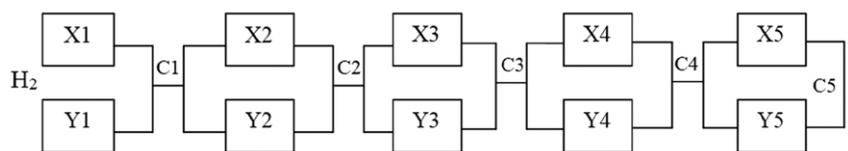


Рис. 4. Элементы C_i достоверно работоспособны (пропускают информацию)

Логическая функция работоспособности системы F_{H2} , состоящей из последовательной цепочки параллельных пар соединений X_p, Y_i :

$$F_{H2} = (X_1 + Y_1) \cdot (X_2 + Y_2) \times (X_3 + Y_3) \cdot (X_4 + Y_4) \cdot (X_5 + Y_5); \quad (2.3)$$

$$P(F_{H2}) = P((X_1 + Y_1) \cdot (X_2 + Y_2) \cdot (X_3 + Y_3) \times (X_4 + Y_4) \cdot (X_5 + Y_5)) = P(X_1 + Y_1) \cdot P(X_2 + Y_2) \times P(X_3 + Y_3) \cdot P(X_4 + Y_4) \cdot P(X_5 + Y_5) =$$

$$= (1 - P(\underline{X}_1) \cdot P(\underline{Y}_1)) \cdot (1 - P(\underline{X}_2) \cdot P(\underline{Y}_2)) \times (1 - P(\underline{X}_3) \cdot P(\underline{Y}_3)) \times (1 - P(\underline{X}_4) \cdot P(\underline{Y}_4)) \times (1 - P(\underline{X}_5) \cdot P(\underline{Y}_5)) =$$

$$(1 - q_{x1}q_{y1}) \times (1 - q_{x2}q_{y2}) \cdot (1 - q_{x3}q_{y3}) \cdot (1 - q_{x4}q_{y4}) \times (1 - q_{x5}q_{y5}),$$

где X_p, Y_i – событие ЛС_i работает (пропускает информацию); $\underline{X}_p, \underline{Y}_i$ – событие ЛС_i отказала (не пропускает информацию).

При одинаковой надежности элементов $q_{xip} = q_{yij} = q = 1 - p, p_{ci} = p$

$$P(F_{H2}) = (1 - q^2)^5;$$

$$P_{H2} = p \cdot P(F_{H2}) = p \cdot (1 - q^2)^5. \quad (2.4)$$

Тогда по формуле полной вероятности надежность схемы (см. рис. 2)

$$P = P_{H1} + P_{H2} = (1 - p) \cdot (2p^5 - p^{10}) + p \cdot (1 - q^2)^5;$$

$$P = (1 - p)(2p^5 - p^{10}) + p(1 - (1 - p)^2)^5 \quad (2.5)$$

при $p = 0,987, P_{H2} = 0,987 \cdot (1 - 0,013^2)^5 = 0,98616627$.

Надежность информационно-резервированной двухканальной сети CAN при $p = 0,987$

$$P = P_{H1} + P_{H2} = 0,01294786 + 0,98616627 = 0,99911412;$$

$$Q = 1 - P = 0,00088588.$$

ВЫВОДЫ

1. Выигрыш надежности (Л2) структурного и информационного резервирования по отношению к структурному резервированию:

$$Q/Q_s = 0,00401092/0,00088588 \sim 4,5 \text{ раза.}$$

2. Выигрыш надежности структурного резервирования по отношению к системе без резервирования

$$Q/Q_s = 0,06333/0,00401 \sim 15 \text{ раз.}$$

3. Выигрыш надежности структурного и информационного резервирования по отношению к системе без резервирования

$$Q/Q_N = 0,06333/0,00088588 \sim 71 \text{ раз.}$$

РЕАЛИЗАЦИЯ СТРУКТУРНО-РЕЗЕРВИРОВАННОЙ СЕТИ CAN АСМТ

В автоматизированной системе машинных телеграфов (АСМТ), успешно работающих на всех заказах, рабочая информация передается по двухканальному интерфейсу CAN. Каждый канал представляет собой последовательно соединенные витыми парами модули МКАН2А, входящие в аппаратуру постов KP_i . Двухпроводные линии связи X_p, Y_i соединяют выходные разъемы каналов модулей.

Программное обеспечение (ПО), осуществляющее взаимодействие между постами KP_i , использует библиотеки CANopen. ПО ориентировано на работу со структурно-резервированной двухканальной сетью CAN и имеет следующие свойства:

- а) Система передачи данных исправна, если все линии связи X_p, Y_i между постами целы в обоих каналах и исправны модули МКАН2А. В каждом посту KP_i передача данных осуществляется по основному каналу, при этом постоянно контролируется правильность работы соответствующих ЛС X_p, Y_i обоих каналов. Если в обоих каналах МКАН2А поста KP_i ошибки передачи данных отсутствуют, а это означает, что все ЛС X_p, Y_i исправны, неисправность CAN в KP_i не индицируется.
- б) Если один из каналов МКАН2А поста KP_i оказался оторванным от одноименного канала сети CAN из-за обрыва X_i или Y_i , осуществляется передача данных по другому, резервному каналу. Если в резервном канале передача проходит нормально, т. е. все ЛС_i канала целы, вырабатывается признак не критической неисправности. Работа системы не нарушается, при этом в посту KP_i , который потерял связь с CAN по одному из каналов, засвечивается без мигания светодиод отказа CAN со звуковым сигналом, который после квитирования кнопкой умолкает.
- в) Если в каких либо KP_i и KP_j происходят обрывы ЛС X_i и Y_j , т. е. в разных каналах (рис. 5), будет потеряна связь между постами по обоим каналам, система перестает работать. Возникает кри-

тический отказ, при этом на всех постах KP_i вырабатывается световой и звуковой сигнал аварии. Звуковой сигнал умолкает после квитирования, а сигнал аварии CAN мигает. В этом случае персонал принимает решение о передаче управления в задающий и приемный посты, в которых функционируют исправные фрагменты сети CAN.

д) Если это невозможно, осуществляется переход на систему аварийных машинных телеграфов, которая логически повторяет основную систему управления. При этом структура аварийной сети CAN повторяет основную, но каналы связи проложены по другим магистральям.

Таким образом, при структурном резервировании сети CAN катастрофический отказ возникает при двух обрывах ЛС_i (по одному на каждый канал).

На рис. 5 показан отказ системы АСМТ со структурным резервированием. При двух-канальном резервировании одновременный отказ линий связи в обоих каналах X_2 и Y_1 приводит к отказу системы в целом, так как оба канала имеют разрыв и посты KP_1 и KP_6 не видят друг друга ни по одному из каналов CAN. В системе возникает критический отказ, система становится неработоспособной: KP_1 – задающий пост не может передать команду исполнительному посту KP_6 .

РЕАЛИЗАЦИЯ СТРУКТУРНО-ИНФОРМАЦИОННО РЕЗЕРВИРОВАННОЙ СЕТИ CAN АСМТ

При структурно-информационном резервировании двухканальной сети CAN одновременный обрыв пяти линий связи (см. рис. 6) не приводит к критическому отказу системы, так как данные передаются через оставшиеся целыми фрагменты каналов и ретранслируются во все посты.

При информационном резервировании в дополнение к рабочей информации, передаваемой в двухканальной сети CAN (см. п. 2.1), вводится 12 бит дополнительной информации:

VisMaster – 1 бит, VisSlave – 1 бит, VmasRetr – 1 бит, VslvRetr – 1 бит, Nactslv – 4 бита, Nactmas – 4 бита.

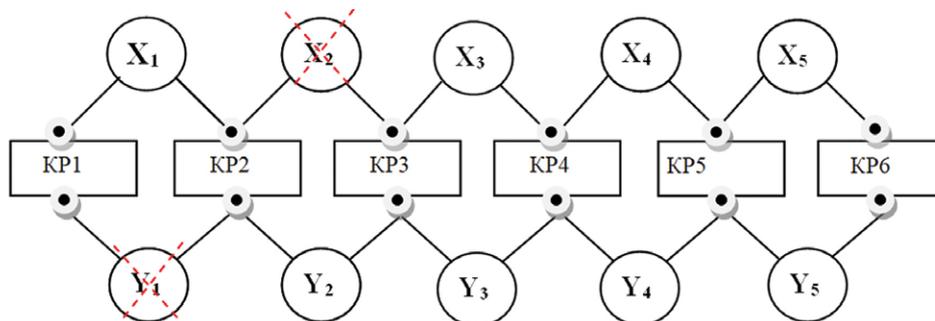


Рис. 5. Критический отказ двухканальной сети CAN АСМТ

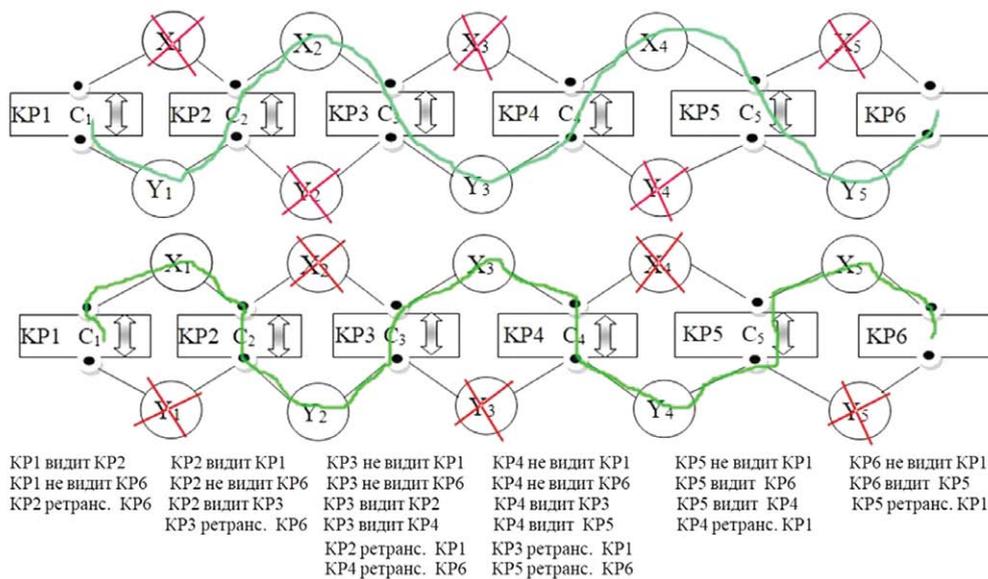


Рис. 6. Работоспособная сеть CAN со структурно-информационным резервированием

Общее количество передаваемых байт не изменилось. Дополнительная информация добавляется за счет уплотнения основной информации.

Назначение дополнительной информации следующее:

1. Если по одному из каналов по исправной ЛС X_i или Y_i поступает рабочая информация от активного задающего и приемного поста, то $VisMaster = 1$, $VisSlave = 1$, $VmasRetr = 0$, $VslvRetr = 0$, $Nactslv =$ номер активного приемного поста, $Nactmas =$ номер активного задающего поста.

$Nactslv$ и $Nactmas$ используются для быстрого определения активных задающих и приемных постов в различных алгоритмах АСМТ, в том числе для индикации активных постов.

2. Если по одному из каналов по исправной ЛС X_i или Y_i поступает рабочая информация от соседнего неактивного поста, но в посту имеется признак, что он «видит» активный задающий и приемный пост, то $VisMaster = 1$, $VisSlave = 1$, $VmasRetr = 1$, $VslvRetr = 1$. $Nactslv$, $Nactmas$ – номера активных постов.

3. Если по одному из каналов по исправной ЛС X_i или Y_i поступает рабочая информация от соседнего неактивного поста, который не «видит» активный задающий или приемный пост, но в посту имеется признак, что он ретранслирует рабочую информацию от соседнего поста, который «видит» или «ретранслирует» рабочую информацию, то $VisMaster = 0$, $VisSlave = 0$, $VmasRetr = 1$, $VslvRetr = 1$. $Nactslv$, $Nactmas$ – номера активных постов.

При структурно-информационном резервировании ПО обеспечивает работу АСМТ в следующих режимах:

а) Если все ЛС X_i и Y_i исправны, АСМТ работает как обычная, внедренная на всех заказах система со структурно резервированной двухканальной системой CAN аналогично п. 3а. Дополнительная информация формируется, но не используется, за исключением $Nactslv$ и $Nactmas$.

б) Если один из каналов МКАН2А поста KP_i оказался оторванным от одноименного канала сети CAN из-за обрыва X_i или Y_i , осуществляется передача данных по другому, резервному каналу. АСМТ работает аналогично п. 3б. Дополнительная информация формируется, но не используется, за исключением $Nactslv$ и $Nactmas$.

Если в обоих каналах возникают множественные порывы (рис. 6), сеть CAN распадается на фрагменты, в которых имеется связь хотя бы с одним постом. Фрагменты CAN-сети, связанные с задающим или приемным постом, являющиеся источниками информации от активных постов. Эта информация ретранслируется во все доступные фрагменты CAN-сети. Та-

ким образом, формируется связность сети и обеспечивается управление АСМТ. Отказ будет некритическим, и индикация соответствует п. 3а.

При количестве одновременных отказов ЛС больше $N - 1$ может возникнуть критический отказ, где N – это количество постов в АСМТ, в нашем случае $N = 6$.

Дальнейшая работа АСМТ аналогична п. 3с и п. 3д.

Таким образом, при структурно-информационном резервировании сети CAN, показанной на рис. 6, катастрофический отказ возникает при шести и более обрывах ЛС.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В настоящее время программное обеспечение технологии структурно-информационного резервирования CAN разработано для трех проектов, но не внедрено.

2. Разработаны функции обработки данных АСМТ, отыскиваемых в работающих фрагментах CAN-сети с учетом ретрансляции.

3. Доработано ПО аварийной индикации и индикации постов с учетом постоянно формируемых полей $Nactslv$, $Nactmas$.

4. Улучшена инициализация модулей МКАН2А.

5. Для проверки ПО структурно-информационного резервирования CAN необходимы испытания на реальном объекте очередного заказа. С новым ПО заранее обеспечивается работа по старому алгоритму при полностью исправной сети CAN или с сетью, где один канал имеет дефектное звено передачи.

6. Испытания можно проводить по действующим методикам для двухканальной сети CAN.

7. При положительных результатах испытаний по действующей методике, в виде эксперимента разорвать в $N - 1$ местах связи между постами и провести проверку.

8. При удачных результатах проверки рассмотреть вопрос изменения методики, включив в нее $N - 1$ разрывов.

9. Внедрение дополнительного информационного резервирования CAN позволит значительно повысить живучесть корабля, так как выигрыш надежности структурно-информационного резервирования по отношению к структурному резервированию АСМТ для $N = 6$ повышается в 4,5 раза.

ЛИТЕРАТУРА

1. Расчет надежности средств экологической безопасности. – Севастополь: Севастопольский национальный технический университет, 2012. – <https://studfile.net/prevew/9722833/>
2. Госстандарт СССР, Р50-54-82–88. Выбор способов и методов резервирования, ВНИИНМАШ, 1988. ■

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день все больше внимания уделяется вопросу внедрения автономного и дистанционно-управляемого флота, основными целями которого является повышение безопасности судоходства и снижение экономических издержек за счет уменьшения влияния человеческого фактора. Для достижения упомянутых целей необходимо разработать комплекс мероприятий, нацеленный на проверку безопасности эксплуатации морских автономных и дистанционно управляемых надводных судов (далее – МАНС). Одной немаловажной составляющей безопасности эксплуатации является исправное функционирование оборудования, соответствующее международным нормативной базе.

Компания ООО «СТЕОР-НСБ» создает решения для автономного судовождения в рамках Национальной технологической инициативы Российской Федерации «Маринет» (НТИ РФ «Маринет»), направленной на модернизацию морской отрасли Российской Федерации. Одним из проектов ООО «СТЕОР-НСБ» является программно-аппаратный комплекс, рассмотренный в данной статье, разработка которого обусловлена необходимостью проверки функциональности оборудования МАНС, конвенционных судов и береговой инфраструктуры (системы управления движения судов (СУДС) и центра дистанционного управления (ЦДУ)).

ОПИСАНИЕ ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА

Программно-аппаратный комплекс (далее – ПАК) для проверки оборудования группы МАНС, конвенционных судов и береговой инфраструктуры в условиях плотного судопотока используется для реализации методов проверки систем в соответствии с Приложением Б [1, с. 86–91].

Проверка оборудования систем управления МАНС может проводиться в нормальных эксплуатационных и аварийных условиях его работы с помощью виртуальной платформы моделирования навигационной обстановки на соответствие нормативным документам, обеспечивающим безопасность мореплавания для судов заданных типов при движении в открытом море, проходе узкостей, входе в порт и при швартовке к оборудованным терминалам.

ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ КОМПЛЕКСНОЙ ПРОВЕРКИ ОБОРУДОВАНИЯ ГРУППЫ МАНС, КОНВЕНЦИОННЫХ СУДОВ И БЕРЕГОВОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ В УСЛОВИЯХ ПЛОТНОГО СУДОПОТОКА

Д.В. Казунин, *д-р техн. наук, доцент, директор по разработке, ООО «СТЕОР-НСБ»*,

В.М. Амбросовский, *канд. техн. наук, доцент, СПбГЭТУ «ЛЭТИ»*,

Е.М. Леонова, *ст. разработчик, АО «СИТРОНИКС»*,
контакт. тел. +7 (921) 423 9492, +7 (911) 114 4834

ПАК представляет собой набор аппаратного обеспечения, на котором работает имитационная среда, в которой в 3D пространстве моделируются: суда различных типов, морские порты, подводный и надводный ландшафт, погодные условия (море, включая волнение и течения), положение небесных светил.

Все компоненты имеют сложные математические модели, позволяющие получить информацию, описывающую состояние этих компонентов. Расчеты в моделирующей среде ведутся в режиме реального и ускоренного времени. В состав основных математических моделей входят:

- модель движения судна, включая модель посадки судна;
- модели судовых устройств и установок;
- модели движения судов-целей;
- модели ветра, морского волнения, течения и приливов;
- модель погоды (температура, ветер, видимость);
- модели распространения звуковых и радиоволн.

ПАК обеспечивает имитацию выходной информации набора датчиков, применяемых на судах и в береговых навигационных системах, от самых простых (скорость судна, координаты, курс и другие) до более сложных (первичное изображение радиолокационного сигнала, АИС).

Проверяемая система, группа систем или целый модуль (СУДС, ЦДУ, навигационный мост) подключается к ПАК через необходимый/требуемый набор интерфейсов (Ethernet, RS-422, CAN и др.) и дискретных/аналоговых входов/выходов, с помощью которых взаимодействует с ПАК ровно так, как при работе с устройствами и установками МАНС, СУДС, ЦДУ, находящимися на борту судна или берегу, получая, обрабатывая и передавая сигналы и выдавая команды.

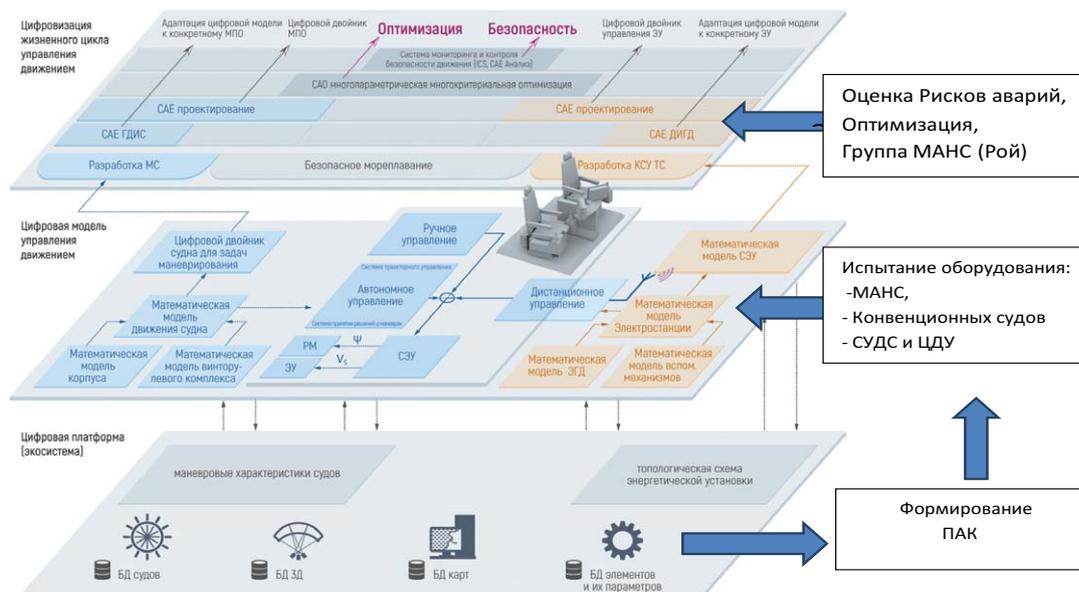


Рис. 1. Перечень решаемых задач при подключении оборудования мостиков МАНС, конвенционных судов, СУДС/ЦДУ к ПАК

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ И УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ

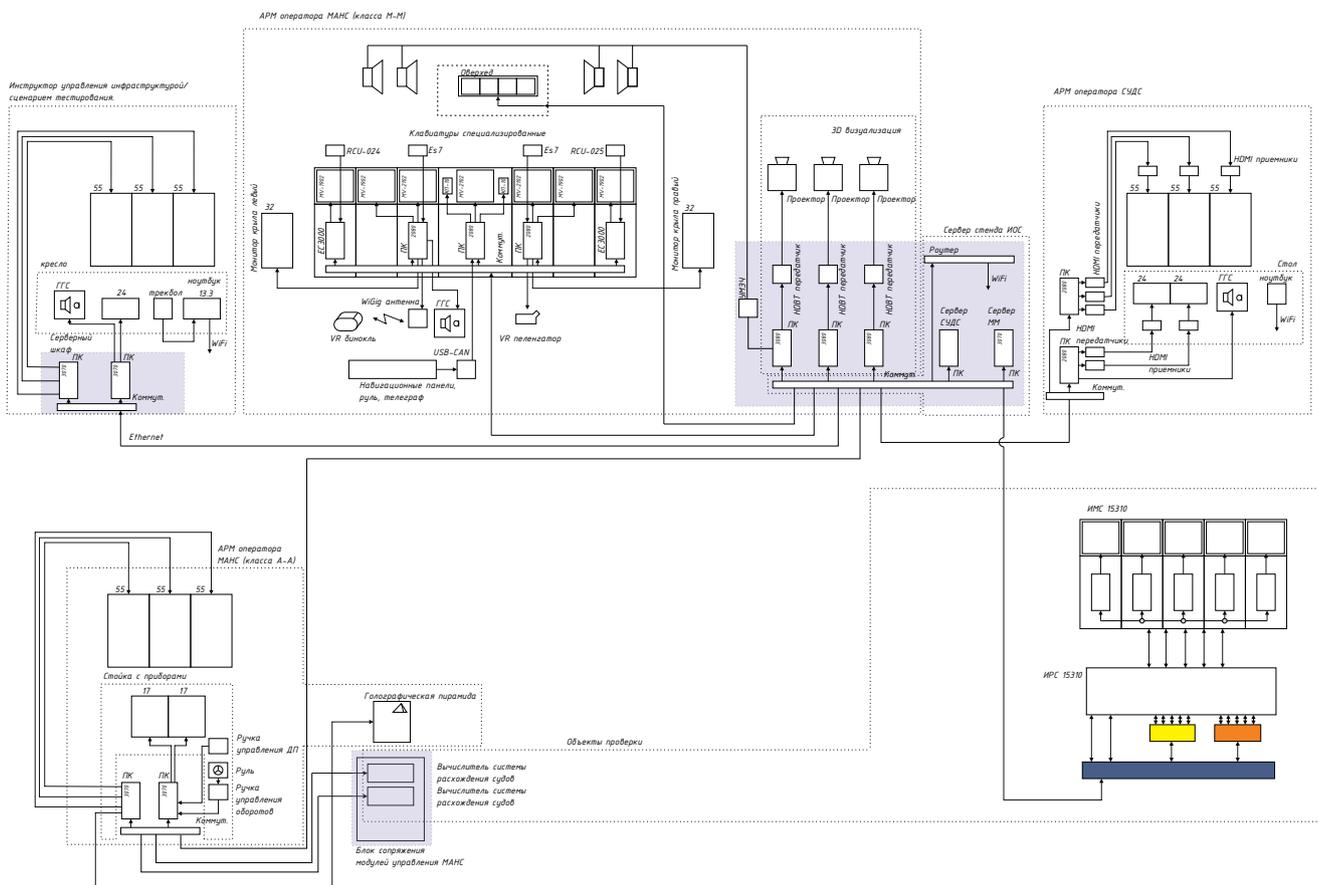


Рис. 2. Структурная схема ПАК

Таким образом, ПАК обеспечивает систематическое/регулярное/повторяемое тестирование проверяемой системы МАНС, а также предоставляет возможность проверки функциональности, производительности и корректности ее работы как в штатных, так и в аварийных режимах на всех стадиях разработки и эксплуатации.

СОСТАВ ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА

В состав ПАК входят:

- рабочее место руководителя испытаний;
- автоматизированное рабочее место (далее – АРМ) оператора МАНС двух видов;
- АРМ ЦДУ или СУДС;
- сервер ПАК;
- блок сопряжения крупных внешних модулей.

Структура ПАК показана на рис. 2

Рабочее место руководителя испытаний предназначено для управления процессом проверки оборудования и контроля проведения испытаний. Основными функциями рабочего места руководителя испытаний являются создание сценариев тестирования; редактирование сценариев тестирования; запуск и остановка сценария тестирования; мониторинг работы проверяемого оборудования в процессе тестирования; изменение текущих, введение дополнительных воздействующих факторов; управление записью процесса тестирования; воспроизведение записи процесса тестирования, для контроля и разбора определенных ситуаций; анализ результатов тестирования; формирование отчетов по результатам тестирования.

Сервер ПАК является главным вычислительным центром, который обеспечивает работу моделирующей среды, а также запись, хранение, воспроизведение результатов процесса тестирования.

АРМ оператора МАНС (категории МС, МС_{дс}, РС_{мс}) является полномасштабным навигационным мостиком, поставляемым на борт реального судна с набором стандартных протоколов для подключения реальных судовых устройств, (при необходи-

мости) с цилиндрической системой визуализации. В его состав выборочно или в полном составе входят основные навигационные приборы и системы, такие как ЭКНИС, РЛС, телеграф, штурвал, репитеры лага, эхолота, гирокомпас, панель ГМССБ, Copning-дисплей, панель управления сигнальными огнями, панель управления энергетической установкой, панель управления рулевой машиной, автопилот, панель управления подруливающими устройствами, панель управления осадкой судна.

Каждый из приборов может быть заменен реальным конвенционным оборудованием для его проверки. Также могут быть подключены дополнительные конвенционные приборы и системы, проверка которых предусмотрена возможностями ПАК, описанными в технических условиях.

АРМ оператора МАНС (категория РС, АС) является в том числе инструментом проверки оборудования МАНС в режиме полностью автономного управления с возможностью переключения на ручное управление. Оно позволяет визуально оценить корректность работы систем МАНС и произвести контроль соблюдения требований МППСС–72 и СОЛАС–74.

АРМ оператора МАНС (категория РС, АС) является версией навигационного мостика с меньшим набором приборов и, при необходимости, плоской системой визуализации. В



Рис. 3. Общий вид АРМов ПАК: руководителя испытаний, операторов МАНС (категории МС, МС_{дс}, РС_{мс} и категории РС, АС), СУДС, ЦДУ, а также подключенный для проверки мостик пр. 15310

состав навигационного мостика данного АРМ входят следующие приборы и органы управления: ЭКНИС, РЛС, репитеры лага, гироскопа, панель переключаемых приборов, индикация положения пера руля, ручка управления оборотами вала, штурвал или ручки управления ВРК.

ПРОВЕДЕНИЕ ПРОВЕРКИ СИСТЕМ МАНС

Проверка проводится для оборудования, устанавливаемого на борт конвенционных судов и МАНС (рис. 4), включая: системы распознавания целевой обстановки (включая РЛС), системы безопасного расхождения судов, системы управления движением и маневрированием (включая авторулевой, систему динамического управления, джойстиковые системы), и элементы береговой инфраструктуры (включая СУДС и ЦДУ), которые:



Рис. 4. Проверяемое судовое оборудование [1, с. 87]

- получают информацию о внешних условиях, целевой обстановке и положении собственного судна, и о состоянии его систем и посадки;
- передают команды управления и получают реакцию собственного судна (включая аварийно-предупредительную информацию) на поступившие управляющие воздействия;
- получают первичное изображение от имитатора РЛС, видео камер и передают управление поворотными и фокусирующим устройствам;
- получают и передают радиосигналы, используемые при переговорах, и передают управление остальным устройствам.

Проверка выполняется с помощью программного обеспечения (ПО), которое в соответствии (рис. 5) с требованиями [1 с. 86]:

- имитирует внешние условия, целевую обстановку (положение судов-целей), поведение (параметры) движения собственного



Рис. 5. Цифровая платформа моделирования навигационной обстановки [1, с. 87]

судна, которые отображаются в трехмерном пространстве или на картографической основе;

- передает сымитированные данные от датчиков, индикаторов и ТВ-камер и получает управляющие воздействия;
- создает условия группового движения, позволяющие производить контроль соблюдения требований МППСС–72, а также предоставляет возможность введения основных неисправностей датчиков, ошибок по доставке данных, шумов сигнала, ошибок команд управления.

ПАК позволяет проводить проверку для раздельной и совместной работы трех основных систем, используемых для управления в составе МАНС, ЦДУ и СУДС:

- 1) системы распознавания целевой обстановки и определения положения судна с возможностями их отображения;
- 2) системы прогнозирования и безопасного расхождения судов в соответствии с правилами МППСС–72 и хорошей морской практикой;
- 3) системы управления движением и маневрированием с целью управления упорами на основе решений, принятых системой прогнозирования и безопасного расхождения судов.

Разработанный ПАК может использоваться для независимой проверки систем МАНС, ЦДУ с СУДС различных производителей. Пример использования ПАК для проверки системы прогнозирования и безопасного расхождения судов производства АО «ИЦИУС» представлен на рис 6. Для визуальной оценки работы системы использована цилиндрическая проекционная система ПАК.

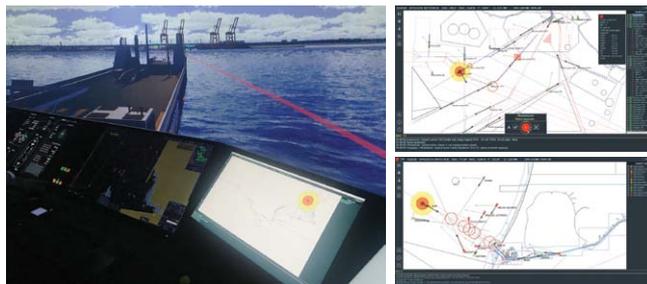


Рис. 6. Проверка с помощью ПАК системы прогнозирования и безопасного расхождения судов

Для проведения испытаний система подключена как новое устройство в состав оборудования мостика МАНС класса МСb, обеспечивающего безопасное расхождение с 50 целями, сопровождаемыми системой автоматической радиолокационной прокладки (САРП) и по информации поступающей от АИС для судов различных классов, в различных портах, при разных погодных условиях (включая дождь и туман). Проверка системы проводилась на соответствие правилам МППСС–72 и хорошей морской практики.

ПРОВЕДЕНИЕ ПРОВЕРКИ СИСТЕМ ГРУППЫ МАНС

ПАК может использоваться для отладки и испытаний систем управления:

- отдельных и нескольких независимых МАНС на базе стандартных проверок ПАК;
- отдельных взаимодействующих друг с другом МАНС, но неорганизованных в группу (рой);
- организованной группы (роя) МАНС, способной встраиваться в любые сложные функционирующие системы, включая сетевые системы управления.

ПАК для взаимодействующих друг с другом МАНС в составе неорганизованной и организованной группы позволяет:

1. Отлаживать и испытывать варианты работы в группе МАНС при имитации передачи данных по каналам связи с регулируемой в процессе имитации пропускной способностью для передачи данных телеметрии, изображений и другой информации об окружающей среде:

- от каждого входящего в группу МАНС;



Рис. 7. Проверка группового взаимодействия МАНС с береговой инфраструктурой

от центральных МАНС выделенных в иерархической группе. 2. Отлаживать и испытывать работу роевого интеллекта большого количества МАНС, используя численное описание поведения отдельных МАНС (особей), которые осуществляют децентрализованное управление на основе принципов самоорганизации. ПАК позволяет проверять коллективное поведение роя МАНС в результате локальных взаимодействий отдельных МАНС между собой, с окружающей средой в условиях ограничений, накладываемых работой береговой инфраструктуры и плотного судопотока, создаваемого конвенционными судами. Проверка может проводиться по примерному сценарию:

- МАНС, входящие в состав роя, получают из ЦДУ (по варьируемым каналам связи) задачу достижения определенного положения, стоящей перед роем.
- Каждый МАНС, входящий в состав роя, самостоятельно определяет информацию о текущем положении, состоянии и допустимых локальных действиях каждого МАНС роя, попадающих в зону его видимости.
- На основании полученных данных МАНС группы определяет состояние, в котором функция необходимых действий МАНС принимает минимальное значение.
- МАНС группы определяет набор действий, направленных на преобразование его текущего состояния в состояние положения определенного ЦДУ, после реализации действий переходит к следующей итерации цикла.

3. Решать оптимизационные задачи по энергопотреблению при построении группы МАНС, выборе систем связи (с учетом зон покрытия) и организации иерархии группы, методов ее построения при движении в различных условиях окружающей среды и в условиях ограничений, накладываемых работой береговой инфраструктуры и плотного судопотока, создаваемого конвенционными судами.

4. Проводить оценку критериев безопасности п.8.4. [1, с. 22,] и п.8.5 [1, с. 29,] в условиях имитируемой неисправности оборудования, отдельных приборов, систем отдельно взятого МАНС или группы МАНС и их групповых ошибок/неисправностей/аварий систем, обеспечивающих коллективное взаимодействие.

ПРОВЕДЕНИЕ ОБУЧЕНИЯ СИСТЕМ МАНС

ПАК может использоваться для обучения систем управления МАНС в реальных условиях эксплуатации (например, на базе записанных в виде AIS треков судов) в акватории выбранного заказчика порта при ограничениях, накладываемых работой береговой инфраструктуры и плотного судопотока, создаваемого конвенционными судами по сценарию заказчика (рис. 8).

Для обучения МАНС в ПАК можно составить подходящие наборы данных методом их генерирования по заранее созданной математической модели окружения и обеспечить:

- многообразие ситуаций в широком диапазоне воспроизводимых условий с известным шагом по времени и имитируемыми физическими эффектами, требуемым объемом графических и цифровых данных в полностью автоматическом режиме;

- полноту и точность полученной эталонной информации, обусловленную наличием полного описания математической модели моделирующей среды;
- возможность имитации любого отдельного датчика, а также тонкую настройку точности каждого из них, благодаря настройке функции генерируемого шума, что важно для оценки: актуальности, надежности и избыточности конкретного набора аппаратуры, входящей в системы МАНС;
- быструю передачу сгенерированных цифровых данных в обучающую систему МАНС по заранее известным форматам.

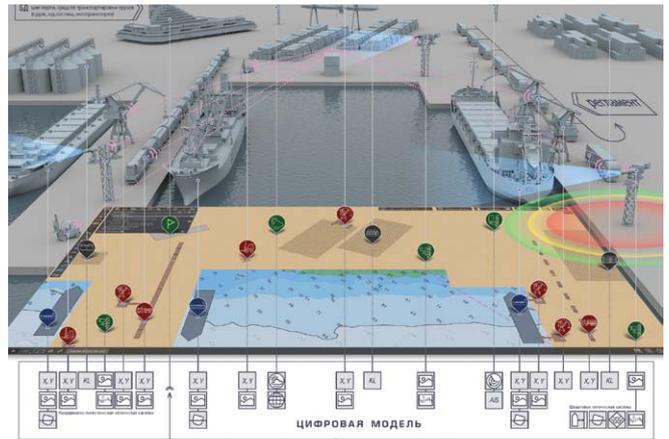


Рис. 8. Обучение МАНС условиям эксплуатации в акватории порта при ограничениях, накладываемых работой береговой инфраструктуры и плотного судопотока, создаваемого конвенционными судами

ПРОВЕДЕНИЕ ПРОВЕРКИ СИСТЕМ СУДС И ЦДУ

АРМ оператора СУДС или ЦДУ осуществляет функции и действия их оператора для проверки оборудования группы МАНС.

Структура ПАК предоставляет возможность подключения СУДС или ЦДУ в качестве проверяемого комплекса систем. В этом случае основной задачей ПАК является обеспечение СУДС или ЦДУ информацией. Блок сопряжения модулей предназначен для осуществления физического подключения через стандартные соединители проверяемого конвенционного оборудования, оборудования МАНС и береговой инфраструктуры.

На сегодняшний день ПАК позволяет проводить проверку СУДС по 32 пунктам из 35 необходимых в соответствии с Приказом Минтранса России от 23 июля 2015 г. № 226, устанавливающего требования к оборудованию, техническим средствам и персоналу СУДС.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье рассмотрен первый в стране программно-аппаратный комплекс, разработанный компанией ООО «СТЕОР-НСБ» в рамках НТИ РФ «Маринет», предназначением которого является проверка систем морских автономных и дистанционно управляемых надводных судов, конвенционных судов и береговой инфраструктуры. Перспективный программно-аппаратный комплекс обеспечивает проверку и в том числе отладку оборудования морских автономных и дистанционно управляемых надводных судов, а также может быть использован в целях обучения эксплуатации данного оборудования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Правила РМРС. Положения по классификации морских автономных и дистанционно управляемых судов (МАНС), НД № 2-030101-037.
2. Программно-аппаратный комплекс для проверки оборудования группы МАНС, конвенционных судов и береговой инфраструктуры в условиях плотного судопотока, ДВЛТ.466961.001 ТУ /ООО «СТЕОР-НСБ». ■

К началу XX столетия в России были и специалисты и организации, обладающие опытом выполнения водолазных, аварийно-спасательных и судоподъемных работ. Среди них – Кронштадтская водолазная школа, Российское общество спасения на водах, водолазные и спасательные партии портов, водолазные артели и др. В канун Первой мировой войной Морское министерство занялось созданием специальных аварийно-спасательных водолазных партий и судов. В годы войны в стране возникли отдельные компании, которые занимались изъятием с поднятых затонувших судов цветных металлов, ценного оборудования и грузов. Для выполнения аварийно-спасательных работ (АСР) и судоподъема использовались спасательные суда (СС) «Черномор», «Волхов» (с 1923 г. «Коммуна»), а также буксиры, плавкраны, плашкоуты и другие плавсредства.

После революции 1917 г. в России было несколько судоподъемных организаций: Мариинская судоподъемная партия («Марпартия») на Черном море, Кронштадтская спасательная партия, трест «Госсудоподъем» с отделениями на Белом, Черном и Азовском морях, водолазно-спасательные партии, частная фирма «Маклорен» и др. В годы Гражданской войны и иностранной интервенции только на Черном море затонуло более 350 боевых кораблей и торговых судов [1]. В 1917–1922 гг. были выполнены такие работы, как подъем с глубины 27 м подводной лодки (ПЛ) «АГ-15», снятие с камней немецкого броненосца «Рейнланд» на Балтийском море, подъем линкора «Императрица Мария», снятие с мели линкора «Мирабо», броненосца «Ростислав», эсминца «Гневный», парохода «Константин», тральщиков «Георгий», «Кольма» и др. на Черном и Азовском морях. Необходимость развития военного и гражданского флотов в стране в первые годы после революции сдерживалась недостатком средств на их строительство. Реальным путем развития флота в те годы были подъем и восстановление затонувших кораблей и судов. Поэтому Советским правительством в 1919–1923 гг. приняты декреты по организации спасательного, водолазного и судоподъемного дела в стране, начиная от национализации всего водолазного имущества и сосредоточения всех работ в Наркомате по морским делам до передачи проведения всех судоподъемных работ на морях в Наркомат путей сообщения (НКПС) [2]. Существенных результатов эти мероприятия тогда не дали.

РОЛЬ И ЗНАЧЕНИЕ ЭКСПЕДИЦИИ ПОДВОДНЫХ РАБОТ ОСОБОГО НАЗНАЧЕНИЯ В РАЗВИТИИ СУДОПОДЪЕМНОГО, ВОДОЛАЗНОГО И СПАСАТЕЛЬНОГО ДЕЛА РОССИИ К 100-ЛЕТИЮ ЭПРОН ЧАСТЬ 1

*Г.А. Гребенищикова, д-р истор. наук, проф., СПбГМТУ,
В.С. Никитин, д-р техн. наук, проф., президент,
В.Н. Илюхин, д-р техн. наук, проф., руководитель секции,
Российское НТО судостроителей им. акад. А.Н. Крылова,
контакт. тел. (812) 757 1122, (812) 710 4011*

СОЗДАНИЕ И ПЕРВЫЕ ШАГИ ЭПРОН

В феврале 1923 г. инженер В.С. Языков обратился к руководству Государственного политического управления (ГПУ) с предложениями проведения подводных работ с целью поиска и подъема значительного количества золота с затонувшего в 1854 г. в районе Балаклавы английского парохода «Принц». В ГПУ серьезно отнеслись к предложениям В.С. Языкова и дали поручения по их исполнению. Важная роль в проведении подводных работ отводилась применению трехместной подводной рабочей камеры (рис. 1), спроектированной одним из участников его группы – бывшим флагманским инженер-механиком дивизии подводных лодок (ПЛ) Морских сил Балтийского моря Е.Г. Даниленко. Затем по линии ГПУ последовали практические действия: по заказу технической секции ГПУ московский завод «Парострой» за три месяца изготовил подводную рабочую камеру. Руководством ГПУ была сформирована опытная глубоководная партия, которая успешно

провела испытания камеры Е.Г. Даниленко, завершившиеся в ноябре 1923 г. С окончанием испытаний глубоководной камеры Е.Г. Даниленко издан приказ ГПУ от 2.11. 1923 г. № 463, согласно которому опытная глубоководная партия была преобразована в Экспедицию подводных работ особого назначения (ЭПРОН) с подчинением особому отделу ГПУ и утверждению ее первого штата. Начальником ЭПРОН был назначен сотрудник ГПУ Л.Н. Захаров (Мейер), специалистами: инженеры В.С. Языков, Е.Г. Даниленко, Д.А. Карпович, А.З. Каплановский, водолазный специалист Ф.А. Шпакович, врач К.А. Павловский и др. Первыми водолазами ЭПРОН были Ф.К. Хандюк, Я.Ф. Жуков и В.Т. Сергеев. Приказом по Объединенному ГПУ (ОГПУ) от 17.12.1923 г. № 528 в состав ЭПРОН вошло несколько СС и катеров, объявлен новый штат в количестве 58 человек. В соответствии с приказом все виды довольствия ЭПРОН получала на равных основаниях с пограничными флотилиями ОГПУ. В начале сентября 1923 г. ЭПРОН приступила к поискам

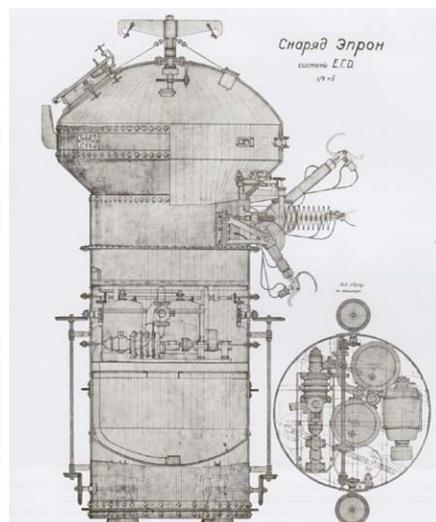
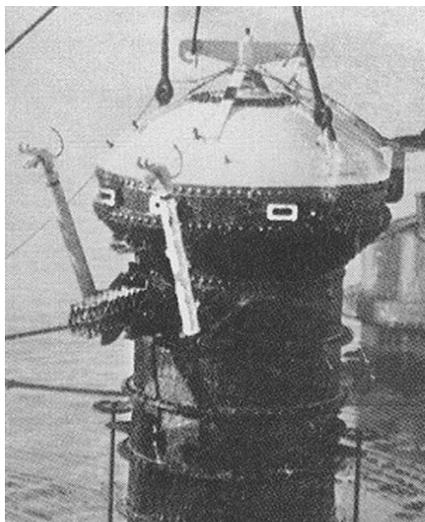


Рис. 1. Гидростат Е.Г. Даниленко, 1923 г.

местонахождения «Принца». Камера Е. Г. Даниленко 9.09.1923 г. достигла глубин 95 м и 123 м, что стало мировыми рекордами погружения для того времени. «Принц» был обнаружен 17.10.1924 г., но золота на нтм не найдено. Руководство ОГПУ решило дальнейшие поиски золота прекратить, и в декабре 1924 г. работы на «Принце» были закончены.

В 1927 г. японская фирма «Шинкай Когно Шо» выразила желание выполнить работы на «Принце» на выгодных для СССР условиях, которые начались летом того же года. Совместно с японскими профессионалами поиски вели специалисты ЭПРОН. В результате было найдено всего несколько золотых монет, но японская фирма покрыла расходы ЭПРОН на поисковые мероприятия в 1923–1924 гг., а также оставила свое оборудование. Главным же приобретением ЭПРОН на «Принце» стал бесценный и уникальный опыт проведения подводно-технических работ, подъема корпусных конструкций, глубоководных исследований, создании новой глубоководной водолазной техники, поисковой аппаратуры и разделки судов под водой [3,4].

Первой судоподъемной работой, выполненной ЭПРОН, стал подъем ПЛ «Пеликан», затопленной на глубине 16 м англичанами в 1919 г. на выходе из Одесской гавани. Лодка была в хорошем состоянии и после ремонта могла быть использована по прямому назначению. В 1922–1923 гг. ПЛ «Пеликан» пыталось поднять отделение «Госсудоподъема», но продувка ПЛ сжатым воздухом дважды не увенчалась успехом. Обследование лодки специалистами ЭПРОН показало, что возможен ее подъем при помощи понтонов. Работами по подъему «Пеликана» руководил один из опытейших водолазных специалистов Ф. А. Шпакович, который еще в 1909 г. участвовал в подъеме ПЛ «Камбала». Проект подъема Ф. А. Шпаковича получил одобрение руководства ОГПУ. После продувки понтонов 12.08.1924 г. ПЛ «Пеликан» всплыла (рис. 2), а 20 августа ее поставили в сухой док с целью восстановления. Однако впоследствии ремонт и достройка ПЛ были признаны нецелесообразными, после чего «Пеликан» сдали для разделки на металл. В 1924 г. ЭПРОН почти полностью очистила Севастопольскую бухту от кладбища затонувших барж, катеров, морского имущества, боеприпасов. Интенсивные подводные работы в Черном море способствовали образованию в Балаклаве в 1925 г. Водолазных курсов, которые курировал ЭПРОН. Главной задачей деятельности курсов стала подготовка специалистов для ЭПРОН различного профиля. Так, ЭПРОН, первоначально сформированный лишь для поиска «Принца», приобретает характер и функции судоподъемной органи-



Рис. 2. Подводная лодка «Пеликан» после подъема ЭПРОН

зации [5]. Затем последовали другие работы ЭПРОН. В апреле 1925 г. были подняты миноносец № 266 и тральщик «Перванш», в июле того же года поднят танкер «Эльбрус». Наиболее сложной работой в 1925 г. был подъем эсминца «Калиакрия» водоизмещением 1400 т с глубины 28 м под Новороссийском, который после ремонта под названием «Дзержинский» вошел в состав Черноморского флота. В 1926 г. ЭПРОН было поднято 19 объектов, в том числе две ПЛ – «Орлан» и «Карп» и четыре эсминца – «Пронзительный», «Стремительный», «Сметливый», «Капитан-лейтенант Баранов». Руководили работами Ф. А. Шпакович и А. З. Каплановский. В декабре 1926 г. утвержден первый устав ЭПРОН. В 1927 г. ЭПРОН получила несколько заказов на судоподъемные работы, что позволило поставить вопрос о переходе экспедиции с бюджета ОГПУ на хозрасчет. В 1927 г. ЭПРОН стала государственным хозрасчетным предприятием.

ВОЗРАСТАНИЕ МАСШТАБА РЕШАЕМЫХ ЗАДАЧ

Будучи хозрасчетной организацией, ЭПРОН был вынужден расширить сферу своей деятельности и выполнять разделку поднятых судов на металл, подводно-технические, гидротехнические и водолазно-строительные работы. Несмотря на отдельные случаи переноса сроков завершения работ, в целом деятельность ЭПРОН отличалась в лучшую сторону по сравнению с работой «Госсудоподъема». Поэтому на совещании руководителей Совторгфлота 18.03.1930 г. было принято решение о передаче всех судоподъемных работ на Севере (Беломорско-Мурманский район) ЭПРОН. Постановлением № 3 Совета Труда и Оборона (СТО) от 1.01.1931 г. «Госсудоподъем» был упразднен, а ЭПРОН передан из ОГПУ в НКПС. Приказом НКПС от 18.01.1931 г. № 2011 на ЭПРОН возлагались наряду с судоподъемными работами еще и аварийно-спасательные,

водолазно-строительные и опытно-подводные. В оперативном отношении при проведении АСР ЭПРОН подчинялся наркому по военным и морским делам. Несколько позже, в связи с реорганизацией НКПС, ЭПРОН передается во вновь созданный Народный комиссариат водного транспорта (НКВТ) с сохранением своей военной структуры и с функциональных обязанностей, определенных приказом НКПС № 2011 от 18.01.1931 г. ЭПРОН фактически стала единой государственной военизированной спасательной службой страны, организационно входившей в состав НКВТ, но в оперативном отношении при проведении АСР в интересах ВМФ подчинялась наркому по военным и морским делам.

Новый устав ЭПРОН был принят 2.03.1931 г. с образованием Главного управления (ГУ) ЭПРОН, которое с ноября 1931 г. размещалось в Ленинграде на набережной Красного флота (бывш. Английской), д. 34. В 1930 г. Л. И. Захаров (Мейер) был направлен на другую работу, и до 1932 г. экспедицией руководил Д. В. Усов, затем Ф. С. Медведев, с именем которого связан наиболее яркий период деятельности ЭПРОН, принесший ему мировую славу и сделавший саму аббревиатуру ЭПРОН легендарной в нашей стране. В 1932 г. по постановлению СТО была сформирована Отдельная Дальневосточная партия. Таким образом, ЭПРОН стал организацией всесоюзного масштаба. Деятельность ЭПРОН на Дальнем Востоке позволила отказаться от услуг японских фирм по выполнению спасательных работ, за что ранее приходилось платить крупные суммы в валюте. Так, например, в 1928–1929 гг. за подобные работы было уплачено более 550 тыс. иен.

Создание ЭПРОН внесло изменение и в организацию подготовки водолазного состава. В 1928 г. решением коллегии НКВТ ликвидируются водолазные курсы ЭПРОН, созданные в 1925 г. в Балаклаве. Преподавательский состав

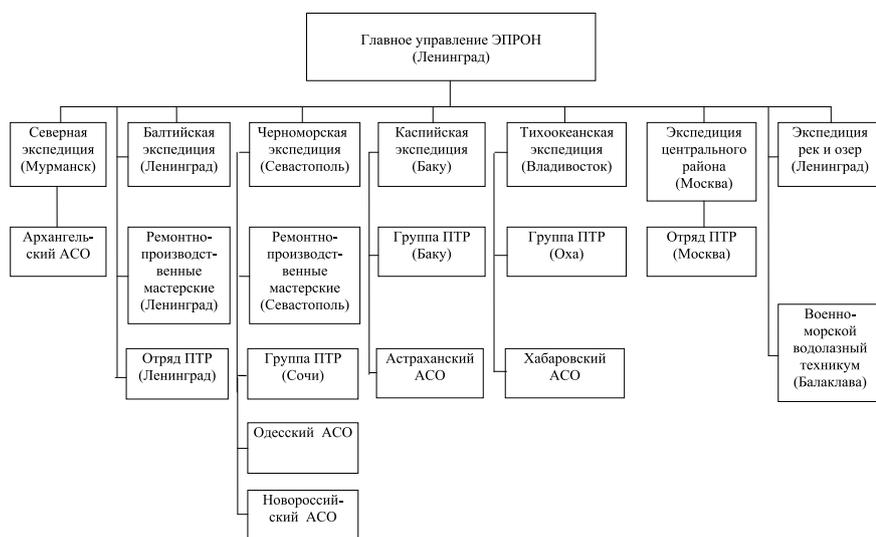


Рис. 3. Организационная структура ЭПРОН на 1.05.1935 г. (АСО – аварийно-спасательный отряд, ПТР – подводно-технические работы)

и имущество курсов передаются в Водолазную школу (бывш. Кронштадтскую) при Учебном отряде Черноморского флота, затем в 1930 г. в нее вливается Водолазная школа Центральной водолазной базы НКПС, а в 1931 г. это объединенное учебное заведение преобразуется в Военно-морской водолазный техникум (ВМВТ), который стал общесоюзным центром подготовки водолазов. Первым начальником техникума был назначен водолазный специалист Ф. А. Шпакович, а преподавателями П. М. Мацкевич, В. И. Правдин, Л. Ф. Кобзарь, Ф. К. Хандюк, К. А. Павловский. Водолазный техникум готовил водолазов для всех ведомств страны. За 1929–1933 гг. было подготовлено 665 водолазов. Объединение всех учебных заведений водолазного профиля в единую Водолазную школу ЭПРОН и ее преобразование в ВМВТ позволили значительно улучшить подготовку специалистов. В 1934 г. в каждом регионе были сформированы экспедиции, вместо партий образованы аварийно-спасательные отряды (АСО), а также отряды и группы подводно-технических работ. При этом, наряду с выполнением судоподъемных и других водолазных работ, основной задачей ЭПРОН стало обеспечение своевременного оказания помощи судам, терпящим бедствие на море. На рис. 3 показана организационная структура ЭПРОН на 1.05.1935 г.

ОСВОЕНИЕ ГЛУБИН ВОДОЛАЗАМИ

Большое внимание ЭПРОН уделял развитию водолазного дела, опираясь на исследования, проводившиеся специфическими в главе с начальником кафедры Военно-медицинской академии (ВМедА) академиком Л. А. Орбели. В совершенствовании методов водолазных спусков, в разработке способов самостоятельного выхода подводников из аварийных ПЛ и создании для этих

целей дыхательных аппаратов большую роль сыграла созданная в 1931 г. при Техническом управлении Наркомата ВМФ Постоянная комиссия по аварийно-спасательному делу (АСД), которую возглавил также академик Л. А. Орбели. В ее состав входили: сотрудники этой кафедры Е. М. Крепс, Б. Д. Кравчинский, С. П. Шистовский, С. И. Прикладовицкий, главный врач ЭПРОН К. А. Павловский и другие специалисты. В организационно-методических указаниях начальника ГУ ЭПРОН по учебно-боевой подготовке АСО ставились задачи не только по совершенствованию водолазных работ по судоподъему, резке металлов под водой, по поиску и подъему учебных торпед, бурению и подрывному делу, отработке действий водолазов в аварийных ситуациях, но и по увеличению глубины водолазных спусков. Сосредоточение водолазной подготовки в едином центре и прочные творческие связи преподавателей ВМВТ со специалистами ВМедА способствовали освоению водолазами ЭПРОН больших глубин.

Для проведения исследований по изучению влияния на человека повышенного давления воздуха, искусственных дыхательных газовых смесей и испытаний создаваемых дыхательных аппаратов в 1931–1933 гг. на кафедре физиологии ВМедА с помощью ЭПРОН было установлено несколько барокамер на давление до 10 атм, а в 1939 г. создана специальная баролаборатория. Ее основным оборудованием стала барокамера с гидротанком на давление до 20 атм. В разработке методов самостоятельного спасения подводников участвовали специалисты Учебного отряда подводного плавания в Ленинграде. Наряду с подготовкой водолазного состава преподаватели ВМВТ совместно с ВМедА прилагали много усилий для разработки методов самостоятельного спасения подводников.

В 1932 г. на Балтике водолаз А. Д. Разуваев спустился на рекордную глубину 100 м. В 1935 г. на Черноморской экспедиции была достигнута рекордная глубина 115 м при спуске в обычном вентилируемом снаряжении. За освоение этой глубины начальник Черноморской экспедиции Н. А. Максимец (лично спускался на глубину 113 м) и водолазы В. Н. Чертан (рис. 4) и А. Г. Хмельник приказом наркома водного транспорта были награждены именными золотыми часами. Там же в 1937 г. в обычном водолажном снаряжении водолазом В. И. Медведевым была достигнута глубина 137 м, перекрыв все известные в то время рекорды (иностраный рекорд погружения 102 м был достигнут в 1932 г.). Спуски были проведены под руководством Ф. А. Шпаковича и К. А. Павловского. Начальник ГУ ЭПРОН Ф. И. Крылов в докладе наркому водного транспорта 14.12.1937 г. отметил, что водолазы ЭПРОН перекрыли все известные рекорды глубоководных погружений на воздухе. Наибольшая глубина погружений на воздухе 105 м была достигнута в Шотландии в 1932 г. В 1935–1937 гг. в районе Балаклавы под руководством Л. А. Орбе-



Рис. 4. Подготовка водолаза ЭПРОН И. Т. Чертана к спуску на глубину 119 м, 1935 г.

ли с участием Е. М. Крепса, К. А. Павловского и Ф. А. Шпаковича были проверены ускоренные режимы декомпрессии после спусков на глубины 50 м и 60 м с выдержкой 30 минут. Эти режимы предназначались для выхода подводников из аварийной ПЛ. Освоение водолазами больших глубин и совершенствование способов самостоятельного спасения подводников продолжались в ЭПРОН и в последующие годы. Совершенствуя водолазное дело, специалисты ЭПРОН и врачи-специфологи начали разрабатывать в 1935 г. режимы декомпрессии на кислороде, а с 1938 г. – глубоководных спусков на гелио-кислородных смесях [6,7]. ■

Продолжение следует

12 июля 2023 г. исполняется 70 лет Виктору Николаевичу Илюхину, члену редколлегии журнала «Морской вестник», ведущему ученому в области развития системы поисково-спасательного обеспечения (ПСО) морской деятельности России, доктору технических наук, профессору, лауреату Государственной премии РФ в области науки и техники, заслуженному изобретателю РФ, капитану 1 ранга в отставке.

Виктор Николаевич родился 12 июля 1953 г. в Москве. В 1975 г. с отличием окончил кораблестроительный факультет ВВ-МИУ им. Ф.Э. Дзержинского и получил диплом по специальности «Военное кораблестроение». В 1975–1980 гг. служил командиром группы электромеханической боевой части на кораблях проектов 61 и 1135 Черноморского флота. В 1980 г. поступил и в 1982 г. окончил кораблестроительный факультет Военно-морской академии по специальности «Инженерная, проектирование кораблей» и был назначен старшим научным сотрудником-водолазным специалистом в 40 НИИ аварийно-спасательного дела МО СССР, а затем заместителем начальника и начальником водолазного отдела института. В 1989 г. защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук.

В.Н. Илюхин осуществлял научно-техническое сопровождение и лично участвовал в испытаниях многих образцов водолазного снаряжения и оборудования в лабораторных и морских условиях, которое потом поставлялось на флот, а также в разработке технологии насыщенных глубоководных водолазных погружений.

В 1989 г. В.Н. Илюхин был назначен на должность заместителя начальника 40 НИИ МО СССР по научной работе, которую исполнял до 2010 г. В 2009 г. успешно защитил диссертацию на соискание ученой степени доктора технических наук, в 2010 г. присвоено звание «профессор».

После увольнения с действительной военной службы до 2015 г. продолжил работу в 40 ГНИИ МО РФ (с 2012 г. – НИИ спасания и подводных технологий ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия») в должности главного научного сотрудника.

По инициативе В.Н. Илюхина подготовлено Постановление Правительства РФ № 174 от 1 марта 1993 г. «О совершенствовании деятельности ведомственных аварийно-спасательных служб», в соответствии с которым 40 НИИ МО РФ, ныне – 40 ГНИИ аварийно-спасательного дела, водолазных и глубоководных работ, объявлен головной в стране научно-исследовательской организацией в области формирования и развития ПСО.

В.Н. Илюхин также руководил разработкой нормативных документов по развитию федеральной системы поиска и спасания на море:

К 70-ЛЕТИЮ В.Н. ИЛЮХИНА

*РосНТО судостроителей им. А.Н. Крылова,
контакт. тел. (812) 710 4011*



- Концепции функционирования и развития подсистемы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций на море и водных бассейнах России;
- Федерального плана поиска и спасания;
- Положения о взаимодействии аварийно-спасательных служб министерств, ведомств и организаций на море и водных бассейнах России;
- Государственной программы строительства спасательных судов и катеров и ряд других документов федерального уровня.

Созданию этих и других нормативных документов способствовал Координационный научно-технический совет, созданный в 1993 г. по инициативе В.Н. Илюхина и оказавший влияние на проведение единой технической политики при создании и эксплуатации поисково-спасательной и специальной водолазной техники. Под его научным руководством были выполнены исследования по приоритетным направлениям развития системы ПСО морской деятельности России, судового состава аварийно-спасательных служб министерств и ведомств.

Уделяя большое внимание подготовке научных кадров, В.Н. Илюхин в 1997 г. организовал диссертационный совет в 40 ГНИИ МО РФ и успешно руководил его работой до 2010 г. Диссертационные исследования, проведенные под его руководством, направлены на решение актуальных для ВМФ задач ПСО на море, включая обеспечение безопасности жизнедеятельности личного состава при работах под водой.

В.Н. Илюхин является руководителем научной школы «Теория и практика выполнения аварийно-спасательных, водолазных и глубоководных работ», включенной в 2013 г. в реестр научных школ Санкт-Петербурга решением Президиума Научно-технического совета при Правительстве Санкт-Петербурга и Комитета по науке и высшей школе от 13.12.2013 г. № 99.

В 1999 г. В.Н. Илюхин инициировал создание Технического комитета по стандартизации ТК-416 «Гипербарическая техника», в котором разработано более 40 национальных стандартов по спасательной и водолазной технике, утвержденных Росстандартом. Этот комитет продолжает работать под его руководством на базе НТО судостроителей им. акад. А.Н. Крылова.

С 2007 г. В.Н. Илюхин – член Научно-экспертного совета Морской коллегии при Правительстве РФ.

С 2009 по 2019 г. профессор В.Н. Илюхин руководил «Ассоциацией развития поисково-спасательной техники и технологий», которая содействовала развитию федеральной системы поиска и спасания на море и внедрению современной техники на судах и кораблях.

С 2011 г. Виктор Николаевич руководит секцией «Поисково-спасательной техники и технологий» НТО судостроителей им. акад. А.Н. Крылова, является членом его Центрального правления. Он – автор более 550 научных трудов, в том числе 13 книг и монографий и 64 изобретений. Важная сторона его общественно-научной деятельности – популяризация истории развития аварийно-спасательного и водолазного дела в России, в числе прочего на страницах журнала «Арктика: экология и экономика», в состав редакционной коллегии он также входит.

Теоретические и экспериментальные результаты работ В.Н. Илюхина реализованы в комплексных целевых программах развития поисково-спасательной и специальной водолазной техники и технологий, в руководящих документах ВМФ, различных министерств и ведомств, в восстановлении отечественных приоритетов в сфере подводных исследований.

В.Н. Илюхин награжден орденами «За службу Родине в Вооруженных силах СССР», «За военные заслуги», медалями Морской коллегии при Правительстве РФ, Морского собрания Санкт-Петербурга, НТО судостроителей им. акад. А.Н. Крылова, почетными грамотами и ценными подарками министров обороны СССР и РФ, Главнокомандующего ВМФ и др.

Центральное правление Российской-го и Международного НТО судостроителей им. акад. А.Н. Крылова сердечно поздравляет Виктора Николаевича с юбилеем и желает ему крепкого здоровья, творческого долголетия и реализации больших планов.

Редсовет и редколлегия журнала «Морской вестник» присоединяются к этим поздравлениям и желают В.Н. Илюхину благополучия и новых научных достижений. ■

В 2022 г. исполнилось 350 лет со дня рождения Петра Великого, благодаря которому в России был создан регулярный военно-морской флот, и наша страна уже в первой четверти XVIII в. стала не просто морской державой, а великой морской державой. Прошедшие с того времени столетия показывают, что когда отечественный военно-морской флот развивается, Россия становится сильнее, растет ее авторитет в мире, а когда флот переживает период стагнации или даже деградации, наша страна в целом переживает огромные трудности.

В принятой в 2022 г. новой Морской доктрине подчеркивается возрастающая роль Российского ВМФ в Мировом океане. Чуть позднее Президент РФ В. В. Путин провел совещание с руководством флота и судостроительной промышленности, на котором всесторонне была обсуждена проблема значительного повышения эффективности отечественного кораблестроения. В этой связи знание опыта не только строительства флота, но и управления им очень важно.

До конца 1710-х гг. военный флот России не имел стройной организационно-штатной структуры и системы органов военного управления. В начале XVIII в. делами военного флота ведали Владимирский судный и Поместный приказы. Они были созданы в 1696 г. в Москве и занимались строительством азовского флота [1, с. 83].

11 (22) декабря 1717 г. Указом Петра I были учреждены коллегии, в том числе Адмиралтейств-коллегия – высший коллегиальный орган управления флотом и Военно-морским ведомством в России (1, с. 83; 4, с. 134; 8, с. 140). Она руководила комплектованием флота; строительством и вооружением кораблей; сооружением портов, гаваней и каналов; подготовкой кадров морских офицеров; разработкой военно-морских уставов и правил навигации; гидрографическими исследованиями, в том числе морскими исследовательскими (в первую очередь кругосветными) экспедициями.

Адмиралтейств-коллегия состояла из наиболее опытных военно-морских начальников – строевых и ограниченно годных по состоянию здоровья и возрасту к службе на флоте, но способных к административной работе. Возглавлял Адмиралтейств-коллегию президент. Будучи членом Сената, он непосредственно подчинялся царю. 15 (26) декабря 1717 г. Указом Петра I первым президентом Адмиралтейств-коллегии был назначен генерал-адмирал, граф Ф. М. Апраксин, а вице-президентом – вице-адмирал Корнелиус Крюйс (1, с. 83; 2, с. 21; 3, с. 117; 8, с. 141; 9, с. 78).

Под управлением Адмиралтейств-коллегии находились конторы: военно-морская, адмиралтейская обер-сарваерская,

АДМИРАЛТЕЙСТВ-КОЛЛЕГИИ - 305 ЛЕТ

И.М. Кузнец, д-р истор. наук, проф.,

Почетный работник высшего профессионального образования РФ, капитан 1 ранга в отставке, контакт. тел. (812) 312 7092



подрядная, контролерская, аудиторская и др. [4, с. 134]. Все эти органы занимались исключительно строительством и материальным обеспечением флота. Повседневной и боевой деятельностью флотских формирований руководили соответствующие флагманы. Единого командования над всеми силами флота не было.

Об объеме работы Адмиралтейств-коллегии говорят многочисленные факты, приведем некоторые из них.

1. Одним из первых распоряжений была выдача 31 января (11 февраля) 1718 г. разрешение русскому крестьянину, изобретателю, плотнику Ефиму Никонову построить «потаённое судно», способное плавать под водой и нападать на корабли противника.

2. В 1718 г. направлена на флот инструкция «О эскерции. Как надлежит обучать пушкарей морского флота на батаре и на корабле стрельбою пушечную...» (8, с. 141). Поднимались вопросы о необходимости изготовления парусных полотен для строящихся кораблей и улучшения их качества.

3. Приказано провести осмотр финского фарватера (согласно мемории Петра I от 22 июля (3 августа) 1718 г.), разведку мелей, нанесение их на карту и постановка «каменных знаков» (9, с. 83, 87, 116, 119).

4. Учрежден (в соответствии с указом Петра I от 31 июля (11 августа) 1718 г. в Санкт-Петербурге Генеральныйрядный двор для «поставки с него канатов и веревков на Российский флот и иностранные корабли».

5. В 1719 г. вынесено решение о необходимости разработки железа в Сибири и устройства парусных, железоплавильных и других заводов и замене пушек с липских заводов на пушки (и балласт) с сибирских заводов Н. А. Демидова (9, с. 80; 8, 88).

6. Издано распоряжение от 1719 г. о комплектовании навигационных школ: в Петербурге «из 300 дворянских детей, а в Москве из 500 человек всяких чинов».

7. Издание в 1720 г. собрания военно-морских правил «Книга – Устав морской о всем, что касается доброму управлению в бытность флота на море», основной вклад в написание которого сделал Петр I (1, с. 83).

В том же году была упорядочена и узаконена организационная структура морских сил государства. Корабельный флот подразделялся на эскадры кордебаталии, авангард и арьергард, каждый из которых, в свою очередь, состоял из трех «партикулярных» (отдельных) дивизий кордебаталии, авангарда и арьергарда белого, красного и синего флагов.

Генерал-адмиралу подчинялся весь флот. Он же командовал главной, или генеральной эскадрой и дивизией «кордебаталии белого флага». Дивизией авангарда в главной эскадре командовал вице-адмирал, а арьергарда – шутбенхт. Эскадрами синего и красного флагов командовали полные адмиралы. Они же командовали дивизиями своих кордебаталей, а дивизии авангарда и арьергарда в этих эскадрах возглавляли соответственно вице-адмиралы и шутбенхты.

«Уставом морским» корабли делились на ранги. Ранг корабля зависел от числа устанавливаемых на нем пушек: корабли 1–5 рангов предназначались для ведения артиллерийского боя в составе флотской эскадры. Корабли 6–8 рангов (фрегаты и шнявы) предназначались, в первую очередь, для ведения разведки и борьбы на вражеских коммуникациях (крейсерской службы...) (4, с. 134, 135).

8. 5 (16) апреля 1722 г. издан утвержденный Петром I «Регламент о управлении Адмиралтейства и верфи и о должностях коллегии адмиралтейской, и прочих всех членов при адмиралтействе обретающихся...» – первый российский свод морских административных законов (52 гл.).

9. 5 (16) марта 1724 г. вышло распоряжение «болящим морским и адмиралтейским офицерам для лечения их болезней отпускать медицинские препараты в дом безденежно» (8, с. 164).

10. 17 (28) января 1724 г. основан архив документов Российского флота (ныне – Российский государственный архив ВМФ (РГАВМФ), в фондах (Ф.183–187, 205, 212, 218–221, 223, 233–234) которого хранится более 1 млн. 200 тыс. дел, в основном подлинников (8, с. 160).

11. 31 марта (11 апреля) 1724 г. изданы первый отечественный морской справочник «Разговор адмирала с капитаном о команде, или Полное учение как управлять кораблями во всякие разные случаи»; Руководство морскими исследовательскими экспедициями (8, с. 161, 162 и др.; 9, с. 118–120, 128, 174, 175).

12. В 1726 г. учрежден чин, который обязан следить за состоянием действующих и постройкой новых маяков и освоением маячной техники (8, с. 163).

13. В 1726 г. учрежден Верховный тайный совет, которому была подчинена Адмиралтейств-коллегия. В число восьми его членов были «флотские люди» – А. Д. Меншиков, Ф. М. Апраксин, А. И. Остерман. Но уже 4 (15) марта 1730 г. он был упразднен.

С 1725 по 1740 г. почти все высшие должности в армии и на флоте были отданы иностранцам. Морское ведомство возглавил граф А. И. Остерман.

В 1732 г. А. И. Остерман стал председателем «Особливой комиссии для рассмотрения и приведения в надежный порядок флота, как корабельного, так и галерного», созданной по Указу императрицы Анны Иоанновны (она правила с 1730 по 1740 г.). Кроме А. И. Остермана в эту комиссию вошли вице-адмиралы Т. Сандес, Н. А. Синявин, Н. Ф. Головин, шаутбе-нахт П. П. Бредаль, капитан-командор В. А. Дмитриев-Мамонов.

Вместо 11 контор Адмиралтейств-коллегии, которые частично дублировали функции друг друга, были учреждены четыре экспедиции: комиссариатская, которая заведовала всем снабжением; интендантская, в заведовании которой находились строения, верфи, леса, мастерские; экипажная, руководившая деятельностью магазинов и верфей, артиллерийская.

В Адмиралтейств-коллегию вошли президент, вице-президент и четыре постоянных члена, начальники экспедиций. Это упростило и ускорило решение дел. Непосредственное командование флотом было оставлено за флагманами, при которых также состояла особая канцелярия (служба штаба). Флот был разделен на две дивизии. Позднее были сформированы два морских полка, а в 1734 г. учрежден корпус морской артиллерии (4, с. 156, 157; 9, с. 175).

29 мая (9 июня) 1748 г. Адмиралтейств-коллегия направила императрице Елизавете Петровне специальный доклад с подробным анализом состояния флота, подчеркнув в нем, что «весь флот и адмиралтейство в такое разорение и упадок приходят, что уже со многим временем поправить оныя весьма трудно будет» (8, с. 203).

Следует отметить, что в годы правления императрицы Елизаветы Петровны строительство отечественного флота впервые в его истории приобрело осмысленный и правомерный характер. Флот в эти годы решал не только общие, но и конкретные стратегические задачи, в частности, не допустил в ходе Семилетней войны (1756–1763 гг.) прорыва английского флота на Балтику. Была усовершенствована организация стратегического и тактического взаимодействия.

В 1756–1762 гг. в основном завершился процесс формирования ядра военно-морских кадров. Впервые почти все высшие должности в центральных органах управления и в действующем флоте замещались «природными русскими». В то же время Семилетняя война высветила и упущения в строительстве и подготовке флота. Эти проблемы сохранили свою остроту до конца XVIII столетия (4, с. 191–192).

14. Организована лоцманская служба в Санкт-Петербурге, Кроншлоте и Ревеле (9, с. 115).

15. С 3 (14) ноября 1742 г. началось создание картографического архива русского флота (его основатель – учитель геодезии Морской академии А. Д. Красильников, отдавший 35 лет жизни развитию самостоятельной отрасли гидрографии – морской картографии (8, с. 196).

16. 5 (16) мая 1757 г. Указом императрицы Елизаветы Петровны восстановлена Московская адмиралтейская контора, а 9 (20) сентября 1757 г.

утвержден совместный доклад Сената и Адмиралтейств-коллегии об устройстве флота и «морского управления». Также был уточнен состав Адмиралтейств-коллегии (8, с. 210, 212).

17. 17 (28) февраля 1762 г. Указом императора Петра III была учреждена «Комиссия о Российских флотах». Ей вменялось в обязанность «сделать и во всегдашней исправности содержать такой флот, который бы надежно превосходил флоты прочих на Балтийском море владычествующих держав». Работа комиссии не была завершена, так как с восшествием на престол в том же году Екатерины II она была упразднена, а разработанные ею документы переданы в Адмиралтейств-коллегию (4, с. 213; 8, с. 218; 10, с. 331).

(28) ноября 1763 г. именным Указом императрицы Екатерины II была учреждена «Морская Российских флотов и Адмиралтейского правления комиссия для приведения оной знатной части к обороне государства в настоящий постоянный добрый порядок».

Комиссии было поручено пересмотреть штаты флота и выработать новые, «чтобы держать в Балтийском море флот не только равносильный каждому из соседних флотов, дацкому и швецкому, но чтобы наш в числе линейных кораблей оные еще надежнее превосходить могут».

18. 4 (15) марта 1764 г. императрица Екатерина II утвердила новые штаты Адмиралтейств-коллегии и подведомственных ей учреждений. Вместо 10 контор, созданных при императрице Елизавете Петровне, были учреждены 5 экспедиций: Комиссариатская, Интендантская, Казначейская, Артиллерийская и Счетная.

21 марта (1 апреля) 1764 г. было впервые предусмотрено наличие флота мирного времени (21 корабль (80-и 66-пушечные), 4 фрегата (32-пушечные), бомбардирский корабль, прам, пропорциональное число мелких судов и 50 галер) и флота военного времени (32 корабля тех же рангов, 8 фрегатов, 4 бомбардирских корабля, 3 прамы, мелкие суда и 150 галер). Определив организационный состав и структуру флота, Морская российских флотов и адмиралтейского правления комиссия внесла предложения и по упорядочению артиллерийского вооружения кораблей. Комплектование флота личным составом (солдаты и матросы) осуществлялось за счет рекрутских наборов. Этот день считается днем зарождения мобилизационного планирования на флоте. (4, с. 217; 8, с. 223–224).

19. 24 августа (4 сентября) 1765 г. был издан новый Регламент об управлении Адмиралтейства и флотов, по которому Адмиралтейств-коллегия должна

была состоять из семи человек: президента, вице-президента и пяти членов: генерал-кригс-комиссара, генерал-интенданта над верфями, строениями и экипажем, генерал-цейхмейстера, генерал-шацмейстера и генерал-контролера. Кроме того, ей было предоставлено право выбрать в члены двух флагманов.

Сущность нового положения об управлении флотом и Адмиралтейством заключалась в выделении из непосредственного ведения Адмиралтейств-коллегии чисто военных вопросов, которые были переданы в ведение флагманов, а Адмиралтейств-коллегии предоставили высшую власть над ними (8, с. 226).

20. В 1775 г. Указом Адмиралтейств-коллегии было поручено приступить к созданию регулярных морских сил на юге России (8, с. 246).

21. 2 (13) ноября 1777 г. при Адмиралтейств-коллегии была учреждена первая в России производственная организация по составлению морских карт – чертежная. С этой даты началось централизованное производство морских карт в России. Это дата основания Центрального картографического производства ВМФ (РКП ВМФ) (8, с. 249).

7 (18) января 1778 г. Адмиралтейств-коллегией введен штат мирного времени для нижних чинов: корабельный флот – 7604 чел., галерный флот – 1992 чел., морская артиллерия – 1766 чел., ластовый комплект – 1080 чел., два артиллерийских батальона – 1000 чел.

22. Павел I, вступивший на престол в 1797 г., оценивая состояние флота, отмечал, что находятся они «в таком ветхом состоянии, что корабли, составляющие оные, большей частью оказались по гнилости своей на службу неспособными» (4, с. 338–339; 5, с. 193). Коренным образом была пересмотрена деятельность администрации военных портов. Было обращено внимание на прекращение хищения военного имущества; на установление на флоте строгого уставного порядка и надлежащей дисциплины.

23. В 1798 г. при Адмиралтейств-коллегии был образован Особенный комитет, который впервые в Российском флоте стал целенаправленно заниматься изучением иностранных флотов по материалам, поступающим из различных источников (8, с. 293).

24. 25 ноября (6 декабря) 1799 г. Указом Павла I при Адмиралтейств-коллегии был учрежден Комитет для распространения морских наук и усовершенствования художественной части морского искусства. Главной его обязанностью было издание «повременных записок», в которых печатались все основные сведения по морскому делу. Этот день вошел в историю, как день создания

первого научного органа Российского флота. В 1827 г. этот комитет был преобразован в Ученый комитет Морского министерства. В последующие годы он неоднократно реформировался, а в настоящее время это – Морской научный комитет, орган управления Главкомандующего ВМФ РФ, выполняющий научное обоснование, формирование и проведение военно-технической политики, научных работ и научно-технического руководства исследованиями по тематике ВМФ (4, с. 304–305).

25. В 1801 г. престол занял старший сын Павла I великий князь Александр Павлович. Одним из первых его шагов было коренное преобразование системы руководства Морским ведомством. 8 (20) сентября 1802 г. был издан манифест об упразднении коллегий и преобразовании их в соответствующие министерства. Учреждено восемь министерств, в том числе Министерство военных сил и Министерство морских сил (с 1815 г. – Морское министерство).

Министерство морских сил возглавил вице-президент Адмиралтейств-коллегии адмирал Н. С. Мордвинов. Но разработку основ морской политики и морской стратегии государства Александр I поручил своему фавориту графу А. Р. Воронцову, назначив его председателем «Комитета для приведения флота в лучшее состояние». (4, с. 351, 353). 13 (25) октября 1802 г. по Указу Александра I была создана Военная по флоту канцелярия. В ней были сосредоточены дела по прохождению службы личным составом и обеспечение его довольствием, которые, минуя Адмиралтейств-коллегию, взял под контроль сам император. Первым правителем этой канцелярии был назначен контр-адмирал П. В. Чихачев (впоследствии министр морских сил, с 1827 г. – адмирал).

26. В 1805 г. управление Министерством морских сил было разделено на две части: Адмиралтейств-коллегию, занимавшуюся комплектованием флота личным составом, снабжением всеми видами довольствия и вооружением кораблей, и Адмиралтейский департамент, ведавший строительством береговых сооружений и гидрографией, а также ученой частью.

В 1812 г. строительная часть была передана в подчинение Адмиралтейств-коллегии. В ведении ученой части находились: библиотека, типография, музей, инструментальные мастерские, рассмотрение проектов и изобретений, издание книг и морского журнала (он начал издаваться с 1806 г. под названием «Морские записки, или собрание всякого рода касающихся вообще до мореплавания сочинений и переводов, издаваемых при Государственном при Адмиралтейств-коллегии комитетом»).

27. При Адмиралтейском департаменте была учреждена Главная морская библиотека (с 1938 г. – Центральная военно-морская библиотека (ЦВМБ)). Фактически это была реорганизация уже существовавшей с 1799 г. при Адмиралтейств-коллегии библиотеки (4, с. 306, 312–313, 319–320).

28. В 1812 г. казенные фабрики и заводы были переданы из Адмиралтейского департамента в ведение Адмиралтейств-коллегии (4, с. 345).

Как видим, с момента образования Адмиралтейств-коллегии функции ее неоднократно менялись. В 1827 г. она была преобразована в совещательный орган при Морском министерстве – Адмиралтейств-совет, и таким образом 24 августа (5 сентября) 1827 г. Адмиралтейств-коллегия была упразднена (1, с. 83; 8, с. 140).

Несмотря на многократные изменения статуса Адмиралтейств-коллегии, различия усилий входивших в ее состав деятелей флота, она за период своего существования внесла значительный вклад в строительство и развитие отечественного флота.

ЛИТЕРАТУРА

1. Советская военная энциклопедия. – 2-е изд. – В 8 т. – Т. 1. – М.: Воениздат, 1990. – 543 с.
2. Военно-энциклопедический словарь. – М.: Воениздат, 1986. – 863 с.
3. Советская военная энциклопедия. – В 8 т. – Т. 1. – М.: Воениздат, 1976. –
4. Монаков М. С., Родионов Б. И. История Российского флота в свете мировой политики и экономики (X–XIX вв.). – М.: Кучково поле, 2006. – 832 с.
5. Веселаго Ф. Ф. Краткая история русского флота. – 2-е изд. – М.–Л.: Военно-морское изд-во НКВМФ СССР, 1939. – 304 с.
6. Веселаго Ф. Ф. Очерк русской морской истории. – СПб., 1875, ч. 1, с. 439–446.
7. Чубинский В. Г. Историческое обозрение устройства управления Морским ведомством в России. – СПб., 1869. – 313 с.
8. Летопись Российского флота от зарождения мореходства в древнерусском государстве до начала XXI в. – В 3 т. – Т. 1: 860–1900 гг. – СПб.: Наука, 2012. – 656 с.
9. Петровская эпоха в документах из фондов РГАВМФ. – СПб.: Историческая иллюстрация, 2021. – 148 с.
10. Бескровный Л. Г. Русская армия и флот в XVIII в. – М., 1958.
11. Белавенец П. П. Материалы по истории русского флота. – М.–Л., 1940.
12. Кузинец И. М. История российского высшего военно-морского инженерного образования в лицах: Краткие очерки о руководителях военно-морского инженерного института (1798–2003). – СПб.: Мор Вест. 2004. – 216 с.
13. Кузинец И. М. Адмиралтейская академия. – М.: ИД «Руда и металлы», 1998. – 640 с.
14. Морской корпус Петра Великого: 320 лет на службе Отечеству. Монография/Под общ. ред. И. И. Мальшева. – М.: Международ. отношения, 2022. – 440 с. ■

26 апреля 2023 г. в АО «ЦТСС» состоялось очередное заседание Ассоциации судостроителей Санкт-Петербурга и Ленинградской области. С учетом современных внешнеэкономических и политических реалий оно было посвящено вопросам импортозамещения различных видов судового оборудования для гражданского судостроения.

С докладом «Каталогизация судовой арматуры. Импортозамещение электросварных фитингов» выступил главный инженер ПАО «Завод «Буревестник» О.А. Фёдоров. Он отметил, что в 2015 г. по инициативе АО «ОСК» были созданы рабочая подгруппа по вопросам унификации судовой арматуры и экспертный совет по решению проблем судового арматуростроения. В их состав вошли представители АО «ОСК», предприятий-арматуростроителей, разработчиков судовой арматуры и КБ-проектантов кораблей и судов. Перед подгруппой стоит задача создать единый каталог судовой арматуры. Из-за санкционного давления ряд зарубежных производителей разорвали деловые отношения с российскими заказчиками.

В связи с этим на базе ПАО «Завод «Буревестник» в соответствии с государственной программой импортозамещения и приобретения новых компетенций была разработана линейка полимерных труб и электросварных фитингов для использования в системах водоснабжения, охлаждения и дренажа для гражданских судов. В качестве основного материала был выбран полипропилен как имеющий низкую текучесть, улучшенные физико-механические свойства.

Доклад главного специалиста КБ «Армас» (АО «ЦТСС») А.В. Шайтанова «Разработка типоряда клапанов редуционных для объектов гражданской морской техники» был посвящен их разработке. В ходе первого этапа будет разработана конструкторская и эксплуатационная документация, в ходе второго этапа – изготовлены и проведены испытания опытных образцов. Актуальной остается разработка редуционных клапанов на высокое, среднее и низкое давление. Анализ конструкции отечественных и импортных редуционных клапанов, а также схемы классификации регуляторов показал, что для обеспечения конкурентоспособности отечественных редуционных клапанов (уменьшение массы, габаритных размеров и стоимости изделий при обеспечении необходимых требований) необходимо оптимизировать конструкции в единственно возможном «конкурентоспособном варианте».

Потребность в данных клапанах ощущается при строительстве судов пр. 22220 и пр. 10510 «Лидер», а также таких, как мелкосидящий ледокол

ИТОГИ СОБРАНИЯ АССОЦИАЦИИ СУДОСТРОИТЕЛЕЙ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА И ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

*Ассоциация судостроителей Санкт-Петербурга и Ленинградской области,
контакт. тел. (812) 786 1172*



М.Н. Ещенко

пр. 22740М, НИС пр. 123, несамостоятельный землесос пр. BLV03, ОИС «Академик Агеев» пр. 16450.

В докладе заместителя технического директора АО «ЭРА» С.Б. Ястребова «О результатах проделанной работы по импортозамещению комплектующих изделий при изготовлении судовой малогабаритной арматуры (МГА)» был дан обзор арматуры, которая выпускается на предприятии.

Вся современная продукция имеет сертификаты соответствия РКО и РМРС, а отлаженная работа с поставщиками литьевых заготовок и комплектующих МГА позволяет гарантировать бесперебойность поставок как для нужд гражданского судостроения, так и военно-морского флота.

Директор ООО «Литий» Ю.И. Семихатов в своем докладе «Бесщеточная токопередача в токопереводах электродвижительных рулевых колонок» отметил, что в оборудовании, выпускаемом как в России так и за рубежом, с 1950-х гг. для передачи электроэнергии и сигналов

от неподвижных частей к вращающимся используются токоприемники, в которых основной частью являются щеточно-контактные узлы (ЩКУ). Однако, как показывает практика, ЩКУ очень ненадежны в работе (число их отказов составляет 25% и более). ООО «Литий» предложило принципиально новый подход к решению задачи – бесщеточные токопередающие устройства. Токопередача в них происходит посредством скользящих либо катящихся металлических токопередающих поверхностей, на которые нанесена специально подобранная смазка.

«О создании Центра трансфера технологий (ЦТТ) СПбГМТУ в целях развития отрасли и смежных отраслей» рассказал в своем докладе его директор М.Н. Ещенко.

В апреле 2023 г. СПбГМТУ стал участником Национальной ассоциации трансфера технологий, его ЦТТ интегрирован в общероссийскую сеть трансфера технологий и в рамках данной работы планирует содействовать стратегическому развитию и повышению инвестиционной привлекательности судостроительной отрасли и смежных отраслей, повышению предпринимательской.

Цели ЦТТ СПбГМТУ направлены на формирование межрегионального центра компетенций.

По итогам заседания было принято решение о проведении дальнейших совместных мероприятий с Ассоциацией судостроителей Санкт-Петербурга и Ленинградской области и Союзом промышленников и предпринимателей Санкт-Петербурга. ■



1. Автор представляет статью в электронном виде объемом до 20 000 знаков, включая рисунки. Текст набирается в редакторе MS Word под Windows, формулы – в формульном редакторе MathType. Иллюстрации, помещенные в статье, должны быть представлены дополнительно в форматах: TIFF CMYK (полноцветные), TIFF GRAYSCALE (полутонные), TIFF BITMAP (штриховые), EPS, JPEG, с разрешением 300 dpi для полутонных, 600 dpi для штриховых и в размерах, желательных для размещения.

2. Статья должна содержать реферат объемом до 300 знаков, ключевые слова и библиографо-библиотечный индекс УДК. Автор указывает ученую степень, ученое звание, место работы, должность и контактный телефон, а также дает в письменной форме разрешение редакции журнала на размещение статьи в Интернете и Научной электронной библиотеке после

публикации в журнале. Статья представляется с рецензией.

3. Статьи соискателей и аспирантов принимаются к публикации на бесплатной и безгонорарной основе.

4. Контрольное рецензирование этих статей осуществляет редакционная коллегия с привлечением при необходимости профильных специалистов. Рецензии на статьи хранятся в редакции журнала в течение 5 лет.

5. В случае отказа в публикации автору высылается рецензия. Копии рецензий направляются в Минобрнауки России при поступлении соответствующего запроса в редакцию журнала.

6. Содержание журнала ежеквартально представляется на рассмотрение редакционному совету. Решение о выпуске очередного номера оформляется протоколом.

РЕФЕРАТЫ

- УДК 629.5.01 **Ключевые слова:** Арктика, Арктический регион, развитие, параметризованная математическая модель планирования инфраструктуры, имитационное моделирование, логистика, добыча полезных ископаемых, боевые надводные корабли ледового класса, инновации в области проектирования ледоколов, ледовые ступени
П. Г. Тенишев, А. И. Гайкович, Ю. А. Чашков, А. В. Архипов, Д. В. Курочкин, Г. Г. Никитина. К концепции надводных кораблей ледового класса//Морской вестник. 2023. № 2 (86). С. 7
О перспективах развития Арктического региона, а также о влиянии областей науки и техники на целевую модернизацию сил ВМФ для него. Формирование на базе инновационных новых технологий в области кораблестроительной архитектуры класса боевых надводных кораблей повышенной ледопроеходимости как важнейшего элемента сил сдерживания в регионе. Т. 2. Ил. 11. Библиогр. 11 назв.
- УДК 629.5 **Ключевые слова:** катер, ледокол, пограничный сторожевой корабль ледового класса, проект, ЦМКБ «Алмаз», Морпогранохрана, Береговая охрана, морская граница
А. В. Шляхтенко, Б. А. Лейкис, А. Л. Ивченко. От легендарного катера МО-4 до арктического ледокола типа «Ермак»//Морской вестник. 2023. № 2 (86). С. 15
Дан обзор проектов катеров и кораблей, спроектированных для морских пограничников почти за 90 лет (от Морпогранохраны НКВД до Береговой охраны Пограничной службы ФСБ России). Приведены краткие характеристики катеров и кораблей, их вооружение и оборудование. Показано, что пограничные катера и корабли, созданные в ЦМКБ «Алмаз», отвечают современным требованиям и по ряду свойств превосходят иностранные корабли аналогичного назначения. Т. 1. Ил. 10.
- УДК 629.128 **Ключевые слова:** укладка кабелей, внутрипромышленные плавсредства для укладки кабелей, кабелеукладочные устройства и суда, монтаж и ремонт подводных кабельных линий
Р. Н. Караев. Инженерно-технологическое обеспечение кабелеукладочных работ. Часть 2//Морской вестник. 2023. № 2 (86). С. 22
Рассмотрены проектные решения внутрипромышленных кабелеукладочников нескольких типов. Проанализированы требования к монтажу и ремонту подводных кабельных линий. Рассмотрены специальные кабелеукладочные устройства. Ч. 1 – см. «Морской вестник», 2023, № 1 (85). Ил. 10. Библиогр. 6 назв.
- УДК 629.5.01 **Ключевые слова:** универсальный сухогруз повышенной контейнеро-вместимости смешанного плавания, проект 00108, АО КБ «Вымпел»
В. В. Волков. Универсальные сухогрузы повышенной контейнеро-вместимости//Морской вестник. 2023. № 2 (86). С. 27
Дано описание разрабатываемого по технической документации КБ «Вымпел» проекта универсального сухогруза смешанного плавания. Особое внимание уделено особенностям судна – повышенной контейнеро-вместимости, возможности перевозки генеральных и навалочных грузов, высокой экологичности. Представлены краткие ТТХ судна. Ил. 2.
- УДК 620.17 **Ключевые слова:** аддитивное производство, WAAM, малоциковая усталость, поврежденность, информативный параметр, микроструктура, нейро-нечеткие системы
С. А. Манцеров, М. С. Аносов, Д. С. Итальянцев. Диагностика структурной поврежденности стали 09Г2С, полученной с использованием технологии WAAM при малоциковой усталости на основе нейро-нечеткой классификации//Морской вестник. 2023. № 2 (86). С. 32
Исследовано накопление структурных повреждений в процессе усталостных нагрузок с использованием подходов фрактального анализа и разработки новых информативных параметров количественного анализа микроструктуры. Установлены закономерности изменения разработанных параметров оценки поврежденности и критерии предразрушения. На основе проведенных исследований разработаны нейронная сеть и программное обеспечение для оценки структурных повреждений стали 09Г2С, полученной с помощью технологии WAAM. Т. 1. Ил. 6. Библиогр. 19 назв.
- УДК 614.843 **Ключевые слова:** Спектральные методы анализа сигналов, хаотические процессы, диагностическая информация, виброакустические измерения, модели хаотической динамики, детерминированный хаос
А. В. Махшанов, В. А. Колесник, Д. В. Быков, Л. Н. Тындыкарь. Алгоритмы анализа виброакустических сигналов на основе моделей нестационарности и нелинейности//Морской вестник. 2023. № 2 (86). С. 38
В работающем механизме имеется широкий набор различных временных ритмов, обычно не обладающих строгой периодичностью. Их можно анализировать, например, обычными спектральными методами, однако анализ этих ритмов с позиций хаотической динамики дает большую и, главное, более наглядно интерпретируемую диагностическую информацию. Настоящая статья посвящена разработке некоторых алгоритмов выявления, визуализации и интерпретации таких ритмов во временных рядах виброакустических измерений. Ил. 6. Библиогр. 43 назв.
- УДК 629.5.081 **Ключевые слова:** цифровизация, судостроительное предприятие, модернизация, автоматизация, техническое перевооружение, 3D модель
К. С. Рогозина. Пути внедрения цифрового производства при изготовлении трубопроводов на судостроительном предприятии//Морской вестник. 2023. № 2 (86). С. 43
Описывается роль цифровизации в деятельности судостроительного предприятия. Рассмотрено оборудование трубообрабатывающего производства, даны предложения по повышению уровня автоматизации путем технического перевооружения производства и совершенствования технологии в целях комплексного повышения эффективности работы предприятия. Переход к «цифровой верфи» позволяет эффективно управлять жизненным циклом судна и повышать ее конкурентоспособность. Т. 2. Библиогр. 4 назв.
- УДК 62–9 **Ключевые слова:** машинное обучение, судовое оборудование, плавающий док, ремонт, прогнозирование, обслуживание, цифровой двойник, параметр
С. Г. Черный, А. А. Зинченко, П. А. Ерофеев. Профилактическое обслуживание судовых механизмов с помощью технологии машинного обучения//Морской вестник. 2023. № 2 (86). С. 46
Выход из строя балластных насосов плавучего дока зависит от подходов к техническому обслуживанию, исполь-
- зуемых для прогнозирования таких случаев. Методология машинного обучения использовалась для обработки и анализа рабочих параметров док-насоса с целью получения выводов на основе данных с помощью Matlab. Инструмент профилактического обслуживания предсказал, что док-насос может выйти из строя или потребует обслуживания между 7-й и 8-й неделями. Отклонение на 14% от фактического времени отказа можно объяснить качеством и малым объемом записанных рабочих данных. Ил. 3. Библиогр. 6 назв.
- УДК 62–932.2 **Ключевые слова:** пуллузия, полимерные композиционные материалы, конструкционные материалы, препрег
М. А. Баранов. Изготовление полимерных композиционных материалов для производства изделий методом пуллузии//Морской вестник. 2023. № 2 (86). С. 49
Освещена тема производства полимерных композиционных материалов на примере получения препрега и изготовления изделий методом пуллузии. Ил. 4. Библиогр. 4 назв.
- УДК 621.165 **Ключевые слова:** конденсатор, турбина, трубный пучок, пар, конденсация, овальность, закрутка, скорость пара, теплообмен, алгоритм, методика
О. О. Лебедев. Сравнительный анализ методик расчета конденсаторов пара//Морской вестник. 2023. № 2 (86). С. 55
Конденсация пара – сложный процесс взаимодействия нескольких сред между собой с изменением их фазового состояния. Для определения площади теплообменной поверхности выполнены инженерные тепловые расчеты по различным методикам, а также сравнение существующих методик расчета конденсаторов пара и методик расчета винтового конденсатора пара в энергетических установках. Т. 2. Ил. 1. Библиогр. 9 назв.
- УДК 620.9 **Ключевые слова:** энергоустановка, автономный объект, дизель-генераторная установка, комбинированная энергоустановка, автоматизация, эффективность
В. В. Камлюк, И. О. Прутчиков, И. В. Гречушкин. Перспективы создания и применения высокоэффективных энергоустановок гарантированного электроснабжения автономных объектов//Морской вестник. 2023. № 2 (86). С. 57
Проведен анализ создания и применения энергоустановок гарантированного электроснабжения автономных объектов и предложено новое техническое решение создания автоматизированной энергоустановки, которое позволяет расширить ее функциональные возможности, область применения и в целом повысить эффективность. Ил. 1. Библиогр. 5 назв.
- УДК 623.827 **Ключевые слова:** ВНЭУ, ЭХГ, топливный элемент
А. Н. Дядик, А. В. Юшков. Система преобразования и коммутации электроэнергии в воздухонезависимой энергетической установке с электрохимическим генератором//Морской вестник. 2023. № 2 (86). С. 60
Рассмотрена система преобразования и коммутации электроэнергии в воздухонезависимой энергетической установке с электрохимическим генератором энергии, предназначенная для обеспечения электроэнергией внешнего потребителя и потребителей собственных нужд ВНЭУ с ЭХГ. Ил. 3. Библиогр. 5 назв.
- УДК 621.51 **Ключевые слова:** компрессорные станции, расчет трудоемкости, РКД, показатели, весовые коэффициенты, критерий Фишберна

Л.Г. Кузнецов, А.В. Бураков, Д.А. Грибанов, Р.Р. Хотский. **Методика расчета трудоемкости разработки судовых компрессорных станций с использованием аналога на основе ранжирования технических характеристик//Морской вестник. 2023. № 2 (86). С. 65**

Изложен опыт АО «Компрессор» в области разработки судового компрессорного оборудования для кораблей и судов ВМФ и приведена оценка трудоемкости разработки конструкторской документации создаваемой компрессорной станции в рамках СЧ ОКР на основе трудоемкости конструкторской документации аналогов. Данная методика может применяться для предварительной оценки трудоемкости разработки конструкторской документации нового варианта исполнения или расширения типоряда серийного судового оборудования. Т. 2. Ил. 3. Библиогр. 5 назв.

УДК 539.32:669.018.293 **Ключевые слова:** усталость, выносливость, работа на переменных режимах, база испытаний

А.З. Багерман. **Оценка выносливости жаропрочных сплавов на основе никеля при переменных режимах работы и параметрах малоциклового усталости//Морской вестник. 2023. № 2 (86). С. 68**

Разработаны модули удельных напряжений при испытаниях на выносливость и малоциклового усталости и специальный алгоритм, обеспечивающие прогнозную оценку предела выносливости при температурах 800–900 °С и параметры малоциклового усталости при температурах 650–800 °С для сплавов на основе никеля. Т. 4. Библиогр. 4 назв.

УДК 623.8 **Ключевые слова:** НПО «Завод «Волна», история предприятия, радиотехника, радиоэлектронная аппаратура, средства связи, средства РЭБ

Н.В. Кулык. **С первых шагов к достижениям настоящих дней. К 90-летию Научно-производственного объединения «Завод «Волна»//Морской вестник. 2023. № 2 (86). С. 70**

Об истории НПО «Завод «Волна», которому исполняется 90 лет. Рассмотрены основные этапы становления и развития объединения и входящих в его состав предприятий. Перечислены основные виды продукции в разные периоды. Отмечены достигнутые успехи, намечены перспективы. Ил. 29.

УДК 621.391 **Ключевые слова:** алгоритм оптимального распределения канального ресурса, алгоритм Беллмана, система управления

П.В. Лебедев, Л.В. Воробьев, Е.А. Рылов. **Способ оптимального распределения канального ресурса информационных направлений сети связи по типам трафика с учетом приоритетов//Морской вестник. 2023. № 2 (86). С. 77**

Приведен подход к синтезу алгоритма оптимального распределения системой управления канального ресурса инфокоммуникационной сети по типам трафика с учетом приоритетов, в основу которого положен алгоритм Беллмана. Ил. 1. Библиогр. 4 назв.

УДК 621.391 **Ключевые слова:** помехоустойчивость приема сигналов, энергетический потенциал радиодлин, амплитудная модуляция, радиосвязь коротковолнового диапазона

А.А. Павлов, С.В. Дворников. **Повышение энергетического потенциала линий радиосвязи с амплитудной модуляцией//Морской вестник. 2023. № 2 (86). С. 81**

Приведены результаты разработки модели сигнала с управляемым уровнем несущего колебания. Получено аналитическое описание. Представлены предложения, позволяющие осуществлять синтез сигнала, с заданным уровнем несущего колебания. Ил. 3. Библиогр. 20 назв.

УДК 681.787.6 **Ключевые слова:** гидроакустическая антенна, гидролокатор, преобразователи, волоконно-оптические брегговские решетки, волоконно-оптический гидрофон, интерферометр Маха–Цендера, чувствительность

А.С. Гринвальд. **Внедрение волоконно-оптических технологий в гидроакустическую систему с целью повышения ее чувствительности и улучшения качества связи между судами//Морской вестник. 2023. № 2 (86). С. 83**

Рассмотрена проблема чувствительности гидроакустической станции, влияющей на скорость и точность передаваемой информации между судами. Выявлена необходимость перевода аналогового сигнала, формируемого в гидроакустическом канале передачи данных, в световой посредством внедрения волоконно-оптических технологий в гидроакустическую систему связи. На основании полученных результатов обоснована целесообразность использования гидроакустической станции, преобразователи которой выполнены на базе волоконно-оптических технологий. Ил. 7. Библиогр. 8 назв.

УДК 621.396.71 **Ключевые слова:** передающий радиодетектор, активная фазированная антенная решетка, частотный диапазон, ионосферное распространение радиоволн, логопериодическая антенна, полуволновый горизонтальный вибратор, ромбическая антенна, трассовые испытания

В.Д. Пашкевич. **Антенные поля передающих радиодетекторов ДКМВ диапазона на основе сверхширокополосных антенных систем//Морской вестник. 2023. № 2 (86). С. 86**

Рассмотрено современное техническое состояние антенных полей коротковолновых (КВ) стационарных передающих радиодетекторов. Сформулированы требования к антенным системам, которые должны применяться в составе радиодетекторов для эффективного функционирования на трассах протяженностями 100–5000 км. Предложен вариант построения высокочастотного тракта передающего радиодетектора с использованием сверхширокополосных пирамидальных изогнутых логопериодических и штыревых антенн, АФАР на их основе, а также вариант компоновки антенного поля таких систем в составе объекта. Т. 1. Ил. 12. Библиогр. 23 назв.

УДК 681.2:623.9 **Ключевые слова:** АО «НПФ «Меридиан», основные вехи, основоположник, развитие, продукция

А.А. Копанев. **140 лет в морском приборостроении. К юбилею Акционерного общества «Научно-производственная фирма «Меридиан»//Морской вестник. 2023. № 2 (86). С. 1. 94**

Об истории Научно-производственной фирмы «Меридиан», которой исполняется 140 лет. Рассмотрены основные этапы ее становления и развития. Обозначены виды продукции в разные периоды. Отмечены достигнутые успехи, намечены перспективы. Особо отмечены специалисты и руководители предприятия, внесшие весомый вклад в формирование имиджа успешной фирмы, чья продукция востребована не только у нас в стране, но и за рубежом. Ил. 9.

УДК 623.973 **Ключевые слова:** низкочастотное электромагнитное поле, система компенсации, электромагнитная индукция, измеритель индукции магнитного поля

Б.Ю. Семёнов. **Перспективы улучшения качества средств настройки корабельных систем компенсации низкочастотных электромагнитных полей//Морской вестник. 2023. № 2 (86). С. 97**

Приведены результаты современных исследований вопросов распространения низкочастотного электромагнитного поля в водной среде, рассматривается существующая аппаратура, используемая при настройке активных корабельных систем подавления низкочастотного электромагнитного поля. Сформулированы предложения по совершенствованию этих корабельных систем в соответствии с современными требованиями. Ил. 7. Библиогр. 6 назв.

УДК 629.5.062.13 **Ключевые слова:** алгоритм, интерцептор, моделирование, судно, управление, уравнение

Ю.В. Копытов, М.Л. Маринов, Д.А. Скороходов. **Исследование системы управления интерцепторами скоростного судна//Морской вестник. 2023. № 2 (86). С. 103**

Рассмотрены особенности формирования дифференциальных уравнений движения скоростного судна, оборудованного интерцепторами, которые позволяют интерпретировать их для любого судна данного типа. Предлагаемый подход к математическому моделированию позволяет

создать ряд достаточно простых как линейных, так и нелинейных имитационных моделей пространственного движения скоростного судна с интерцепторами, позволяющих решить задачу синтеза алгоритмов управления. Т. 2. Ил. 2. Библиогр. 7 назв.

УДК 621.31 **Ключевые слова:** информационно-вычислительные системы, алгоритм поиска неисправностей, электрические цепи, метод диагностики систем, модель выбора метода

В.Г. Пушин, В.В. Филиппов, Л.А. Просвирякова. **Модель выбора метода диагностики неисправностей электрической цепи из набора альтернатив//Морской вестник. 2023. № 2 (86). С. 109**

Рассмотрена модель выбора метода диагностики неисправностей электрических цепей информационно-вычислительных систем в зависимости от лимита времени на поиск и устранение неисправностей, полноты информации об элементах электрической цепи, о вероятности отказа каждого элемента, входящего в состав информационной системы. Ил. 6. Библиогр. 2 назв.

УДК 681.31 **Ключевые слова:** CAN, сеть, резервирование, информация, надежность, программа

П.Г. Федоров, Ю.А. Ушев. **Вопросы надежности сети CAN со структурно-информационным резервированием//Морской вестник. 2023. № 2 (86). С. 111**

Проанализированы методы повышения надежности сети CAN при внезапных отказах, возникающих при встрече с противником. Предложено программное обеспечение реализации информационного резервирования. Ил. 6. Библиогр. 2 назв.

УДК 62.51 **Ключевые слова:** программно-аппаратный комплекс (ПАК), проверка оборудования судов, морские автономные надводные суда (МАНС), береговой центр дистанционного управления (ЦДУ), математические модели, автоматизированные рабочие места (АРМ)

Д.В. Казунин, В.М. Амбросовский, Е.М. Леонова. **Программно-аппаратный комплекс для комплексной проверки оборудования группы МАНС, конвенционных судов и береговой инфраструктуры в условиях плотного судопотока //Морской вестник. 2023. № 2 (86). С. 115**

Рассмотрена задача проверки оборудования МАНС, конвенционных судов и береговой инфраструктуры и программно-аппаратный комплекс, реализующий эту проверку. Приведены структура и состав этого комплекса, а также показаны возможности его использования. Ил. 8. Библиогр. 2 назв.

УДК 627.77 **Ключевые слова:** ЭПРОН, аварийно-спасательная служба, аварийно-спасательная техника, водолазные работы, подводная лодка, спасательное судно, спасение, судоподъем

Г.А. Гребенщикова, В.С. Никитин, В.Н. Илюхин. **Роль и значение экспедиции подводных работ особого назначения в развитии судоподъемного, водолазного и спасательного дела России. К 100-летию ЭПРОН. Часть 1 //Морской вестник. 2023. № 2 (86). С. 120**

Рассмотрены этапы становления Экспедиции подводных работ особого назначения (ЭПРОН). Приведены наиболее значимые аварийно-спасательные и судоподъемные работы и научно-технические достижения ЭПРОН. Отмечена ключевая роль ЭПРОН в формировании организационных, научных и технических основ создания и развития аварийно-спасательных служб в различных ведомствах и организациях Ил. 4.

УДК 29.5:351.86 **Ключевые слова:** Адмиралтейств-коллегии, президент, вице-президент, указ, военно-морской флот

И.М. Кузнец. **Адмиралтейств-коллегии – 305 лет //Морской вестник. 2023. № 2 (86). С. 125**

Обозначены основные вехи деятельности первого органа управления военно-морским флотом России – Адмиралтейств-коллегии, ее трансформации в разные периоды существования, основные указы. Ил. 1. Библиогр. 14 назв.

1. Authors shall submit articles of up to 20,000 characters, including figures, in electronic form. The text shall be typed in MS Word under Windows, formulas – in the equation editor «MathType.» Illustrations present in the article shall be submitted additionally, in the following formats: TIFF CMYK (full color), TIFF GRAYSCALE (grayscale), TIFF BITMAP (dashed), EPS, JPEG, with resolution of 300 dpi for grayscale figures and 600 dpi for dashed ones and in sizes desired for placement.

2. Articles shall contain an abstract of up to 300 characters, keywords, and bibliographic library UDC identifier. Authors shall indicate their degree, academic status, place of employment, job position, and telephone number, as well as provide a written permission of the Editor to place articles on the Internet and in the Scientific Electronic Library after publication in the journal. Articles shall be submitted with reviews.

3. The articles of postgraduate and degree-seeking students shall be accepted for publication on a free and royalty-free basis.

4. The control review of these articles shall be performed by the editorial board, with the assistance of dedicated experts, if necessary. Reviews of articles are stored in editorial office of the magazine within 5 years.

5. In case of refusal to publish articles, reviews shall be sent to authors. Copies of reviews go to the Ministry of Education and Science of the Russian Federation at receipt of the corresponding inquiry in editorial office of the magazine.

6. The contents of the journal shall be submitted to the editorial board quarterly. The decision concerning the next issue of the journal shall be formally established with the protocol.

ABSTRACTS

UDC 629.5.01 **Keywords:** Arctic, Arctic region, development, parametrized mathematical model of infrastructure planning, simulation modeling, logistics, mining, ice-class combat surface ships, innovations in the design of icebreakers, ice steps

P.G. Tenishev, A.I. Gaikovich, Yu.A. Chashkov, A.V. Arkhipov, D.V. Kurochkin, G.G. Nikitina. To the concept of surface ships of the ice class//Morskoy vestnik. 2023. No. 2 (86). P. 7

About the prospects for the development of the Arctic region, as well as the influence of the fields of science and technology on the targeted modernization of the forces of the Navy for it. Formation on the basis of innovative new technologies in the field of shipbuilding architecture of a class of combat surface ships with increased ice-breaking ability as an essential element of deterrence forces in the region. T. 2. Fig. 11. Bibliography 11 titles.

UDC 629.5 **Keywords:** boat, icebreaker, ice-class border guard ship, project, Almaz Central Design Bureau, Marine Border Protection, Coast Guard, sea border

A.V. Shlyakhtenko, B.A. Leikis, A.L. Ivchenko. From the legendary boat MO-4 to the Arctic icebreaker of the Ermak type//Morskoy vestnik. 2023. No. 2 (86). P. 15

An overview of the projects of boats and ships designed for the maritime border guards for almost 90 years is given (from the NKVD Marine Border Guard to the Coast Guard of the Border Service of the FSB of Russia). Brief characteristics of boats and ships, their weapons and equipment are given. It is shown that the border boats and ships, created in the Almaz Central Design Bureau, meet modern requirements and surpass foreign ships of a similar purpose in a number of properties. T. 1. Fig. 10.

UDC 629.128 **Keywords:** cable laying, infield watercraft for cable laying, cable laying devices and vessels, installation and repair of submarine cable lines

R.N. Karaev. Engineering and technological support of cable-laying works. Part 2//Morskoy vestnik. 2023. No. 2 (86). P. 22

The design solutions of in-field cable layers of several types are considered. The requirements for the installation and repair of submarine cable lines are analyzed. Special cable laying devices are considered. T. 2. Fig. 6. Bibliography 6 titles.

UDC 629.5.01 **Keywords:** multi-purpose dry cargo vessel of increased container capacity, mixed navigation, project 00108, JSC DB Vympel

V.V. Volkov. Multipurpose dry cargo ships with increased container capacity//Morskoy vestnik. 2023. No. 2 (86). P. 17

The article provides a description of the project of a universal dry-cargo ship of mixed navigation, developed according to the technical documentation of Vympel DB. Particular attention is paid to the features of the vessel – increased container capacity, the ability to transport general and bulk cargo, high environmental friendliness. Brief performance characteristics of the vessel are presented. Fig. 2.

UDC 620.17 **Keywords:** additive manufacturing, WAAM, low-cycle fatigue, damage, informative parameter, microstructure, neuro-fuzzy systems

S.A. Mantserov, M. S. Anosov, D.S. Italiantsev. Diagnosis of structural damage in steel 09G2S obtained using WAAM technology with low-cycle fatigue based on neuro-fuzzy classification//Morskoy vestnik. 2023. No. 2 (86). P. 32

The accumulation of structural damage during fatigue loading has been studied using fractal analysis approaches and the development of new informative parameters for the quantitative analysis of the microstructure. Regularities of change in the developed parameters for damage assessment and pre-fracture criteria are established. On the basis of the research carried out, a neural network and software were developed for assessing structural damage to steel 09G2S obtained using the WAAM technology. T. 1. Fig. 6. Bibliography 19 titles.

UDC 614.843 **Keywords:** spectral methods for signal analysis; chaotic processes; diagnostic information; vibroacoustic measurements; models of chaotic dynamics; deterministic chaos

A.V. Makshanov, V.A. Kolesnik, D.V. Bykov, L.N. Tyndykar. Algorithms for the analysis of vibroacoustic signals based on models of non-stationarity and nonlinearity//Morskoy vestnik. 2023. No. 2 (86). P. 38

In a working mechanism, there is a wide range of different temporal rhythms that usually do not have a strict periodicity. They can be analyzed, for example, by conventional spectral methods, but the analysis of these rhythms from the standpoint of chaotic dynamics provides more and, most importantly, more clearly interpretable diagnostic information. This article is devoted to the development of some algorithms for identifying, visualizing and interpreting such rhythms in the time series of vibroacoustic measurements. Fig. 6. Bibliography 43 titles.

UDC 629.5.081 **Keywords:** digitalization, shipyard, modernization, automation, technical re-equipment, 3D model

K.S. Rogozina. Ways of introducing digital production in the manufacture of pipelines at a shipyard//Morskoy vestnik. 2023. No. 2 (86). P. 43

The article describes the formation and role of digitalization in the practical activities of a shipyard. The equipment of the pipe-working production is considered and analyzed, proposals are made to increase the level of automation by technical re-equipment of production and improvement of technology. At the heart of the introduction of new technologies is the desire for a comprehensive increase in efficiency and the creation of conditions for the successful operation of the enterprise. The transition to a «digital shipyard» allows you to effectively manage the life cycle of the vessel and will increase its competitiveness. T. 2. Bibliography 4 titles.

UDC 62–9 **Keywords:** machine learning, ship equipment, floating dock, repair, forecasting, maintenance, digital twin, parameter

S.G. Cherny, A.A. Zinchenko, P.A. Erofeev. Preventive maintenance of ship mechanisms using machine learning technology//Morskoy vestnik. 2023. No. 2 (86). P. 46

The failure of floating dock ballast pumps depends on the maintenance approaches used to predict such occurrences. The machine learning methodology was used

to process and analyze the operating parameters of the dock pump in order to draw conclusions from the data using MATLAB. The predictive maintenance tool predicted that the dock pump might fail or require service between weeks 7 and 8. The 14% deviation from the actual failure time can be attributed to the quality and low volume of recorded operational data. Fig. 3. Bibliography 6 titles.

UDC 62–932.2 **Keywords:** pultrusion, polymer composite materials, structural materials, prepreg

M.A. Baranov. Production of polymer composite materials for the production of products by pultrusion//Morskoy vestnik. 2023. No. 2 (86). P. 49

The subject of production of polymeric composite materials is covered by the example of obtaining a prepreg and manufacturing products by the pultrusion method. Fig. 4. Bibliography 4 titles.

UDC 621.165 **Keywords:** condenser, turbine, tube bundle, steam, condensation, ovality, swirling, steam velocity, heat transfer, algorithm, technique

O.O. Lebedev. Comparative analysis of methods for calculating steam condensers//Morskoy vestnik. 2023. No. 2 (86). P. 55

Vapor condensation is a complex process of interaction of several media with each other with a change in their phase state. To determine the area of the heat exchange surface, engineering thermal calculations were performed using various methods, as well as a comparison of existing methods for calculating steam condensers and methods for calculating a helical steam condenser in power plants. T. 2. Fig. 1. Bibliography 9 titles.

UDC 620.9 **Keywords:** power plant, autonomous facility, diesel generator set, combined power plant, automation, efficiency

V.V. Kamlyuk, I.O. Prutchnikov, I.V. Grechushkin. Prospects for the creation and use of highly efficient power plants for guaranteed power supply of autonomous objects//Morskoy vestnik. 2023. No. 2 (86). S. 57

The analysis of the creation and use of power plants for guaranteed power supply of autonomous objects was carried out and a new technical solution for the creation of an automated power plant was proposed, which allows expanding its functionality, scope and, in general, increasing the efficiency of operation. Fig. 1. Bibliography 5 titles.

UDC 623.827 **Keywords:** VNEU, ECG, TPTE, fuel cell, air-independent power plants

A.N. Dyadik, A.V. Yushkov. The system for converting and switching electricity in an air-independent power plant with an electrochemical generator//Morskoy vestnik. 2023. No. 2 (86). P. 60

A system for converting and switching electricity in an air-independent power plant with an electrochemical energy generator, designed to provide electricity to an external consumer and consumers of auxiliary needs of VNEU with ECG, is considered. Fig. 3. Bibliography 5 titles.

UDC 621.5 **Keywords:** compressor stations, calculation of labor intensity, design documentation, indicators, weight coefficients, Fishburn criterion

L.G. Kuznetsov, A.V. Burakov, D.A. Gribanov, R.R. Hotsky.

Method for calculating the labor intensity of the development of ship compressor stations using an analogue based on the ranking of technical characteristics//Morskoy vestnik. 2023. No. 2 (86). P. 65

The experience of JSC «Compressor» in the development of marine compressor equipment for ships and ships of the Navy is described, and an assessment of the complexity of developing design documentation for a compressor station being created within the framework of the SC R&D based on the complexity of design documentation of analogues is given. This technique can be used for a preliminary assessment of the complexity of developing design documentation for a new version of a design or expanding the type range of serial ship equipment based on the complexity of developing a basic version or an analogue. T. 2. Fig. 3. Bibliography 5 titles.

UDC 539.32:669.018.293 **Keywords:** endurance, work in variable modes, test base

A.Z. Bagerman. Evaluation of the endurance of nickel-based heat-resistant alloys under variable operating conditions and parameters of low-cycle fatigue//Morskoy vestnik. 2023. No. 2 (86). P. 68

Specific stress modules for endurance and low-cycle fatigue tests and a special algorithm have been developed that provide a predictive estimate of the fatigue limit at temperatures of 800–900 °C and low-cycle fatigue parameters at temperatures of 650–800 °C for nickel-based alloys. T. 4. Bibliography 4 titles.

UDC 623.8. **Keywords:** NPO Zavod «Volna», the history of the enterprise, radio engineering, radio-electronic equipment, communications equipment, electronic warfare equipment

N.V. Kulyk. From the first steps to the achievements of today. To the 90th anniversary of the Research and Production Association Zavod «Volna»//Morskoy Vestnik. 2023. No. 2 (86). S. 70

About the history of the Research and Production Association Zavod «Volna», which turns 90 years old. The main stages of the formation and development of the association and its constituent enterprises are considered. The main types of products in different periods are listed. The achieved successes are noted, prospects are outlined. Fig. 29.

UDC 621.391 **Keywords:** channel resource optimal allocation algorithm, Bellman algorithm, control system

P.V. Lebedev, L.V. Vorobyov, E.A. Rylov. The method of optimal distribution of the channel resource of information directions of the communication network by types of traffic, taking into account priorities//Morskoy vestnik. 2023. No. 2 (86). P. 77

An approach to the synthesis of an algorithm for the optimal distribution of the channel resource of an information network by the types of traffic, taking into account priorities, based on the Bellman algorithm, is presented. Fig. 1. Bibliography 4 titles.

UDC 621.391 **Keywords:** noise immunity of signal reception, power potential of radio links, amplitude modulation, shortwave radio communication

A.A. Pavlov, S.V. Dvornikov. Increasing the energy potential of radio communication lines with amplitude modulation//Morskoy vestnik. 2023. No. 2 (86). P. 79

The article presents the results of the development of a signal model with a controlled level of the carrier wave. An analytical description has been obtained. Proposals are presented that allow the synthesis of a signal with a given level of the carrier oscillation, and simulation results are presented. Fig. 3. Bibliography 20 titles.

UDC 681.787.6 **Keywords:** hydroacoustic antenna, sonar, transducers, fiber-optic Bragg gratings, fiber-optic hydrophone, Mach-Zehnder interferometer, sensitivity

A.S. Greenwald. Implementation of fiber-optic technologies in the hydro-acoustic system in order to increase its

sensitivity and improve the quality of communication between ships//Morskoy vestnik. 2023. No. 2 (86). P. 83

The problem of the sensitivity of a hydroacoustic station, which affects the speed and accuracy of information transmitted between ships, is considered. The necessity of translating the analog signal formed in the hydroacoustic data transmission channel into the light one by introducing fiber-optic technologies into the hydroacoustic communication system is revealed. Based on the results obtained, the expediency of using a hydroacoustic station, the transducers of which are made on the basis of fiber-optic technologies, is substantiated. Fig. 7. Bibliography 8 titles.

UDC 621.396.71 **Keywords:** transmitting radio center, active phased antenna array, frequency range, ionospheric propagation of radio waves, log-periodic antenna, half-wave horizontal vibrator, rhombic antenna, field tests

V.D. Pashkevich. Antenna fields of transmitting radio centers of the DHMW range based on ultra-wideband antenna systems//Morskoy vestnik. 2023. No. 2 (86). P. 86

The current technical state of antenna fields of short-wave (HF) stationary transmitting radio centers is considered. The main requirements for antenna systems are formulated, which should be used as part of radio centers for effective operation on routes 100–5000 km long. Based on the totality of the obtained calculated and experimental results, a variant of constructing a high-frequency path of a transmitting radio center using ultra-wideband pyramidal curved log-periodic and whip antennas, AFAA based on them, as well as a variant of the layout of the antenna field of such systems as part of an object, is proposed. T. 1. Fig. 12. Bibliography 23 titles.

UDC 681.2: 623.9 **Keywords:** JSC «RPF «Meridian», milestones, founder, development, products

A.A. Kopanev. 140 years in marine instrumentation. To the anniversary of the Joint-Stock Company «Scientific and Production Company «Meridian»//Morskoy Vestnik. 2023. No. 2 (86). P. 1, 94

About the history of the founding of the RPF «Meridian», which turns 140 years old. The main stages of its formation and development are considered. Types of products in different periods are indicated. The achieved successes are noted, prospects are outlined. The specialists and managers of the enterprise, who made a significant contribution to the formation of the image of a successful company, whose products are in demand not only in our country, but also abroad, were especially noted. Fig. 9.

UDC 623.973 **Keywords:** Low-frequency electromagnetic field, compensation system, electro-magnetic induction, magnetic field induction meter

B.Yu. Semyonov. Prospects for improving the quality of shipboard tuning tools compensation systems for low-frequency electromagnetic fields//Morskoy vestnik. 2023. No. 2 (86). P. 97

The article presents the results of modern research on the propagation of a low-frequency electromagnetic field in the aquatic environment, considers the existing equipment used in setting up active ship systems for suppressing a low-frequency electromagnetic field, and formulates proposals for ways to improve in accordance with modern requirements. Fig. 7. Bibliography 6 titles.

UDC 629.5.062.1 **Keywords:** algorithm, interceptor, modeling, ship, control, equation

Yu. V. Kopytov, M. L. Marinov, D. A. Skorokhodov. Study of the control system of high-speed ship interceptors//Morskoy vestnik. 2023. No. 2 (86). P. 103

The features of the formation of differential equations of motion of a high-speed vessel equipped with spoilers are considered, which allow them to be interpreted for any vessel of this type. The proposed approach to mathematical modeling makes it possible to create a number of fairly simple both linear and non-linear simulation models

of the spatial motion of a high-speed vessel with spoilers, which allow solving the problems of synthesis of control algorithms. T. 2. Fig. 2. Bibliography 7 titles.

UDC 621.31 **Keywords:** Information and computing systems, troubleshooting algorithm, electric circuits, system diagnostics method, method selection model

V.G. Pushin, V.V. Filippov, L.A. Prosviryakova. Model for choosing a method for diagnosing electrical circuit malfunctions from a set of alternatives//Morskoy vestnik. 2023. No. 2 (86). P. 109

A model for choosing a method for diagnosing faults in electrical circuits of information and computing systems is considered depending on the time limit for troubleshooting and troubleshooting, the completeness of information about the elements of the electrical circuit in terms of knowledge of the probability of failure of each element that is part of the information system. Fig. 6. Bibliography 2 titles.

UDC 681.31 **Keywords:** CAN, network, redundancy, information, reliability, program

P.G. Fedorov, Yu.A. Ushev. Issues of reliability of the CAN network with structural-information redundancy//Morskoy vestnik. 2023. No. 2 (86). P. 111

Methods for improving the reliability of the CAN network in case of sudden failures that occur when meeting with an enemy are analyzed. Proposed software for the implementation of information redundancy. Fig. 6. Bibliography 2 titles.

UDC 62.51 **Keywords:** Software and hardware complex (HSC), ship equipment check, marine autonomous surface vessels (MANS), MANS categories, coastal remote control center (CDU), mathematical models, automated workstations (AWS)

D.V. Kazunin, V.M. Ambrososky, E.M. Leonova. Software and hardware complex for comprehensive testing of equipment of the IANS group, conventional ships and coastal infrastructure in conditions of heavy traffic//Morskoy Vestnik. 2023. No. 2 (86). P. 115

The article considers the task of checking the equipment of the MANS, conventional ships and coastal infrastructure and the software and hardware complex that implements this check. The structure and composition of this complex is given, and the possibilities of its use are shown. Fig. 8. Bibliography 2 titles.

UDC 627.77 **Keywords:** EPRON, rescue service, rescue operations, rescue equipment, rescue support, diving, submarine, rescue ship, rescue, ship recovery

G.A. Grebenshchikova, V.S. Nikitin, V.N. Ilyukhin. The role and significance of the expedition of special underwater works in the development of ship-lifting, diving and rescue business in Russia. To the 100th anniversary of EPRON. Part 1//Morskoy vestnik. 2023. No. 2 (86). P. 120

The article discusses the main conditions for the emergence and development of the Special Purpose Underwater Expedition (EPRON), as well as the main achievements at the stages of its development. The most significant rescue and ship lifting operations and scientific and technical achievements of EPRON are given. The key role of EPRON in the formation of the organizational, scientific, and technical foundations for the creation and development of emergency rescue services in various departments and organizations was noted. The role of figures of science and practice of emergency rescue business in the achievements of EPRON is shown. Fig. 4.

UDC 29.5: 351.86 **Keywords:** Admiralty Board, president, vice president, decree, navy

I.M. Kuzinets. Admiralty Board – 305 years//Morskoy vestnik. 2023. No. 2 (86). P. 125

The main milestones in the activities of the first governing body of the Russian Navy – the Admiralty College, its transformation in different periods of existence, the main decrees are outlined. Fig. 1. Bibliography 14 titles.