

Морской



Вестник

№3(91)
сентябрь

2024

ISSN 1812-3694

Morskoy Vestnik

АО «ЦМКБ «Алмаз»

75 лет

**Многогранность
мысли –
совершенство
технологий**



ОСК

ОБЪЕДИНЕННАЯ
СУДОСТРОИТЕЛЬНАЯ
КОРПОРАЦИЯ



АЛМАЗ

ЦЕНТРАЛЬНОЕ МОРСКОЕ КОНСТРУКТОРСКОЕ БЮРО

10 октября исполняется 80 лет Владимиру Леонидовичу Александрову, Герою РФ, выдающемуся инженеру-кораблестроителю и организатору подводного и надводного кораблестроения, известному деятелю прикладной науки и судостроительного образования.

Родился он 1944 г. в Ленинграде в семье рабочих. Окончил Ленинградский кораблестроительный институт по специальности «судостроение и судоремонт» (1967). Производственную деятельность начал в должности помощника мастера стапельного цеха № 9 Ново-Адмиралтейского завода (1967). Прошел трудовой путь до начальника цеха строительства подводных лодок и глубоководных аппаратов, затем от заместителя начальника производственного отдела до главного инженера предприятия. В 1984 г. был назначен генеральным директором Ленинградского Адмиралтейского объединения (с 2008 г. – ОАО «Адмиралтейские верфи»), во главе которого проработал почти 27 лет (по 2011 г.). Владимир Леонидович непосредственно участвовал в строительстве и сдаче в эксплуатацию более 140 кораблей, глубоководных аппаратов и судов военного и гражданского назначения, среди которых более 40 АПЛ в том числе проекта 705.

Он участвовал в реализации технических решений, позволивших повысить надежность и эксплуатационную безопасность кораблей при сокращении сроков их строительства (технологии автоматической сварки титановых корпусов кораблей, гидравлические испытания корпусов, совершенствование кабельных вводов прочного корпуса, новых методов спуска кораблей и др.). Внес значительный вклад в организацию строительства уникальных головных и серийных глубоководных станций, лично участвовал в проведении наиболее ответственных этапов испытаний заказов с выездами в район их базирования. Удостоен Государственной премии в области науки и техники (1994) и высшего звания в стране – Героя РФ (1998).

Возглавляя ФГУП «Адмиралтейские верфи» в трудные 80-е и 90-е гг., обеспечил бесперебойную работу завода и его развитие в новых экономических условиях. Осуществил ряд инициатив, уникальных для отрасли в целом: организовал Инженерный центр (1994) – собственное инженерное подразделение предприятия, которому были приданы многие функции КБ; создал Учебный центр по подготовке специалистов рабочих и инженерных профессий; организовал Институт

К 80-ЛЕТИЮ В.Л. АЛЕКСАНДРОВА

*Российское НТО судостроителей им. акад. А.Н.Крылова,
контакт.тел. (812) 710 4011*



морской техники и технологий (2003) на базе филиала кафедры СПбГМТУ для подготовки морских инженеров по подводному кораблестроению.

Эти эффективные управленческие решения и целый ряд других позволили предприятию выполнять госказ, инициировать строительство новейших ДЭПЛ пр. «Лада», развивать строительство коммерческих нефтеналивных судов.

Итогом научным исследований, выполненных В.Л. Александровым в областях технологии и организации судостроительного производства, применения информационных технологий при проектировании кораблей и повышении конкурентоспособности и эффективности управления судостроительным предприятием, стали защита им диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук на тему «Конструктивные, технологические и организационные проблемы повышения конкурентоспособности танкеров отечественной постройки на внешнем рынке» (1994) и доктора технических наук на тему «Совершенствование судостроительного производства и повышение его эффективности в новых экономических условиях».

С 2011 г. В.Л. Александров является профессором кафедры «Технологии и организации судостроительного производства» и директором Института морской техники и технологии СПбГМТУ. С 2001 по 2015 г. он президент

Ассоциации судостроителей Петербурга и Ленинградской области, в настоящее время – ее Почетный президент. С 2002 г. по настоящее время – вице-президент Санкт-Петербургского Союза промышленников и предпринимателей. В 2002 г. избран президентом Российского научно-технического общества судостроителей им. акад. А.Н. Крылова, с 2017 г. – Почетный президент. По инициативе и личной поддержке В.Л. Александрова установлен памятник академику А.Н. Крылову в г. Чебоксары и выполнена реставрация музея на родине А.Н. Крылова в д. Крылово в Чувашии.

Более полувековая плодотворная деятельность В.Л. Александрова на благо судостроения, флота и государства получила заслуженное признание и высокую оценку, отмечена целым рядом государственных и общественных наград. Он награжден орденами «Трудового Красного Знамени» (1985) и «За заслуги перед Отечеством» IV степени (2010), медалью «За трудовую доблесть» (1979). Отмечен Благодарностью Президента Российской Федерации (1999). Ему присвоено звание «Почетный гражданин Санкт-Петербурга» (2003).

В.Л. Александров – обладатель почетных званий «Заслуженный инженер России» (2000) и «Человек года» (2000). Отмечен памятными и почетными знаками: «Общественное признание» (2000), «Почетный работник начального профессионального образования Российской Федерации» (2001), «Почетный судостроитель» (2003), «За заслуги перед Петербургом» (2004). Он – лауреат Национальной премии «Золотая идея» (2001). Награжден рядом памятных и юбилейных медалей. Отмечен наградами Русской Православной Церкви: медалью, а затем орденом Даниила Московского (1996, 2004), орденом Святого Преподобного Сергия Радонежского (2001).

Центральное правление Российского и Международного НТО судостроителей им. акад. А.Н. Крылова сердечно поздравляют Владимира Леонидовича с юбилеем и желают ему крепкого здоровья, творческого долголетия и реализации больших планов.

Редсовет и редколлегия журнала присоединяются к этим поздравлениям и желают В.Л. Александрову благополучия и новых научных и организационных свершений. ■



Редакционный совет

Сопредседатели:

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

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

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

Г.А. Туричин, ректор СПбГМТУ

Члены совета:

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

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

Н.М. Вихров, генеральный директор ЗАО «Канонерский судоремонтный завод»

В.Э. Гель, генеральный директор АО «УК «Радиостандарт»

К.Г. Голубев, генеральный директор АО «ЦМКБ «Алмаз»

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

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

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

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

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

Г.А. Коржавин, научный руководитель АО «Концерн «Гранит-Электрон»

А.В. Кузнецов, председатель совета директоров АО «Армалит»

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

Н.В. Кулык, генеральный директор АО «НПО Завод «Волна»

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

И.М. Мухудинов, генеральный директор ПАО «СФ «Алмаз»

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

А.А. Павлов, генеральный директор АО «НТИ «Радиосвязь»

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»

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

СОДЕРЖАНИЕ

К 80-летию В.Л. Александрова 1

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И КОНСТРУКЦИЯ СУДОВ

К. Г. Голубев. Многогранность мысли – совершенство технологий. ЦМКБ «Алмаз» - 75 лет 6

С. Ю. Афанасьева, А. В. Кошелев, С. М. Тимофеев, В. В. Чугунов. Универсальное судно снабжения нового поколения 11

П. А. Зубков. Инновационный взгляд компании ООО «Морские комплексные системы» на эргономическое обеспечение проектирования жилых и служебных помещений перспективных кораблей и судов 15

А. В. Юрканский, И. И. Ремизов, Е. В. Корнилова. Определение изгиба буксируемых антенн, вытущенных из подводных аппаратов 18

С. И. Овсянников. К 130-летию В. А. Никитина 23

ТЕХНОЛОГИЯ СУДОСТРОЕНИЯ, СУДОРЕМОНТА И ОРГАНИЗАЦИЯ СУДОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Средне-Невский судостроительный завод продолжает серийное строительство кораблей противоминной обороны 25

СУДОВЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ И ИХ ЭЛЕМЕНТЫ

В. К. Румб. Мировые тенденции развития судового дизелестроения 27

А. В. Бураков, Р. Р. Хотский, П. Ю. Зуев, А. И. Абрамов. Разработка систем управления, обеспечивающих диагностику с применением робастного метода для перспективных судовых поршневых компрессоров 33

С. А. Поляков, Д. В. Федосеев, А. А. Шатульский. Влияние различных режимов термической обработки и количественного содержания примесей на микроструктуру и механические свойства СЛС-сплава KX28 M6 38

В. В. Романовский, А. А. Бежик, А. Л. Богословский. Анализ технических неисправностей гребной электрической установки типа AZIPOD 44

А. В. Балакин, А. Н. Дядик, Д. С. Маловик. Исследование влияния внешней среды на параметры системы удаления диоксида углерода 52

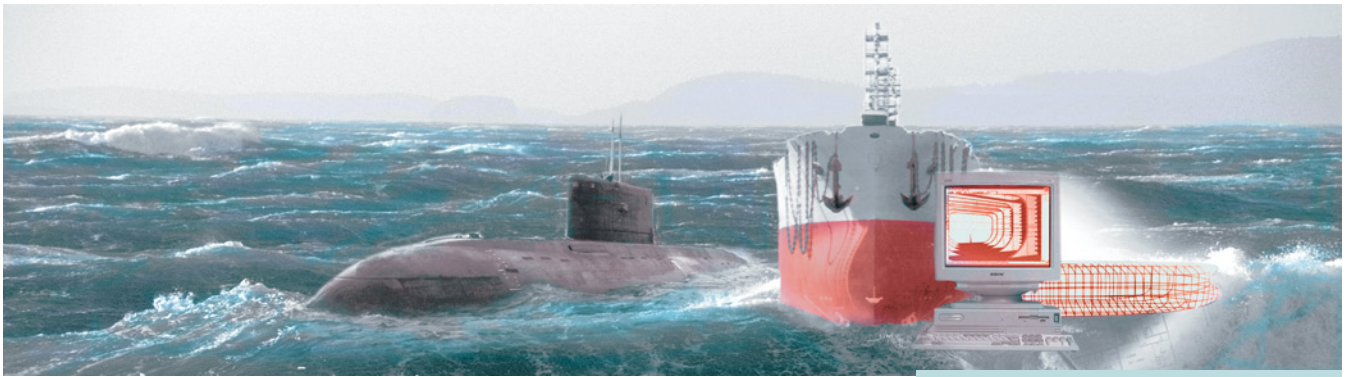
Э. В. Балашова, В. В. Толмачев. Аналитическое выражение соотношения мощностей газотурбинной и паротурбинной установок, работающих в составе бинарной парогазовой установки 56

А. Н. Андрюнин, Н. В. Андрюнин, А. С. Кухтик, В. Н. Половинкин. Анализ разработки и исследования характеристик металлопневматических амортизаторов для энергетического оборудования кораблей ВМФ 58

А. Е. Васильев, А. В. Вегнер, Д. Е. Голубева, В. А. Карпенко, В. Д. Ковалев. Робототехнический комплекс средств диагностики внутренней поверхности судовых валопроводов 62

В. А. Одинаев, И. И. Шигапов, В. Д. Долгов, К. Г. Саськов. Применение переносных диагностических комплексов для объективной оценки технического состояния судового энергетического оборудования 66

А. Г. Мальцев, А. Л. Смирнов, Е. В. Русанова. Модернизация серийной установки опреснения воды ПРО-5 в целях замены импортных комплектующих изделий 75



ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ ПРИБОРОСТРОЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ

- С. В. Русин, В. Д. Пашкевич, В. А. Казначеев, Я. А. Демидов, А. М. Шанин.**
Модульная передающая фазированная антенная решетка 79
- Е. В. Галузов, И. В. Галуц, К. В. Гольдибаев, Е. И. Глушанков, Е. А. Рылов, А. В. Сорокин.**
Разработка программного имитатора ионосферного канала связи на основе модели Ваттersona 83

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ И УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ

- В. Е. Мартышенков, Е. А. Кудряцев.**
К 65-й годовщине атомного ледокольного флота России 88
- А. С. Батурич, Б. П. Верба, Р. А. Тратканов.**
Пути организации взаимодействия радиосредств различных систем связи 91
- А. А. Погорелов, А. В. Селезнёв, С. С. Дворников, К. Е. Копысова, А. Ю. Федосов, С. В. Дворников.**
Повышение достоверности приема сигналов морской радиосвязи ПВ/КВ диапазона за счет уточнения порога принятия решения в демодуляторе 95
- Н. А. Бабич, А. М. Чуманов.**
Встраиваемая платформа искусственного интеллекта для выявления аномалий в работе систем 99
- В. В. Кобзев, В. В. Меледин.**
Направления развития тренажёростроения в АО «Концерна «НПО «Аврора» 103
- С. А. Гейко.**
Алгоритмическое и информационное обеспечение центра управления нормативно-справочной информацией, используемой при проектировании 109
- В. Н. Грачев, Ю. В. Беляев, Н. С. Давыдов.**
Корабельный аппаратно-программный комплекс мониторинга предожарных ситуаций, выработки прогноза развития пожара и рекомендаций в сложившейся обстановке 111
- А. С. Корнев, А. С. Скрытка, С. П. Хабаров.**
Навигационные системы автономного судна: режимы работы и требования к навигационным приборам 115
- А. С. Кемеров, А. В. Матвеев, А. В. Нестеров, Т. Е. Самсонова, Д. Н. Мосичкин.**
Секстан со встроенным аппаратно-программным комплексом «Звездочёт» 119

НА КНИЖНОЙ ПОЛКЕ

- «Океанотехника и морские операции на шельфе» 122
- «Эпоха главкома С. Г. Горшкова – взгляд из XXI века» 122

В МОРСКОМ СОБРАНИИ

- С. Н. Ирютин, В. Н. Торба.**
56-я Ассамблея Санкт-Петербургского Морского собрания 123

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, доцент
В. В. Барановский, д-р техн. наук, проф.
Е. И. Глушанков, д-р техн. наук, проф.
Е. А. Горин, д-р эконом. наук, проф.
С. В. Дворников, д-р техн. наук, проф.
В. Н. Илюхин, д-р техн. наук, проф.
Б. П. Ионов, д-р техн. наук, проф.
Д. В. Казунин, д-р техн. наук
Р. Н. Караев, канд. техн. наук
В. В. Кобзев, д-р техн. наук, проф.
Ю. Н. Кормилицин, д-р техн. наук, проф.
П. А. Кротов, д-р истор. наук, проф.
Д. И. Кузнецов, д-р техн. наук, доцент
П. И. Малеев, д-р техн. наук
Д. В. Никущенко, д-р техн. наук
Ю. Ф. Подоплёкин, д-р техн. наук, проф., акад. РАН
В. Н. Половинкин, д-р техн. наук, проф.
А. В. Пустошный, д-р техн. наук, проф., чл.-корр. РАН
А. А. Родионов, д-р техн. наук, проф.
К. В. Рождественский, д-р техн. наук, проф.
Н. В. Савищенко, д-р техн. наук, проф.
А. Б. Фомичёв, д-р техн. наук, проф.
В. И. Черненко, д-р техн. наук, проф.

Редакция

Тел./факс: (812) 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.perechen.vak2.ed.gov.ru

Подписка на журнал «Морской вестник»
(индекс ПМ 467) может быть оформлена по
каталогу Почты России «Подписные издания»
или непосредственно в редакции журнала через
издательство «Мор Вест»

Отпечатано в ООО «Типография «Премиум-пресс»
Адрес типографии: 190020, Санкт-Петербург,
Нарвский пр., д.18 лит. А

Тираж 250 экз. Заказ № 1365

Дата выхода в свет – 10.09.2024

Каталожная цена – 675,42 руб.

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



Editorial Council

Co-chairman:

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

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

V.S. Nikitin,

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

G.A. Turichin, Rector SPbSMTU

Council Members:

A.A. Aslanyan, General Director
JSC RPF Meridian

I.Yu. Burtsev, Acting Director JSC CRIME

V.Yu. Dorofeev, General Director
JSC SPMDB Malachite

S.G. Filimonov, General Director
JSC Concern Morflot

V.E. Gel, General Director JSC MC Radiostandart

K.G. Golubev, General Director JSC Almaz CMDB

S.N. Iryutin, Chairman

St. Petersburg Marine Assembly

E.A. Konov, Director

JSC Publishing House Mor Vest

G.A. Korzhavin, Scientific Director
JSC Concern Granit-Elektron

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

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

L.G. Kuznetsov, General Designer
JSC Compressor

I.M. Mukhutdinov, General Director
JSC Almaz Shipbuilding Company

G.N. Muru, General Director JSC 51 CDTISR

O.A. Ostapko, General Director
JSC Severnoye Design Bureau

A.A. Pavlov, General Director JSC NTI Radiosvyaz

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 Avrora

K.A. Smirnov, General Directors JSC MNS

I.S. Sukhovinsky, Director JSC VINETA

V.S. Tatarsky, General Director JSC ERA

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

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

P.A. Zubkov, General Director MCS LLC

ABSTRACTS

On the 80th anniversary of V.L. Alexandrov..... 1

SHIP DESIGN AND CONSTRUCTION

K. G. Golubev. *Versatility of thought – perfection of technology.*
Almaz Central Marine Design Bureau – 75 years 6

S. Yu. Afanas'yeva, A. V. Koshelev, S. M. Timofeev, V. V. Chugunov. *Universal*
supply vessel of the new generation..... 11

P. A. Zubkov. *Innovative view of the company Marine Complex Systems LLC on*
ergonomic support for designing residential and service spaces of advanced ships
and vessels 15

A. V. Yurkansky, I. I. Remizov, E. V. Kornilova. *Determination of the bending*
of towed antennas released from underwater vehicles 18

S. I. Ovsyannikov. *To the 130th anniversary of V. A. Nikitin*..... 23

TECHNOLOGY OF SHIPBUILDING, SHIP REPAIR AND ORGANISATION OF SHIPBUILDING

Sredne-Nevsky Shipyard continues serial production of mine defense ships..... 25

SHIP POWER PLANTS AND THEIR ELEMENTS

V. K. Rumb. *World trends in the development of marine diesel engineering*..... 27

A. V. Burakov, R. R. Khotskiy, P. Yu. Zuev, A. I. Abramov. *Development*
of control systems providing diagnostics using a robust method for promising
marine piston compressors..... 33

S. A. Polyakov, D. V. Fedoseyev, A. A. Shatul'sky. *Effect of various heat treatment*
modes and quantitative impurity content on the microstructure and mechanical
properties of the SLS alloy KH28M6 38

V. V. Romanovsky, A. A. Bezhik, A. L. Bogoslovsky. *Analysis of technical*
malfunctions of the electric propeller installation of the AZIPOD type 44

A. V. Balakin, A. N. Dyadik, D. S. Malovik. *Study of the influence of the external*
environment on the parameters of the carbon dioxide removal system 52

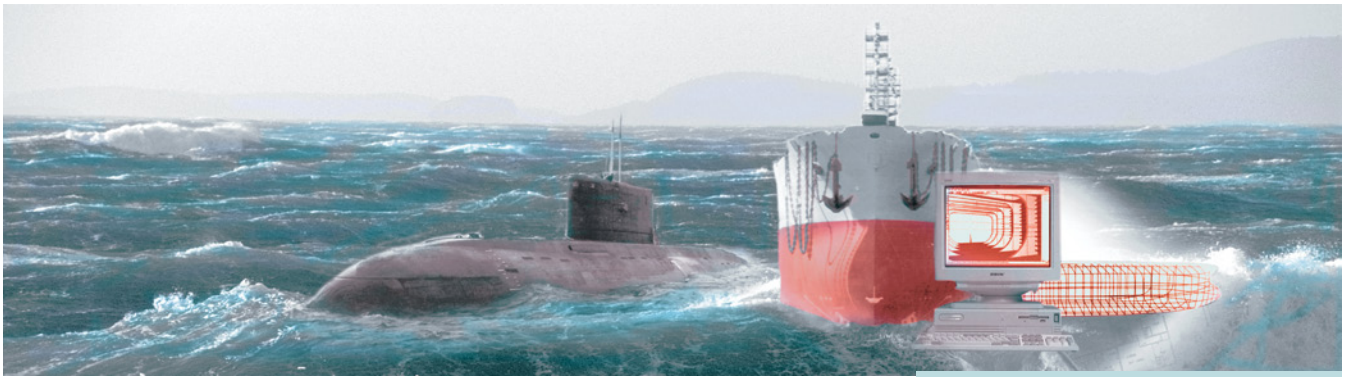
E. V. Balashova, V. V. Tolmachev. *Analytical expression of the ratio*
of the capacities of gas turbine and steam turbine plants operating as part
of a binary combined-cycle plant..... 56

A. N. Andryunin, N. V. Andryunin, A. S. Kukhtik, V. N. Polovinkin. *Analysis*
of the development and study of the characteristics of metal-pneumatic
shock absorbers for power equipment of naval ships 58

A. E. Vasil'ev, A. V. Wegner, D. E. Golubeva, V. A. Karpenko, V. D. Kovalev.
Robotic complex of diagnostic tools for the inner surface of ship shafting systems..... 62

V. A. Odinaev, I. I. Shigapov, V. D. Dolgov, K. G. Saskov. *Application*
of portable diagnostic complexes for objective assessment of the technical condition
of marine power equipment..... 66

A. G. Mal'tsev, A. L. Smirnov, E. V. Rusanova. *Modernization of the serial water*
desalination plant PRO-5 in order to replace imported components..... 75



DESIGN AND TECHNOLOGY OF INSTRUMENT MAKING AND RADIO ELECTRONIC EQUIPMENT

- S. V. Rusin, V. D. Pashkevich, V. A. Kaznacheev, Ya. A. Demidov, A. M. Shanin.** Modular transmitting phased array antenna 79
- E. V. Galuzov, I. V. Galuts, K. V. Gol'dibaev, E. I. Glushankov, E. A. Rylov, A. V. Sorokin.** Development of a software simulator of an ionospheric communication channel based on the Watterson model..... 83

INFORMATION-MEASURING AND MANAGEMENT SYSTEMS

- V. E. Martyshenkov, E. A. Kudryavtsev.** On the 65th Anniversary of the Nuclear Icebreaker Fleet of Russia 88
- A. S. Baturin, B. P. Verba, R. A. Tratkanov.** Ways of organizing the interaction of radio facilities of various communication systems 91
- A. A. Pogorelov, A. V. Seleznev, S. S. Dvornikov, K. E. Kopysova, A. Yu. Fedosov, S. V. Dvornikov.** Increasing the reliability of reception of marine radio communication signals in the MF/HF range by specifying the decision threshold in the demodulator 95
- N. A. Babich, A. M. Chumanov.** Embedded artificial intelligence platform for anomalous activity detection 99
- V. V. Kobzev, V. V. Meledin.** Directions of development of simulator manufacturing in JSC Concern SPA Aurora 103
- S. A. Geiko.** Algorithmic and information support of the control center for normative and reference information used in design 109
- V. N. Grachev, Yu. V. Belyaev, N. S. Davydov.** Ship hardware and software complex for monitoring pre-fire situations, developing a fire development forecast and recommendations in the current situation 111
- A. S. Korenev, A. S. Skrypka, S. P. Khabarov.** Autonomous Vessel Navigation Systems: Operating Modes and Requirements for Navigation Instruments..... 115
- A. S. Kemerov, A. V. Matveyev, A. V. Nesterov, T. E. Samsonova, D. N. Mosichkin.** Sextant with built-in hardware and Zvezdochet software complex 119

ON THE BOOKSHELF

- Ocean engineering and offshore marine operations* 122
- The era of Commander-in-Chief S. G. Gorshkov – a view from the 21st century*..... 122

IN THE MARINE ASSEMBLY

- S. N. Iryutin, V. N. Torba.** 56th Assembly of the St. Petersburg Maritime Assembly 123

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., docent

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

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

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

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

E.I. Glushankov, D. Sc., Prof.

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

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

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

D.V. Kazunin, D. Sc.

R.N. Karaev, Ph. D.

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

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

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

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

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

P.I. Maleev, D. Sc.

D.V. Nikushchenko, D. Sc.

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

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

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

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

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

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

Editorial staff

Phone/Fax +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 250 . Order № 1365

Publication date – 10.09.2024

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 with publication in open press.

Reprinting is allowed only with permission of the editorial staff

22 октября 2024 г. Центральному морскому конструкторскому бюро «Алмаз» исполняется 75 лет. За это время Бюро выполнило более 600 проектных, научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, по разработанным проектам построено более 26 тысяч кораблей и катеров (рис. 1). Можно уверенно сказать, что в создании

МНОГОГРАННОСТЬ МЫСЛИ - СОВЕРШЕНСТВО ТЕХНОЛОГИЙ ЦМКБ «АЛМАЗ» - 75 ЛЕТ

К.Г. Голубев, д-р техн. наук, ген. директор АО «ЦМКБ «Алмаз»,
контакт. тел. (812) 373 2800

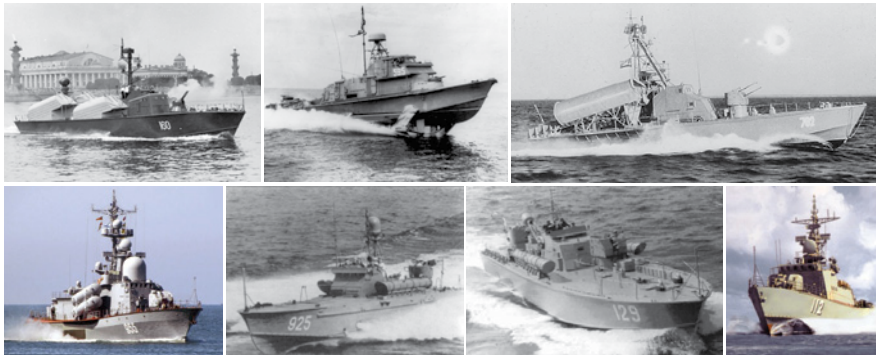


Рис. 1. Скоростные боевые катера ЦМКБ «Алмаз»

различных видов ударных, патрульных, десантных, специального назначения катеров, кораблей и судов малого и среднего водоизмещения в России ЦМКБ «Алмаз» играло и играет важную роль.

Многие из разработанных проектов кораблей называют первыми в мире и опередившими время. Это и ракетные катера, и малые ракетные корабли, и скоростные корабли с динамическими принципами поддержания (самый крупный десантный корабль на воздушной подушке, ракетный корабль на воздушной подушке скегового типа, малый ракетный корабль на глубоководных крыльях с автоматическим управлением) и многие другие (рис. 2).

Как и у любой сложившейся проектной организации с большой историей и преемственностью поколений, у ЦМКБ «Алмаз» есть свой «почерк», своя научная «школа». На «почерк» «Алмаза» сильное влияние оказала многопрофильность проектирования кораблей и скоростных катеров с динамическими принципами поддержания, водоизмещающих кораблей различных классов и наукоемких судов водоизмещением до 10 000 т, в том числе арктического класса, а также плавучих доков (рис. 3).

Для проектирования каждого класса корабля необходимы компетенции, опыт и научная база, что требовало от бюро

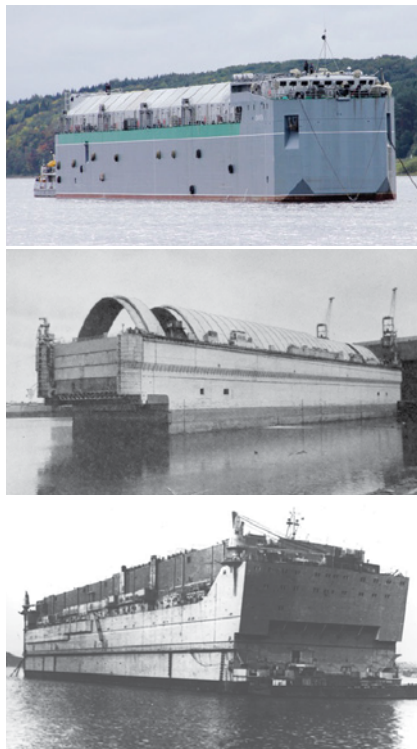


Рис. 3. Плавучие доки «ЦМКБ «Алмаз»

гибкости и многогранности «мышления», что и являлось основой научной школы ЦМКБ «Алмаз».

Многие из проектов кораблей и катеров ЦМКБ «Алмаз» строились крупными сериями, что требовало от бюро

большой работы по унификации и стандартизации конструктивных решений, повышения технологичности. Наша организация занимает активную позицию в совершенствовании технологичности проектов и применении передовых современных технологий, доступных в производстве.



Рис. 4. Малые ракетные корабли, которые строились и строятся крупными сериями

Так сложилась практика распределения заказов, что строительство по проектам бюро велось практически на всех заводах отрасли во всех регионах страны. Благодаря этому накоплен богатейший опыт унификации взаимодействия с заводами-строителями (в настоящее время информационного взаимодействия), имеющими различные технологические мощности. Сейчас наши проекты строятся на 19 заводах РФ, и бюро понимает как проблемы постройки судов, так и особенности технологии строительства на каждом из них. Этот накопленный опыт востребован и используется



Рис. 2. Корабли ЦМКБ «Алмаз», опередившие время





Рис. 5. Корабль ПМО пр. 12700 из полимерных композитных материалов

в настоящее время при принятии унифицированных и технологичных конструкторских решений (рис. 5). Широкий спектр проектируемых кораблей и катеров оказывает влияние и на вариативность спектра таких решений.

При проектировании корпусов кораблей, судов и катеров разного класса используется обширная номенклатура разнородных конструкционных материалов, таких как судостроительная углеродистая и низколегированная стали (в том числе маломанганитная), алюминий-магниево-медные сплавы и современные полимерные композитные материалы.

Только в АО «ЦМКБ «Алмаз» проектируются самые крупные в мире серийные надводные корабли с корпусом из полимерных композитных материалов, длиной корпуса до 70 метров, позволяющий использовать заводу-строителю АО «Средне-Невский судостроительный завод» современные технологии изготовления крупногабаритных конструкций из полимерных композитных материалов.



Рис. 6. Пограничный корабль ледового класса Arc7 с высоковольтной системой электродвижения

Многопрофильность проектируемых кораблей, судов и катеров также оказала влияние и на применение различных схемных решений главных энергетических установок, в том числе

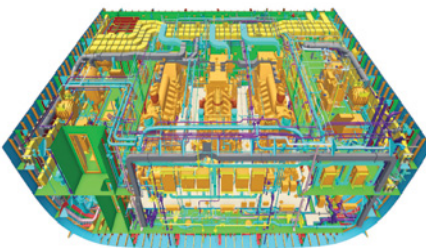


Рис. 7. Компонировка отсека энергетической установки корабля

дизельных, газотурбинных, комбинированных, гибридных и, соответственно, на применение разных типов двигателей и движителей (рис. 7).

Электродвижение является новым направлением, освоенным бюро. Создана линейка кораблей с полным электродвижением и с единой электроэнергетической системой, а также проекты кораблей с частичным электродвижением (рис. 8).



Рис. 8. Корабли с частичным электродвижением ЦМКБ «Алмаз»

Освоены высоковольтные схемы электродвижения для крупных кораблей ледового класса Arc7 (рис. 6 и рис. 9).



Рис. 9. Патрульный корабль ледового класса Arc7 водоизмещением около 8000 т с высоковольтной системой электродвижения

В настоящее время ведутся проработки применения в проектах кораблей системы электродвижения на основе эф-

фекта сверхпроводимости. Электрические корабли – это новое направление развития флота, и бюро умеет решать комплексную задачу оптимизации создания сбалансированных по характеристикам кораблей с электродвижением.

Бюро обладает уникальным опытом и компетенциями для создания сложной техники обеспечения научно-исследовательских и подводно-технических работ (рис. 10). Это технически сложные суда, работающие, в том числе, в ледовых условиях, с высоким уровнем автоматизации и оснащенные динамическим позиционированием.



Рис. 10. Суда ЦМКБ «Алмаз»: научно-исследовательские и обеспечения подводно-технических работ

В бюро накоплены значительные знания и опыт проектирования специальных устройств и систем для проведения подводно-технических работ, спасения экипажей подводных лодок, добычи полезных ископаемых, а также применения уникального кранового оборудования.

Развитию автоматизации кораблей в бюро уделяют большое внимание, благодаря чему на всех проектируемых кораблях обеспечен высокий уровень автоматизации, включающей как локальные системы управления, так и комплексные системы управления судном, а также системы информационной поддержки жизненного цикла. Бюро самостоятельно проектирует системы управления.

Другим уникальным наукоёмким направлением бюро является минно-тральные корабли (рис. 11). Это корабли, к физическим полям и материалам которых предъявляются особые требования. Чтобы создать такой корабль, да и любой корабль другого класса, необходимо знать, какие задачи он должен выполнять.

Поэтому бюро постоянно ведет анализ мировых брендов разработчи-



Рис. 11. Корабли пр. 12700

ков вооружения и военной техники и формулирует задания для отечественных производителей новых улучшенных образцов техники. Корабль – это платформа для размещения вооружения, и задача проектанта – обеспечить работу всего вооружения и техники корабля в требуемых условиях внешней среды.

В связи с этим интегрирование и комплексирование – основные направления деятельности бюро по всем проектным специализациям, цель которой – создать корабль со сбалансированными характеристиками, обеспечивающими комплексную работу всех систем, определяющих его функциональное назначение.



Рис. 12. Скоростные катера ЦМКБ «Алмаз»

Скоростные катера – это наша визитная карточка (рис. 12). Для проектирования судов со скоростями хода 30–50 уз характерна иная культура, умение решать оптимизационные задачи, так как от совершенства формы корпуса, его конструкции, энергетической установки зависит будущая эффективность судна.

Бюро также является законодателем мод и эталоном в части дизайна помещений корабля. Над архитектурой корабля и дизайном его помещений

трудятся талантливые специалисты – выпускники Санкт-Петербургской государственной художественно-промышленной академии им. А. Л. Штиглица, прошедшие школу проектирования ЦМКБ «Алмаз». Бюро обладает опытом проектирования также судов представительского класса, яхт (рис. 13 и рис. 14).



Рис. 13. Суда представительского класса



Рис. 14. Проект яхты представительского класса

Инновационность и новаторство в технических решениях – традиция коллектива бюро, которая сохраняется, благодаря преемственности поколений. Бюро всегда приходилось создавать корабли новых типов, что требует нестандартного подхода, умения заглянуть в будущее, чтобы своевременно ответить на постоянно возникающие вызовы. Это сложная задача, стоящая перед глав-

трументов планирования и управления, научная организация труда с инструментами «бережливого производства», целенаправленное сокращение затрат и сроков всегда были и являются важными составляющими повседневной деятельности бюро.

Мы отслеживаем и используем все современные достижения в области проектирования и информационных



Рис. 15. Опытно-экспериментальная база

ными конструкторами бюро и проектным отделом, сегодня сильнейшими в отрасли.

Все новые идеи обрабатываются на собственной опытно-экспериментальной базе (рис. 15), позволяющей изготавливать и испытывать буксируемые, радиоуправляемые и самоходные модели. Это, а также технология «цифровых двойников» позволяют бюро создавать инновационные формы корпуса, оптимизированные под конкретные требования заказчика.

Сегодня применяются такие подходы и к технологии, и к организации проектирования. Учитывая разнородную тематику работ, бюро разрабатывает одновременно 15–25 проектов. Это требует гибкой системы управления проектами и принятия решений, а также умения работать в условиях непрерывных изменений. Поэтому организация работ, применение современных инс-

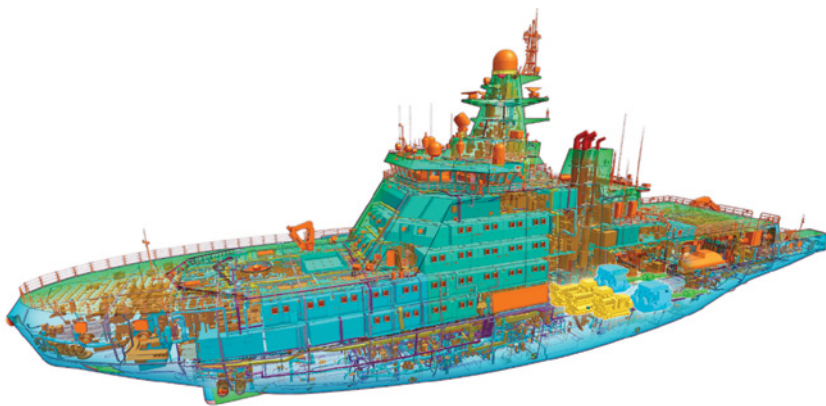


Рис. 16. Информационная модель проекта



Рис. 17. Применение современных средств визуализации

технологий в разных отраслях промышленности.

Создание проектов ведется в едином пространстве цифровой информационной модели методом объемного проектирования (см. рис. 16 и рис. 17). Ин-

формационная модель корабля является основной и единственным источником данных для проектирования и подготовки производства.

При этом широко используются информационные технологии – системы



Рис. 18. Проекты судов гражданского назначения

автоматизированного проектирования, инженерного анализа, документооборота. Наша цель – организовать работы конструкторов так, чтобы она была творческой, интересной, приносила удовлетворение. Избавить конструктора от рутинных задач, предоставить самые современные средства и программы, дать возможность реализоваться как в профессиональной, так и в научной деятельности – вот задачи, которые ставит перед собой руководство бюро.

В настоящее время ЦМКБ «Алмаз» активно занимается гражданской тематикой. И тут наша цель – показать, что проектирование гражданских судов – выгодный бизнес, который может не только значительно расширить компетенции специалистов бюро, но и, благодаря внесению технологий производства военной продукции в производство гражданской, приносить прибыль.

Наше бюро может создавать проекты судов гражданского назначения (рис. 18) практически любого класса: от скоростных катеров различного назначения (например, один из вариантов серии катеров МЧС представлен на рис. 19) до транспортных крупнотоннажных судов, судов технического флота и доковых комплексов.



Рис. 19. Серия малых катеров МЧС

Мир очень быстро меняется. Наша сила – в нашей гибкости, многогранности, наших компетенциях: «Многогранность мысли – совершенство технологий». Сейчас перед отечественным судостроением стоят очень амбициозные задачи как по укреплению обороноспособности страны, так и созданию гражданских судов и катеров широкой номенклатуры, и ЦМКБ «Алмаз» готово к решению этих задач. ■

ВВЕДЕНИЕ

По настоящий день продолжается активное обсуждение вопросов, связанных с созданием флота для развития Северного морского пути. Одним из важных направлений этого развития является организация грузоперевозок в населенные пункты и порты Крайнего Севера – северного завоза. В первую очередь ставятся задачи повышения объема и эффективности транспортировки грузов. Для этого, согласно Плану развития Северного морского пути, поручениям Правительства РФ и решениям Президиума совета законодателей при Федеральном собрании РФ предусмотрено, в том числе, проектирование и строительство судов снабжения нового поколения.

В статье В. П. Кеонджана, В. В. Чугунова, И. В. Щербакова «О необходимости создания судов нового поколения для обеспечения морской транспортной системы северного завоза»* подробно рассматриваются задачи, которые необходимо решать с целью повышения эффективности северного завоза. Это позволяет авторам более подробно сформулировать концепцию универсального судна снабжения, которое было бы оптимальным для решения данных задач.

Так, среди основных проблем, препятствующих активному развитию северного завоза, можно обозначить следующие:

- возраст флота, превысивший или приближающийся к сроку эксплуатации судов;
- низкий ледовый класс (Arc4–Arc5), который становится причиной значительных затрат на ледокольные проводки;
- малая грузоподъемность флота – от 3–5 тыс. т до 10–15 тыс. т;

*Морской вестник, 2023, № 3 (87), с. 7–10.

УНИВЕРСАЛЬНОЕ СУДНО СНАБЖЕНИЯ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

С. Ю. Афанасьева, инженер-конструктор 2-й категории,
А. В. Кошелев, гл. конструктор по перспективному проектированию,
С. М. Тимофеев, первый зам. ген. директора – гл. инженер,
 ООО ПКБ «Петробалт»,
В. В. Чугунов, ген. директор ООО «Арктические морские технологии»,
 контакт. тел. (812) 644 5686

- низкая загрузка судов (ок. 60%) – из-за малой грузоподъемности суда вынуждены выполнять заход только в один порт назначения, что не позволяет обеспечить полную загрузку.
- Сформулированные проблемы и оценочные характеристики судна нового поколения для северного завоза позволили специалистам ООО «ПКБ «Петробалт» уточнить предложенную

концепцию и создать эскизный проект судна снабжения высокого ледового класса (табл. 1, рис. 1).

Далее описаны особенности проекта, в котором эффективно решаются предписанные эксплуатационные задачи.

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТА

Общая информация. Универсальное судно снабжения предназначено

Таблица 1

Главные характеристики судна снабжения высокого ледового класса

Характеристика	Значение
Класс	КМ Arc7 AUT1-ICS OMBO FF1WS DYNPOS-2 EPP ANTI-ICE ECO HELIDECK-H Winterization (-40) SPECIAL PURPOSE SHIP STANDBY VESSEL SUPPLY VESSEL
Длина наибольшая, м	180,0
Ширина наибольшая, м	30,0
Коэффициент полноты	0,76
Высота борта на миделе, м	14,0
Осадка по ЛГВЛ, м	10,0
Дедвейт при осадке по ЛГВЛ, т	Ок. 23 600
Водоизмещение при осадке по ЛГВЛ, т	Ок. 39 500
Максимальная длительная мощность двигателя, кВт	4×6 075
Максимальная скорость при MCR 85%, уз	15
Двигатели (ВРК), кВт	2×7 500
Подруливающее устройство, кВт	3×2 000
Автономность, сут.	60
Экипаж, чел.	30
Пассажировместимость, чел.	30



Рис. 1. Общий вид судна снабжения высокого ледового класса

для круглогодичного снабжения и обслуживания портов и населенных пунктов в Арктическом и северном регионах. Предусматривается перевозка 20-и и 40-футовых контейнеров, генеральных грузов, пакетов и паллетов, насыпных и накладных грузов, грузового автотранспорта, топлива, горюче-смазочных материалов, воды и продовольствия, строительных материалов для строящихся береговых объектов. Обеспечены возможности приема, хранения, транспортировки и утилизации бытовых и промышленных отходов.

Функционал судна предполагает доставку персонала (не менее 30 чел.) на морские и береговые сооружения и эвакуацию пострадавших с судов, морских сооружений и из населенных пунктов. Оснащение судна обеспечивает оказание необходимой помощи больным.

Помимо перечисленного, судно может участвовать в тушении пожаров и операциях ЛАРН. При незначительной модификации трюмного пространства (установка модулей контейнерного типа) оно может также выполнять функции плавучей базы обеспечения строительства портовых сооружений и буровых работ на арктическом шельфе.

Ледовый класс. Для судна снабжения выбран ледовый класс Arc7, что позволит ему выполнять перевозки без ледокольной проводки круглогодично в акваториях Белого, Баренцева и западной части Карского морей и до 10 месяцев в году в других акваториях Северного морского пути. Это улучшит мобильность перевозок и значительно снизит затраты, связанные с ледокольными проводками. Как отмечено в указанной выше статье, эти затраты в зимне-весеннюю навигацию только в рамках северного завоза могут достигать ок. 4–5 млрд. руб. Кроме того, использование судна снабжения с высоким ледовым классом позволит высвободить несколько (три-четыре) атомных ледоколов от проводки судов с низкими ледовыми классами, выполняющими северный завоз в этот период.

Грузовые трюмы. Грузообработка. Грузовые трюмы имеют модульную компоновку и могут адаптироваться под задачи для перевозки того или иного вида груза. Конструктивно предусмотрена возможность оснащения грузового района каждого из построенных судов под необходимые судовладельцу задачи. Так, при преимущественной транспортировке тарно-штучного груза (паллеты, пакеты и контейнеры) в проекте предусматривается установка автоматизированной системы механизации трюмов, позволяющая оптимально размещать груз на переходы и подготавливать к выдаче нужный. Для транспортировки крупногабаритных, тяжеловесных и разнораз-

мерных грузов судно оснащается крышками люков с широким раскрытием.

Перевозка социальных видов грузов предполагает профилирование трюмов под перевозку контейнеров: предусмотрены объемы для перевозки 600 TEU в трюме и 100 TEU на палубе. Возможна погрузка лихтеров в габаритах стандартных морских контейнеров.

Для перевозки охлаждаемых грузов предусмотрен морозильный трюм с возможностью поддержания в нем температуры от -30°C до $+15^{\circ}\text{C}$.

Обеспечена возможность перевозки сыпучих грузов в трюмах и жидких грузов в цистернах: объем цистерны для нефтепродуктов составляет ок. 8000 м^3 , для пресной воды – ок. 1500 м^3 .

В кормовой части судна расположен трюм для перевозки колесной техники.

Для выполнения погрузочно-разгрузочных операций на палубе предусмотрены два грузовых крана грузоподъемностью до 60 т. Для распределения паллетов, коробок и других видов тары (до 3 т) внутри трюмов могут использоваться вилочные погрузчики. Погрузка и выгрузка колесных грузов осуществляется при помощи аппарели, расположенной в кормовой части судна.

Расположение грузовых трюмов и грузоподъемного оборудования показано на рис. 2.

Грузовые трюмы могут использоваться для размещения дополнительного персонала. Для этого предусмотрена возможность установки жилых модулей, комплекс которых включает в себя каюты, цистерны для пресной

воды и сточных вод, а также пищевой блок. На рис. 3 приведена одна из предлагаемых рынком компоновок жилого контейнера с размещением четырех человек.

Предполагаемый типовой случай загрузки судна при выполнении рейсов в рамках северного завоза приведен в табл. 2.

Вертолетная площадка позволяет проводить эвакуационные мероприятия в аварийных ситуациях, при пожаротушении и в ходе спасательных операций. Вертолет может также использоваться для доставки людей на берег или на морское сооружение в акваториях, слишком мелких для захода универсального судна снабжения. Вертолетная площадка может также использоваться для взлета и посадки беспилотных летательных аппаратов, применяемых в целях разведки ледовой обстановки и поиска людей.

МОДЕЛЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Основное назначение универсального судна снабжения высокого ледового класса, обуславливающее его конструктивные особенности – выполнение грузоперевозок в рамках северного завоза.

Планируется, что судно будет работать по эксплуатационной модели, приведенной ниже.

Эксплуатационная модель судна

Режим работы % от автономности	
Переход	53,2
Маневрирование	2,8
Грузовые операции	40
Стоянка	4

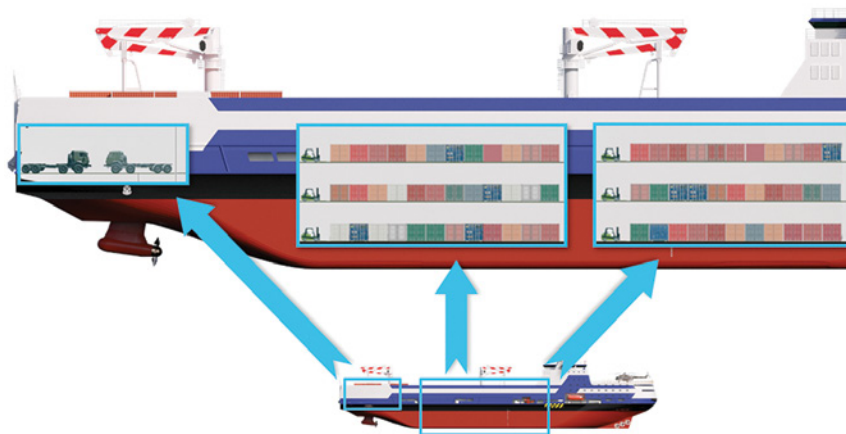


Рис. 2. Расположение грузовых трюмов и грузоподъемного оборудования



Рис. 3. Компоновка жилого контейнера

Пример типовой загрузки судна

Код нагрузки	Наименование кода нагрузки	Масса, т
14	Экипаж, провизия, вода, расходные материалы	868,43
15	Груз перевозимый	6935,38
16	Запас масла, топлива, воды	4151,61
17	Переменные жидкие грузы	2943,99
18	Жидкий балласт	0
19	Грузы, снабжение, запасы дополнительные	5192,32

Маршрут рейсов северного завоза начинается в одном из крупных торговых портов Северного морского пути и охватывает несколько пунктов назначения на побережье Северного ледовитого океана или в устьях сибирских рек. Для этого автономность судна составляет 60 сут., а дедвейт – ок. 20 000 т, что позволяет выполнять заходы в два-три порта во время одного рейса.

Высокий ледовый класс судна позволяет осуществлять перевозки запад-восток по Северному морскому пути практически круглогодично. Это необходимо для снабжения портов и наземных объектов в северо-восточной части нашей страны, среди которых – Певек, Наглейнын, Баимский ГОК, порт Беринговский и др.

Дополнительным назначением судна является выполнение функций плавучей строительной базы, которая обеспечивает строящиеся береговые или морские объ-

екты строительными материалами и грузоподъемными средствами, а также играет роль жилого модуля для строителей.

Курсируя по заданному маршруту, флот универсальных транспортных судов может патрулировать акватории Северного морского пути с целью повышения безопасности мореплавания. Это потенциально снизит нагрузку на дежурные спасательные суда, позволит перераспределить спасательные мощности.

На рис. 4 показано судно во время эксплуатации (макет разработчиков).

СТРОИТЕЛЬСТВО В РОССИИ. ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЕ

Размерения судна выбирались с учетом всего объема предназначенных для него задач. В процессе разработки были определены отечественные верфи, способные построить суда снабжения высокого ледового класса

и имеющие технические возможности для этого. Использование отечественного комплектующего оборудования, такого как главные дизель-генераторы, котлы, винторулевой комплекс, подруливающие устройства, грузовые краны и др., позволит повысить компетенции российского машиностроения и инженерной школы.

Применение на проекте импортного оборудования проработано и рассмотрено с учетом потребностей и требований будущих заказчиков.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Развитие и реализация описанного проекта носит не только экономические, но и социальные последствия. Восстановление флота снабженцев высокого ледового класса повлияет, в том числе, и на изменение всей логистической схемы северного завоза за счет более равномерной в течение года доставки грузов в морские порты Северного морского пути, что позволит планомерно и эффективно развивать северные регионы страны.

Производство отечественного оборудования и строительство судна на отечественных верфях будут способствовать развитию компетенций и загрузке судостроительных и машиностроительных предприятий, научных институтов и конструкторских бюро. ■



Рис. 4. Судно во время эксплуатации

В настоящее время руководство Вооруженных сил и ВМФ, а также конструкторы боевых кораблей понимают, что условия быта личного состава определяются не только функциональной приспособленностью жилых и служебных помещений, но и такими важными показателями, как их эргономичность и архитектурно-художественный облик жилых, общественных и служебных помещений.

Эстетические требования к интерьерам кают, жилых и служебных помещений должны соответствовать эргономическим требованиям и дополнять их для создания в обитаемых помещениях функционального, психологического и бытового комфорта, улучшающего эксплуатационные (потребительские) качества [1].

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

Ниже, на рис. 1, показаны примеры реализации разработанных дизайн-проектов интерьеров помещений теплохода «Давид Пашаев», которые были неоднократно высоко оценены представителями министерств транспорта и обороны РФ.

Разработанные инженерами ООО «Морские комплексные системы» дизайн-проекты интерьеров кают, жилых и служебных помещений отличаются новизной архитектурно-художественного облика, полным соответствием эргономическим требованиям, высокой функциональной приспособленностью, негорючестью материалов, использованных при изготовлении оборудования помещений и мебели. А их качественная реализация на заводах компании способствует обеспечению комфортных условий проживания и отдыха личного состава путем наиболее полного и рационального учета потребностей человека, повышению качества его деятельности, снижению затрат его физической и нервно-психической энергии.

Анализ конструктивных отличий интерьеров кают надводных кораблей, построенных 10–15 лет назад и проектируемых в последние годы, показал необходимость оценки эффективности внедряемых изменений еще на этапе проектирования, т. е. реализации инновационных решений для эргономического обеспечения дизайн-проектов интерьеров кают, общественных и служебных помещений. Такая оценка не подлежит математическому описанию, так как выражена не в явном виде, а только качественными показателями, полученными при проведении эрго-

ИННОВАЦИОННЫЙ ВЗГЛЯД КОМПАНИИ ООО «МОРСКИЕ КОМПЛЕКСНЫЕ СИСТЕМЫ» НА ЭРГОНОМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЖИЛЫХ И СЛУЖЕБНЫХ ПОМЕЩЕНИЙ ПЕРСПЕКТИВНЫХ КОРАБЛЕЙ И СУДОВ

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



Рис. 1. Комплексное обустройство и интерьеры кают на теплоходе «Давид Пашаев»

мической экспертизы дизайн-проектов интерьеров помещений.

Инженеры-дизайнеры ООО «Морские комплексные системы» разработали и апробировали свой инновационный подход к решению данной задачи. В целом процесс эргономического обеспечения соответствует логике и стадийности проектирования кораблей. Каждая стадия (техническое задание, проектирование, конструирование, испытание, производство, эксплуатация, модернизация) имеет свою специфику и по форме, и по содержанию.

Эргономическая экспертиза – это заключительный этап эргономического обеспечения, цель которой оценить степень выполнения заданных эргономических требований. Она проводится на различных стадиях проектирования общественных и служебных помещений – при их разработке, постройке, эксплуатации (потреблении) и утилизации.

На стадии разработки экспертиза проводится подразделением, на которое возложены разработка дизайна и вопросы эргономики, на стадии производства – службой главного технолога и отделом стандартизации (рис. 2). Основная ме-

тодология проведения эргономической экспертизы – эргономическая оценка. Специализированное подразделение создано также и в структуре ООО «МКС».

В основу созданной специалистами компании системы эргономического обеспечения проектирования и технической эстетики при разработке интерьеров жилых и служебных помещений входит ряд технологических этапов, первый из которых представляет собой тщательную оценку условий обитаемости и всех возможных показателей, влияющих на соответствующие факторы (рис. 3) [2].

В общем случае эргономическая оценка – это определение соответствия пока-

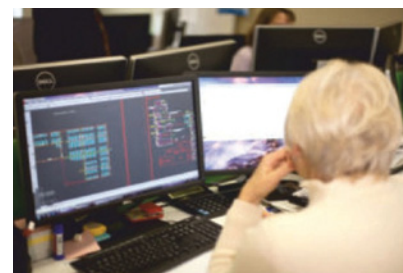


Рис. 2. Специалист службы главного технолога отдела стандартизации ООО «МКС» на рабочем месте



Рис. 3. Группа факторов обитаемости и характеризующие их показатели

зателей интерьеров кают, общественных и служебных помещений эргономическим требованиям и установление уровня эргономического качества оцениваемого объекта. Данная оценка может быть дифференциальной, комплексной и смешанной. Специалисты нашей компании при проведении эргономической экспертизы опираются на смешанную эргономическую оценку, которая включает элементы и дифференциальной, и комплексной оценки. При этом дифференциальный принцип эргономической оценки заключается в определении уровня качества интерьеров помещений посредством ряда показателей, отражающих важнейшие его свойства. В нашем случае это удобство, функциональность, цветовые и другие дизайнерские решения, а комплексный принцип эргономической оценки объекта состоит в определении уровня качества одним интегральным показателем – эргономичностью (уровнем эргономичности).

С целью реализации выбранного принципа эргономической оценки необходимо зафиксировать собственную интерпретацию термина эргономичность. В нашем случае под эргономичностью интерьеров кают, жилых и служебных помещений понимается совокупность эргономических свойств рассматриваемого объекта. Эргономичность в зависимости от этапа использования данного объекта будет иметь следующие свойства, способствующие адаптации личного состава корабля к корабельным условиям:

- обслуживаемость – приспособленность оборудования кают к использованию по прямому назначению, созданию комфорта при работе с судовой документацией, отдыхе и др.;
- обитаемость – приспособленность оборудования кают к оптимальным биологическим параметрам внутренней среды, при которых обеспечиваются здоровые и безопасные условия

проживания личного состава. В этом случае эргономическая оценка может быть охарактеризована безразмерной функцией

$$V_i = f(P_i, P_i^{баз}), \quad (1)$$

где P_i – показатель свойства (абсолютный), $P_i^{баз}$ – базовый показатель.

При этом эргономическая оценка должна быть безразмерной; монотонно убывать от 1 до 0 по мере увеличения отличия измеренного в системе значения параметра от его нормативного значения; не иметь особых точек, т.е. не обращаться в ноль или бесконечность во всем диапазоне значений фактора; быть инвариантной относительно числа учитываемых параметров; базироваться на учете лишь тех параметров, которые поддаются однозначному определению.

Основываясь на таких исходных принципах, специалисты нашей компании выработали свой, инновационный

алгоритм общей эргономической оценки интерьеров кают, общественных и служебных помещений (рис. 4) [3].

Блок 1. Структурная схема свойств интерьеров жилых и служебных помещений строится с учетом всех принимаемых в расчет параметров отдельных элементов системы «человек–окружающая среда». К ним относятся: химические вещества в воздухе, шум, вибрация, микроклимат, освещение и т.д. Кроме того, это могут быть и параметры элементов мебели: размеры, вес, цвет и др.

Блок 2. Базовые показатели свойств (параметры) устанавливаются на основании государственных нормативных требований к элементам интерьера и мебели, содержащихся в нормативных и технических актах. Если необходимые параметры отсутствуют в готовом виде, их определяют расчетными или экспериментальными методами, моделируя отдельные элементы интерьеров кают и мебели.

Блок 3. На данном этапе проведения эргономической оценки определяются реальные значения параметров инструментальными и расчетными методами, а также путем сопоставления качественных характеристик. Необходимо иметь в виду погрешности измерений или расчетов, допускаемые при определении условий размещения личного состава приборами и лабораторным оборудованием. Заданная погрешность составляет при измерении:

- шума – 10–15%;
- вибрации – 10–20%;
- инфракрасного излучения – 5%;
- температуры – 0,2%;
- относительной влажности воздуха – 1,5-70%;
- концентрации пыли и аэрозолей вредных веществ весовыми методами – 10%;
- концентрации паров и аэрозолей

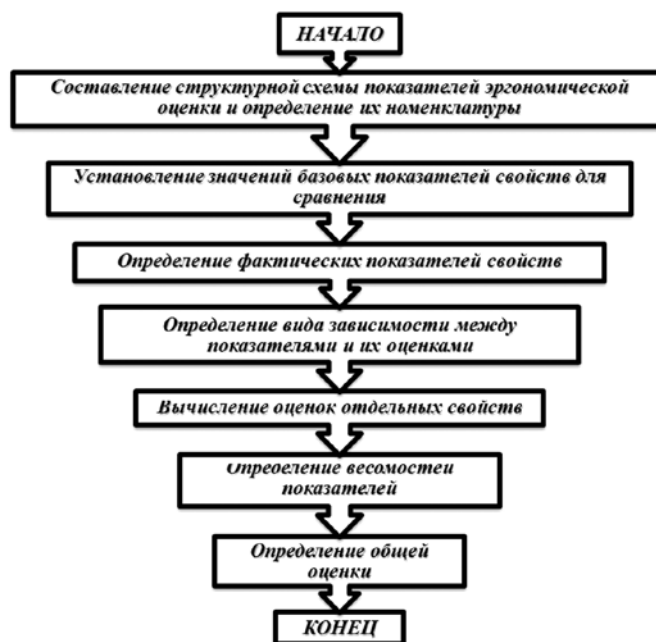


Рис. 4. Инновационный алгоритм общей эргономической оценки

вредных веществ в зависимости от методов измерения – 20-25% (а при экспресс-методах – до 50%);

– освещенности – 10%.

Качественная оценка параметров зависит от разрешающей способности органов чувств человека, его психофизиологического состояния на момент оценки, а также от окружающей среды. Для снижения погрешности при такой оценке применяются методы экспертной оценки.

Блок 4. В квалиметрической практике используются следующие виды зависимостей между единичными параметрами и их оценкой: относительным показателем (зависимости линейные, нелинейные, не выраженные в явном виде). Чаще всего используются линейные зависимости вида

$$V_i = \frac{P_i}{P_i^{\text{баз}}}, \quad V_i = \frac{P_i - P_i^{\text{баз}}}{P_i^{\text{баз}}}, \quad (2)$$

где P_i – реально измеренный показатель; $P_i^{\text{баз}}$ – его базовое значение; V_i – относительный показатель.

Для оценки показателей, связанных с человеческим фактором, использование линейных зависимостей неприемлемо. Восприятие человеком свойств окружающего мира осуществляется в соответствии с основным положением экспериментальной психологии – психофизиологическим законом Вебера–Фехнера, поэтому при проведении эргономической оценки следует пользоваться экспоненциальными зависимостями.

Регламентация показателей свойств (параметров) в виде эргономических требований осуществляется интервальными значениями, значениями, ограниченными сверху и снизу, а также качественными или не выраженными в явном виде. Причем показатель, регламентируемый интервальным значением, является основным, а все остальные можно рассматривать как его частные случаи.

Пребывание личного состава в корабельных условиях с позиций эргономики и инженерной психологии может рассматриваться как человеко-машинная система [3]. В таких системах математическая зависимость оценки от показателя свойства, определяемая экспоненциальной функцией, приобретает следующий вид:

– при интервальном задании эргономических требований

$$V_i = \exp - 0,223 \left[\frac{2P_i - (P_i^{\text{max}} + P_i^{\text{min}})}{P_i^{\text{max}} - P_i^{\text{min}}} \right]^4; \quad (3)$$

– для параметров, ограниченных сверху,

$$V_i = \exp - 0,223 \left[\frac{P_i}{P_i^{\text{max}}} \right]^4; \quad (4)$$

– для параметров, ограниченных снизу,

$$V_i = \exp - 0,223 \left[\frac{P_i - 1,336P_i^{\text{min}}}{0,336P_i^{\text{min}}} \right]^4, \quad (5)$$

где $P_i^{\text{max}}, P_i^{\text{min}}$ – соответственно верх-

ний и нижний пределы показателя i -го свойства.

Следует отметить, что все численные параметры должны задаваться интервально, но при большом числе параметров это практически невозможно: они задаются либо максимальным, либо минимальным значением [4].

Имеется ряд показателей свойств, оценка которых не подчиняется математической зависимости, так как не выражена в явном виде. Такие показатели называются качественными и определяются по формуле

$$V_i = \begin{cases} 1, \\ 0, \end{cases} \quad (6)$$

где 1 – показатель, удовлетворяющий требованиям; 0 – показатель, не удовлетворяющий им.

В качестве эргономических требований, задаваемых качественным образом, могут выступать, например, цвет изделия, вкус, запах и т.д.

Блок 5. Все оценки при удовлетворительном выполнении заданных эргономических требований имеют различные значения. Если значение реального параметра выходит за установленные пределы, то оценочный показатель приобретает оценку менее 1. Эта оценка тем меньше, чем более реальный показатель свойства отличается от регламентированного.

Блок 6. Весомости показателей при эргономической оценке определяются экспертными методами. Для того чтобы экспертную оценку сделать более объективной, процедура оценки разбивается на несколько этапов. Специально подбираются эксперты, которые не должны быть связаны с оцениваемым объектом при проектировании или зависеть от проектировщиков организационно. Проводится согласование оценок. Психофизиологические возможности человека, его способность различать градации интенсивности какого-то свойства сравнительно ограничены. Иначе говоря, точность выносимых им оценок (± 5 баллов) колеблется в среднем в пределах 10%. В связи с этим в экспертной оценке не используется более чем 10-балльная шкала, а чаще всего 5-балльная. Для устранения невысокой точности экспертной оценки используется не один эксперт, а группа.

Блок 7. Выбор метода сверки показателей отдельных свойств для получения общей эргономической оценки – уровня эргономичности – сводится к выбору способа определения среднего взвешенного, которое подразделяется на среднее арифметическое, среднее геометрическое, среднее гармоническое, среднее квадратичное и т. д. Все методы сверки обладают свойствами усреднения. Средняя арифметическая взвешенная V с учетом коэффициентов весомости (общая оценка) определяется по формуле

$$V = \sum_{i=1}^n (V_i \alpha_i), \quad (7)$$

где V_i – относительный показатель; α_i – весомость.

Сумма весомостей свойств данного иерархического уровня показателей есть величина постоянная и чаще всего выглядит следующим образом:

$$\sum_{i=1}^n \alpha_i = 1, \quad (8)$$

Общая оценка представляет собой оценку уровня эргономичности изделия или общую оценку системы «человек–среда» в целом. Шкала размерностей общей оценки является такой же, как и для единичных показателей (см. блок 5).

Результаты дизайнерской деятельности инженеров ООО «Морские комплексные системы» при разработке технических интерьеров корабельных (судовых) жилых и служебных помещений, основанные на вышеуказанном инновационном подходе, достаточно обоснованы и очень наглядны. Они после практической реализации легко оцениваются потребителем (личным составом кораблей и экипажам судов), тогда как сама эргономическая деятельность инженерного коллектива проявляется опосредованно и требует определенной интеллектуальной работы для осознания ее результатов.

Разработанные инновационные решения инженеров компании были применены на многоцелевых кораблях, таких как фрегаты и корветы ВМФ, а также на больших десантных кораблях флота. Особо отмечены результаты деятельности инженеров компании в области эргономического обеспечения проектирования жилых и служебных помещений на авианесущем крейсере «Викрамадитья» и на вспомогательном судне – теплоходе «Давид Пашаев», ледоколах и большом морском сухогрузном транспорте «Яуза». Кроме того, результаты работы были представлены на обозрение представителям специализированных предприятий и заказчика на Международной выставке по гражданскому судостроению, судоходству, деятельности портов и освоению океана и шельфа «Нева– 2023».

ЛИТЕРАТУРА

1. Протокол заседания совета Коллегии военно-промышленной комиссии Российской Федерации по кораблестроению от 16.12.2014 г. № ВПК (С-8)-14(9), Санкт-Петербург.
2. Рунце В.Ф., Манусевич Ю.П. Эргономика в дизайне среды. – М.: Архитектура-С, 2005.
3. Муштов В.М., Зипченко В.П. Эргономика: человекоориентированное проектирование техники, программных средств и сред. – М.: Логос, 2001.
4. Gordon H., Hart P. E. Ship Configurations: Insulation Design and Application. – NIA, Insulation Outlook, November 2004. ■

В настоящее время активно развивается новый тип подводных аппаратов – сверхбольшие автономные необитаемые подводные аппараты (международное обозначение XLUUV – Extra Large Unmanned Undersea Vehicle) [1]. Отличительной особенностью аппаратов данного типа является большое водоизмещение и, как следствие, возможность установки на них технических средств и устройств, характерных ранее только для обитаемых подводных аппаратов.

Например, такие подводные аппараты могут оснащаться буксируемыми антеннами для пассивного гидроакустического наблюдения. Буксируемая антенна представляет собой эластичную полимерную оболочку постоянного диаметра, заполненную гидрофонами, а также электроизоляционным веществом малой плотности (газом, маслом или гелем), обеспечивающим ее нейтральную плавучесть. На конце антенны обычно расположено концевое тело, служащее для стабилизации ее движения [2]. Внешний облик буксируемой антенны показан на рис. 1.



Рис. 1. Буксируемая антенна Krait Array британской компании SEA

Современные подводные аппараты обычно имеют «веретенообразную» форму корпуса, оптимальную для снижения гидродинамического сопротивления в подводном положении. Для такой формы характерна конусообразная кормовая оконечность. Буксируемая антенна выпускается обычно из кормовой части подводного аппарата. В начале постановки и конце выборки антенна попадает под воздействие скошенного потока воды вблизи корпуса и загибается к гребному винту. В этот момент весь вытравленный участок антенны обтекается косым потоком и может быть затянут в гребной винт и поврежден. По мере вытравливания антенна натягивается и выпрямляется, поскольку больший ее участок обтекается прямым потоком. По этой причине вероятность попадания антенны в гребной винт при выпуске и выборке оказывается больше, чем при буксировке.

Задача исключения возможности попадания антенны в гребной винт обычно решается несколькими способами:

- расположение устройства выпуска буксируемой антенны в специальной выносной конструкции, на большом расстоянии от гребного винта. В таком случае выпущенная антенна обтекается прямым потоком воды и не загибается в сторону гребного винта;
- расположение устройства выпуска буксируемой антенны за диском гребного винта. При таком размещении антенна гарантированно не может быть затянута в гребной винт;
- двигатель подводного аппарата расположен в насадке или защитном кольце, что исключает возможность контакта буксируемой антенны с вращающимися элементами двигателя.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИЗГИБА БУКСИРУЕМЫХ АНТЕНН, ВЫПУЩЕННЫХ ИЗ ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ

А.В. Юрканский, канд. техн. наук, начальник сектора,
И.И. Ремизов, конструктор 2-й категории,
Е.В. Корнилова, инженер 2-й категории,
АО «ЦКБ МТ «Рубин»,
контакт. тел. (812) 494 1708

Однако существуют варианты компоновки кормовой оконечности подводных аппаратов, при которых нельзя применить ни один из вышеперечисленных способов, и антенну приходится выпускать близко к гребному винту. В качестве примера на рис. 2 показан выпуск буксируемой антенны из корпуса АНПА «Solus-LR» канадской компании Cellula Robotics [3].

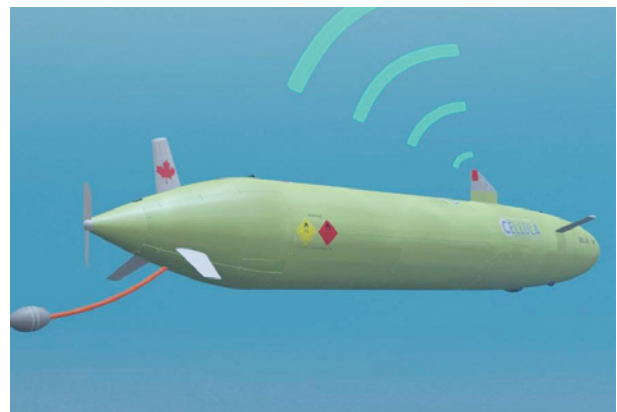


Рис. 2. Выпуск буксируемой антенны из АНПА «Solus-LR»

Актуальной проблемой является определение места размещения устройства выпуска буксируемых антенн и исследование особенностей их изгиба вблизи корпуса и гребного винта подводного аппарата.

ПАРАМЕТРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ИЗГИБ АНТЕННЫ

Если предположить, что точка выпуска антенны расположена в области кормовой оконечности, то ее изгиб будут определять следующие параметры:

- 1) скорость хода подводного аппарата v_s , которая влияет на значение скоростного напора воды, действующего на антенну;
- 2) угол кормовой оконечности подводного аппарата α , который влияет на угол обтекания антенны;
- 3) жесткостные характеристики антенны (модуль упругости E , модуль сдвига G), которые влияют на характер механической деформации антенны.

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ РАСЧЕТА ИЗГИБА БУКСИРУЕМОЙ АНТЕННЫ

Расчет изгиба буксируемой антенны в потоке воды требует совместного решения уравнений гидродинамики и механики деформируемого твердого тела.

Гидродинамическая часть расчета предполагает допущение, что линии тока в расчетной области эквидистантны корпусу подводного объекта и угол натекания потока на выпущенную антенну равен углу кормового конуса подводного объекта. В данной работе рассматривается вариант расположения точки выпуска антенны на кормовом конусе.

Направление линий тока, обтекающих выпущенную антенну, и расположение антенны схематично показано на рис. 3 (D – диаметр гребного винта).

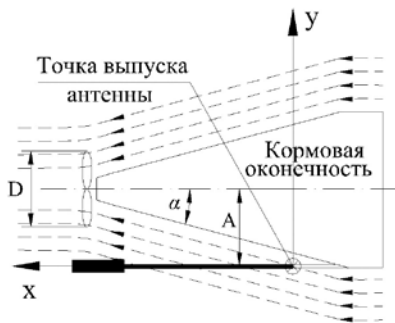


Рис. 3. Направление линий тока, обтекающих выпущенную антенну в районе кормовой оконечности

Последовательность расчета состоит из следующих шагов:

1) вектор скорости набегающего на антенну потока раскладывается на поперечную составляющую v_y и продольную составляющую v_x .

Продольная и поперечная составляющие скорости потока в месте расположения антенны определяются по формулам [4]

$$\begin{aligned} v_x &= v_s(1-w) \cdot \cos \alpha, \\ v_y &= v_s(1-w) \cdot \sin \alpha, \end{aligned} \quad (1)$$

где v_s – скорость хода подводного аппарата, м/с; α – угол кормовой оконечности, град.; w – коэффициент попутного потока подводного аппарата;

2) антенна разбивается на равные по длине участки. Каждый участок антенны можно рассматривать как круглый цилиндр [5]. Для каждого участка определяются продольная $F_{xi(1)}$ и поперечная составляющие $F_{yi(1)}$ гидродинамических сил в первом приближении по формулам

$$\begin{cases} F_{xi(1)} = C_{xi} (Re_i) \cdot \frac{\rho \cdot v_x^2}{2} \cdot S_i; \\ F_{yi(1)} = C_{xi} (Re_i) \cdot \frac{\rho \cdot v_y^2}{2} \cdot S_i + F_{gi} + F_{vi}; \\ S_i = d_i \cdot L_i; Re_i = \frac{v_s(1-w) \cdot d_i}{\nu}, \end{cases} \quad (2)$$

где $C_{xi}(Re_i)$ – коэффициент буксировочного сопротивления участка, зависящий от числа Рейнольдса, определяется по данным модельных испытаний круглых цилиндров [5]; ρ – плотность воды, кг/м³; S_i – характерная площадь i -го участка, м²; F_{gi} – сила тяжести i -го участка, Н; F_{vi} – сила плавучести i -го участка, Н; d_i – диаметр i -го участка, м; L_i – длина i -го участка, м; ν – кинематический коэффициент вязкости воды, м²/с; i – номер участка антенны;

3) определяется изогнутая ось антенны под действием вычисленных гидродинамических сил $F_{xi(1)}$ и $F_{yi(1)}$. Полученные координаты позволяют определить угол изгиба каждого участка по формуле

$$\beta_i = \arctg \frac{y_{2i} - y_{1i}}{x_{2i} - x_{1i}}, \quad (3)$$

где β_i – угол изгиба участка антенны под воздействием гидродинамических сил, град.; y_{1i} – вертикальная координата конца i -го участка; y_{2i} – вертикальная координата начала i -го участка; x_{1i} – продольная координата конца i -го участка; x_{2i} – продольная координата начала i -го участка.

Изогнутая ось антенны, разбитая на участки, представлена на рис. 4.

4) продольная $v_{xi(n)}$ и поперечная $v_{yi(n)}$ составляющие вектора скорости потока жидкости, набегающего на каждый участок антенны, пересчитываются с учетом определенного в п. 3 угла изгиба β_i , по формулам

$$\begin{aligned} v_{xi(n)} &= v_s(1-w) \cdot \cos(\alpha - \beta_i); \\ v_{yi(n)} &= v_s(1-w) \cdot \sin(\alpha - \beta_i), \end{aligned} \quad (4)$$

где n – номер приближения расчета;

5) для пересчитанных продольной $v_{xi(n)}$ и поперечной $v_{yi(n)}$ составляющих векторов скоростей пересчитываются продоль-

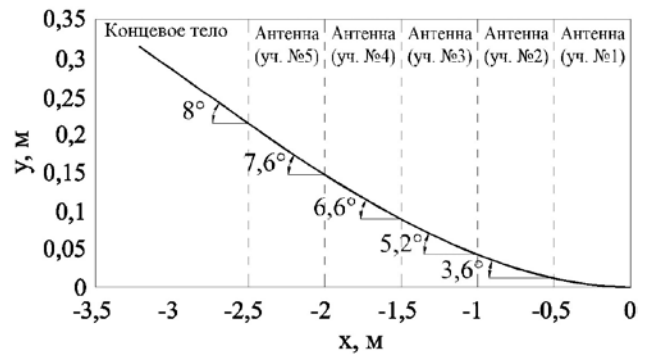


Рис. 4. Изогнутая ось антенны, разбитая на участки

ная $F_{xi(n)}$ и поперечная $F_{yi(n)}$ составляющие гидродинамических сил по формулам

$$F_{xi(n)} = C_{xi} (Re_i) \cdot \frac{\rho \cdot v_{xi(n)}^2}{2} \cdot S_i; F_{yi(n)} = C_{xi} (Re_i) \cdot \frac{\rho \cdot v_{yi(n)}^2}{2} \cdot S_i + F_{gi} + F_{vi}. \quad (5)$$

Стоит отметить, что данные уравнения и метод решения справедливы только для случаев когда $\beta < \alpha$;

6) уточнения по пунктам 3–5 повторяются до достижения необходимой точности. На рис. 5 представлены результаты расчетов изгиба оси антенны в пяти приближениях.

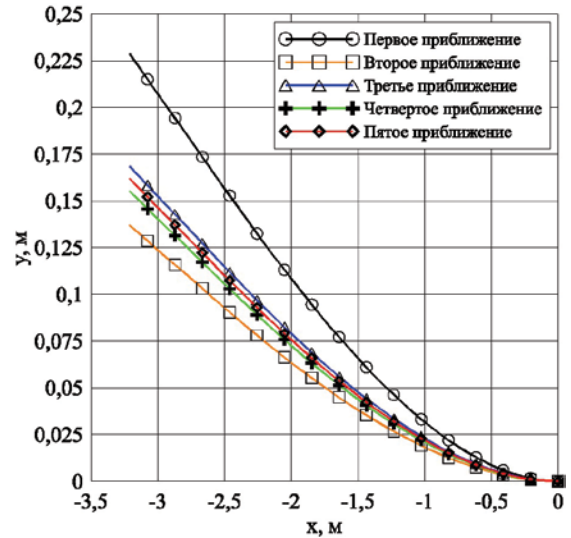


Рис. 5. Изгиб оси антенны в пяти приближениях

Различие в значении вертикальной координаты между третьим и пятым приближениями составляет 0,7 см. При этом диаметр одного из самых маленьких представленных на рынке гидрофонов составляет 2,5 см [7]. По этой причине нецелесообразно при расчетах задач данного типа делать более трех приближений. Все дальнейшие расчеты в работе проводились в трех приближениях.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИЗОГНУТОЙ ОСИ

В данной работе изогнутая ось определялась в программном комплексе ANSYS Mechanical методом конечных элементов. Задача рассматривалась в статической постановке, к каждому участку прикладывалось постоянное значение рассчитанной гидродинамической силы, точка выпуска антенны зафиксирована во всех направлениях. Визуализация расчетной модели на первоначальном шаге расчета представлена на рис. 6.



Рис. 6. Нагрузки и граничные условия

На рис. 7 представлена форма изогнутой оси антенны с перемещениями по оси y .



Рис. 7. Изгиб оси антенны

ЖЕСТКОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ БУКСИРУЕМОЙ АНТЕННЫ

Буксируемая антенна имеет гетерогенную структуру (состоит из нескольких однородных частей, отличающихся друг от друга по составу и свойствам). Для определения изгиба такого тела необходимо создание твердотельной модели с учетом взаимного расположения компонентов, контактов между ними и с заданием их жесткостных характеристик.

В данной работе из-за отсутствия информации в открытых источниках об эффективных жесткостных характеристиках буксируемых антенн использовались уже определенные характеристики жесткости для силового подводного трехжильного кабеля марки 2XS2YRAA [6], схожего с буксируемой антенной по внутренней структуре насыщения и диаметру поперечного сечения. Для моделирования концевой участка антенны (стабилизатора) принято абсолютно твердое тело.

Также для возможности выполнения качественных оценок были рассмотрены две условные антенны: средней жесткости (в 2 раза менее жесткая, чем 2XS2YRAA) и гибкая (в 3 раза менее жесткая, чем 2XS2YRAA).

Жесткостные характеристики исследуемых тел представлены в таблице.

Таблица

Жесткостные характеристики исследуемых антенн

Параметр	Трехжильный армированный кабель 2XS2YRAA	Антенна средней жесткости	Антенна гибкая
Модуль упругости E , Н/м ²	$8,92 \cdot 10^9$	$4,46 \cdot 10^9$	$2,97 \cdot 10^9$
Модуль сдвига G , Н/м ²	$4,46 \cdot 10^9$	$2,23 \cdot 10^9$	$1,47 \cdot 10^9$

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

На основе изложенного метода была проведена серия расчетов с варьированием следующих параметров:

- 1) скорость хода v_s от 0 до 4 м/с;
- 2) угол кормовой оконечности α от 15° до 17° ;
- 3) модуль упругости антенны E от $2,97 \cdot 10^9$ до $8,92 \cdot 10^9$ Н/м²;
- 4) модуль сдвига антенны G от $1,47 \cdot 10^9$ до $4,46 \cdot 10^9$ Н/м².

Получены углы отклонения концевой тела антенны β от оси x (соответствует углу наклона участка № 5 и концевой тела на рис. 4). На рис. 8, а–в представлены зависимости для углов кормовой оконечности α АНПА от 15° до 17° .

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ЗАТЯГИВАНИЯ АНТЕННЫ В ГРЕБНОЙ ВИНТ

Вращающийся гребной винт создает вокруг себя область пониженного давления. В рамках данной работы принято, что эта область ограничена расстоянием $0,25 \cdot D$ под, над и за диском гребного винта. На рис. 9 штриховкой показана «опасная зона», при попадании в которую антенна будет затянута в гребной винт.

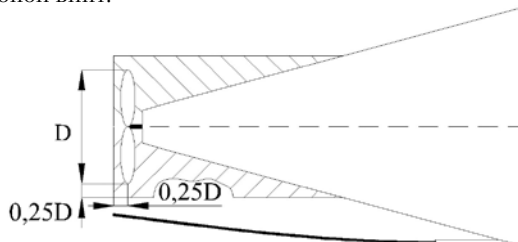


Рис. 9. «Опасная зона»

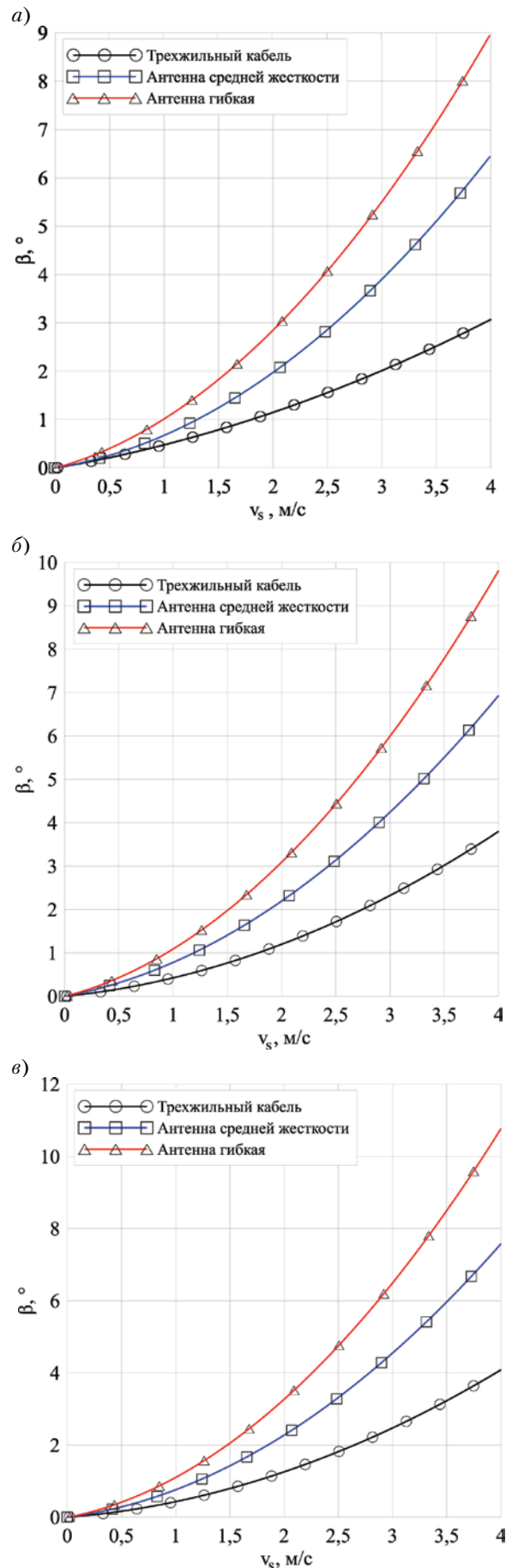


Рис. 8. Зависимость угла отклонения концевой тела антенны β от скорости хода АНПА v_s : а – с углом кормовой оконечности $\alpha = 15^\circ$, б – $\alpha = 16^\circ$, в – $\alpha = 17^\circ$

Таким образом, при выборе места размещения устройства выпуска антенны необходимо проверить, что при выпуске и выборке изогнутая антенна не попадает в «опасную зону».

Для проведения такой проверки можно использовать соотношение расстояний между точкой выпуска антенны и «опасной зоной», представленное на рис. 10.

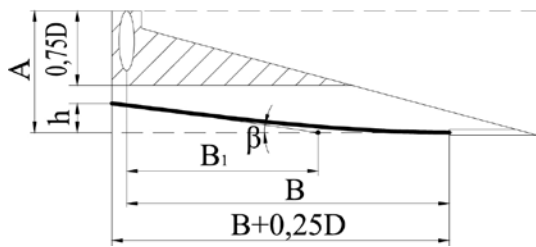


Рис. 10. Соотношение расстояний между точкой выпуска антенны и «опасной зоной»

На рис. 10 поперечное расстояние от точки выпуска антенны до оси вращения гребного винта (задаваемое при выборе места выпуска антенны) обозначено как A . Продольное расстояние от точки выпуска антенны до диска гребного винта (задаваемое при выборе места выпуска антенны) обозначено как B . Данные об угле β снимаются с графиков, представленных на рис. 8, а – в.

Анализ рис. 4 показывает, что от участка антенны № 5 и до концевой тела угол β практически не изменяется, поэтому отстояние антенны от «опасной зоны» (определяется с использованием величины h) можно рассчитать на основании прямоугольного треугольника, представленного на рис. 11.

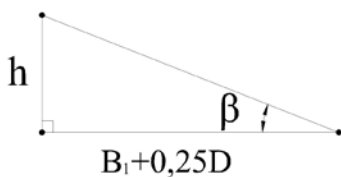


Рис. 11. Прямоугольный треугольник для определения отстояния антенны от «опасной зоны» (h)

Расстояние B_1 определяется по формуле (6) с использованием вспомогательной кривой, представленной на рис. 12: $B_1 = \bar{B} \cdot B$. (6)

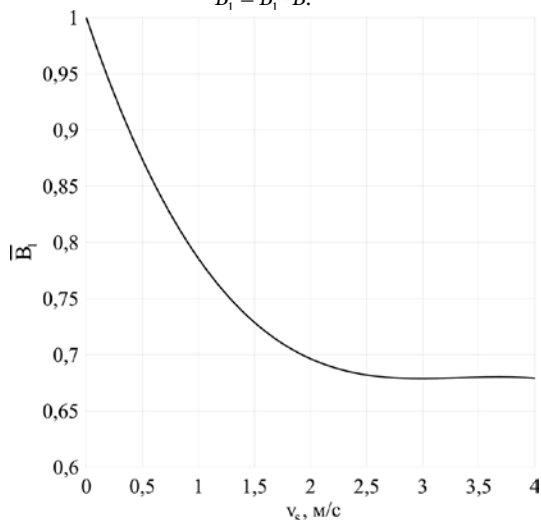


Рис. 12. Вспомогательная кривая для определения расстояния \bar{B}

Вспомогательная кривая, представленная на рис. 12, построена на основании анализа характера изгиба антенн при варьировании жесткостных характеристик (E, G), скорости буксировки v_s и угла кормового конуса α . Для определения расстояния B_1 строилась касательная под углом β к конечному участку траектории антенны (отрезок от концевой тела до

участка антенны № 5, рис. 4). Пересечение этой касательной с горизонтальной осью устройства выпуска антенны определяет расстояние B_1 . После этого можно построить треугольник, представленный на рис. 11, и определить отстояние антенны от «опасной зоны».

Установлено, что рассмотренные жесткостные характеристики (E, G) и угол кормового конуса α слабо влияют на величину \bar{B} , определяющей является скорость хода v_s .

Таким образом, величину h можно рассчитать по формуле $h = \text{tg}\beta \cdot (B_1 + 0,25 \cdot D)$, (7)

после чего сопоставить получившееся значение с величиной «опасной зоны» равное $A - 0,75 \cdot D$.

КРИТЕРИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ ВОЗМОЖНОСТИ ПОПАДАНИЯ АНТЕННЫ В ДИСК ГРЕБНОГО ВИНТА

Задав значения A, B, D , и β , можно оценить, попадает ли антенна в диск гребного винта на основании неравенства, записанного с учетом формулы (7):

$$A - 0,75 \cdot D > \text{tg}\beta \cdot (B_1 + 0,25 \cdot D). \quad (8)$$

Если неравенство (8) выполняется, антенна проходит за «опасной зоной» и не будет затянута в гребной винт. Если неравенство (8) не выполняется, то антенна попадает в «опасную зону» и будет затянута в гребной винт.

ДАЛЬНЕЙШИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для повышения точности предложенного критерия авторами планируется определение поля скоростей в области кормовой оконечности в условиях работающего гребного винта. В качестве возможных путей получения поля скоростей на данный момент рассматривается как метод численного моделирования гидродинамики, так и модельные испытания в опытовом бассейне. После получения такой информации можно будет уточнить границы «опасной зоны», при попадании в которую антенна будет затянута в гребной винт.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представлена методика расчета изгиба буксируемых антенн в области кормовой оконечности подводных аппаратов. Получены зависимости угла отклонения концевой тела антенны от оси, вдоль которой выпускается антенна при варьировании ее жесткостных характеристик, угла кормового конуса и скорости хода подводного аппарата. Предложен критерий и аналитическая зависимость, позволяющие оценить возможность попадания антенны в диск гребного винта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дайджест зарубежной прессы. ВМС и кораблестроение. – ФГУП «Крыловский государственный научный центр». – 2023. – Вып. 107.
2. Корякин Ю.А., Смирнов С.А., Яковлев Г.В. Корабельная гидроакустическая техника: состояние и актуальные проблемы. – СПб.: Наука, 2004. – 410 с.
3. Solus-LR Autonomous Underwater Vehicle. – Cellula Robotics : [сайт]. URL: <http://www.cellula.com/solus-lr> (дата обращения: 07.05.2024).
4. Егоров В. И. Подводные буксируемые системы: Учеб. пособие – Л.: Судостроение, 1981. – 304 с.
5. Девини С.И. Аэрогидродинамический расчет плохообтекаемых судовых конструкций. – Л.: Судостроение, 1967. – 222 с.
6. Керестень И.А., Корнилова Е.В., Михайлов А.А. Конечно-элементное определение эффективных коэффициентов жесткости для силовых подводных кабелей с гетерогенной структурой // Морские интеллектуальные технологии. – 2019. – Т.3. – № 3 (45). – С. 208–215 с.
7. Optical thin line towed arrays – Optics11 : [сайт]. URL: https://optics11.com/wp-content/uploads/2020/05/Hydrophones-Optical-thin-line-towed-arrays_052020.pdf (дата обращения: 07.05.2024). ■

Выдающийся советский инженер-кораблестроитель, кандидат технических наук Владимир Александрович Никитин родился в 1894 г. в Санкт-Петербурге в семье потомственного артиллерийского офицера. Окончив в 1911 г. кадетский корпус, В. А. Никитин поступил в Михайловское артиллерийское училище.



В.А. Никитин

Во время Первой мировой войны Владимир Александрович в составе 23-й артиллерийской бригады участвовал в боях против немцев и австро-венгров. Осенью 1914 г. был ранен под Краковом. Затем воевал в Карпатах. Награжден боевыми орденами. В октябре 1917 г. назначен командиром батареи. Весной 1918 г. смог вернуться в Петроград к родителям, несмотря на активные призывы к вступлению в новые национальные армии. В апреле 1918 г. поступил в пограничную охрану рядовым пограничником, а затем, в июле того же года, был отозван во вновь формирующиеся артиллерийские части Красной Армии. В качестве заместителя начальника артиллерии 1-й стрелковой дивизии освобождал Карелию и Кольский полуостров от белогвардейцев, а потом, с июня 1920 г., землю Таврии от войск Врангеля. В декабре 1920 г. откомандирован на учебу. В 1925 г., после окончания Кораблестроительного факультета Политехнического института стал работать в конструкторском бюро Северной судостроительной верфи, где принял участие в создании первенца советского кораблестроения – СКР типа «Ураган». С образованием Центрального конструкторского бюро специального судостроения (ЦКБС, с 1932 г. – ЦКБС-1) В. А. Никитин был назначен его главным инженером. Под руководством Владимира Александровича в ЦКБС-1 (в дальнейшем – ЦКБ-17) были разработаны

К 130-ЛЕТИЮ В.А. НИКИТИНА

С. И. Овсянников, гл. конструктор по гражданскому судостроению, АО «Северное проектно-конструкторское бюро», контакт.тел. (812) 702 3005



Ракетный крейсер «Варяг» пр. 58

проекты лидеров (пр. 1, пр. 38), крейсера пр. 26 («Киров»), эсминца пр. 7 и др.

С 1929 г. Владимир Александрович одновременно с производственной деятельностью, читал лекции в Военно-морской академии и Ленинградском кораблестроительном институте. В 1931–1939 гг. он неоднократно бывал в зарубежных командировках в Италии, Австрии и Германии.

С началом Великой Отечественной войны ЦКБ-17 было эвакуировано в Казань, где В. А. Никитин руководил разработкой документации для ремонта и вооружения кораблей, находящихся в составе действующих флотов нашей Родины.

В марте–апреле 1946 г. было создано конструкторское бюро по проектированию эсминцев и сторожевых кораблей ЦКБ-53 (ныне – АО «Северное проектно-конструкторское бюро»), главным инженером которого был назначен В. А. Никитин. В этой должности он проработал до 1951 г. Защитил диссертацию кандидата технических наук, основной темой которой было предэскизное проектирование военных кораблей, т. е. та область проектирования, которая является для инженера наиболее

творческой и лежит на границе ремесла и искусства.

Существует целый ряд «никитинских» проектов, в которых он впервые воплотил системный метод проектирования. В. А. Никитин – главный конструктор пр. 41 (эсминец «Неустрасимый») и пр. 58 (ракетный крейсер типа «Грозный»). В феврале 1960 г. он ушел на пенсию, но продолжал трудиться до 82 лет ведущим конструктором в проектно-конструкторском бюро (ЦКБ-53).

Воспитанников В. А. Никитина достаточно много. Одним из них является нынешний академик Владимир Евгеньевич Юхнин. Фразу В. А. Никитина: «Не ленись, Володя, из тебя толк будет», Владимир Евгеньевич вспоминает до сих пор.

Талантливый конструктор В. А. Никитин был удостоен Сталинской премии, награжден орденами Ленина, Отечественной войны I степени, Трудового Красного Знамени и медалями.

В 1976 г. он окончательно оставил работу в Северном проектно-конструкторском бюро. 13 апреля 1977 г. В. А. Никитина не стало. Его биография – пример служения Отечеству, образец верности любимому делу. ■



Эскадренный миноносец «Неустрасимый» пр.41

16 июля на Средне-Невском судостроительном заводе состоялась торжественная церемония закладки корабля противоминной обороны (ПМО) пр. 12700 (шифр «Александрит»). Приказом Главкомандующего ВМФ РФ будущему морскому тральщику присвоено имя Героя Советского Союза Виктора Корнера – участника Великой Отечественной войны. Корабль противоминной обороны «Виктор Корнер» станет тринадцатым в серии кораблей пр. 12700, заложенным на заводе. Пр. 12700 «Александрит» разработан АО «Алмаз» для ВМФ РФ. Эти корабли относятся к новому поколению минно-тральных сил и предназначены для борьбы с морскими минами.

При строительстве данных кораблей на Средне-Невском судостроительном заводе применяются новейшие российские технологии, не имеющие аналогов в мировом судостроении. Корабли этого проекта имеют уникальный, самый большой в мире корпус из монолитного стеклопластика, сформированный методом вакуумной инфузии. В сравнении с металлическим, масса композитного корпуса на 20 процентов ниже. Он обладает высокой прочностью, не подвержен воздействию агрессивных химических сред и коррозии, а срок службы, при соблюдении норм эксплуатации, не ограничен. К другим достоинствам композитного корпуса можно отнести его немагнитность, что обеспечивает высокую живучесть корабля при поиске мин.

Согласно планам Главного командования ВМФ России, корабли ПМО нового поколения в ближнесрочной перспективе будут составлять основу минно-тральных сил флотов ВМФ, существенно повысив эффективность выполнения задач.

СРЕДНЕ-НЕВСКИЙ СУДОСТРОИТЕЛЬНЫЙ ЗАВОД ПРОДОЛЖАЕТ СЕРИЙНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО КОРАБЛЕЙ ПРОТИВОМИННОЙ ОБОРОНЫ

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



Закладная доска корабля ПМО «Виктор Корнер»

А уже 9 августа на заводе состоялась торжественная церемония спуска на воду тральщика «Афанасий Иванович» этого же проекта.

Как заявил генеральный директор ОСК Андрей Пучков, «Средне-Невский судостроительный завод ОСК набрал хороший темп строительства кораблей проекта «Александрит». «Афанасий Иванович» стал уже девятым тральщиком, построенным на предприятии с момента начала строительства серии. Переданные ВМФ корабли хорошо зарекомендовали себя на разных флотах. Строительство серии продолжается, наши корабли готовы полностью обеспечить потребность ВМФ России в кораблях противоминной обороны».

Главком ВМФ Герой РФ Александр Моисеев также отметил, что «такие корабли ПМО нового поколения в ближайшей перспективе будут составлять основу минно-тральных сил всех флотов ВМФ России. Спущенный сегодня на воду корабль уже в этом году планируется включить в состав Северного флота».

Генеральный директор АО «Средне-Невский судостроительный завод» Владимир Середохо на церемонии в честь спуска корабля «Афанасий Иванович» на воду сообщил, что «завершен очередной этап модернизации производственных мощностей завода, это позволит предприятию выйти на график строительства и передачу флоту в будущем двух тральщиков в год. Нашему флоту очень нужны такие корабли».

Основные характеристики корабля противоминной обороны пр. 12700 «Александрит»
Водоизмещение, т ок. 890
Длина, м ок. 62
Ширина, м ок. 10
Полная скорость хода, уз ок. 16
Дальность плавания, мили 1500
Автономность, сут 10
Экипаж, чел. 44

Для борьбы с минами корабли могут применяться различные виды тралов, а также телеуправляемые и автономные необитаемые подводные аппараты. ■



Спуск на воду морского тральщика «Афанасий Иванович»

В настоящее время среди существующих судовых пропульсивных установок наибольшее распространение получили установки с двигателями внутреннего сгорания (ДВС). Их доля в общем объеме строящихся судов превышает 98%. Эти установки принято называть дизельными. Такое название они получили по имени автора Р. Дизеля, который на закате XIX в. предложил и отчасти реализовал рабочий цикл ДВС с воспламенением топлива от сжатия. Доминирующее распространение на судах дизельных пропульсивных установок объясняется их очевидными преимуществами по сравнению с другими тепловыми двигателями:

- самой высокой экономичностью (их КПД превышает 50%);
- стабильностью работы на различных сортах газообразного и жидкого топлива, включая тяжелое с вязкостью 700 сСт и содержанием серы 5% (напомним, ИМО ограничивает содержание серы в дизельном топливе до 3,5%, а внутри зон регулируемых выбросов – 1%);
- наилучшей приспособленностью к автоматизации, обеспечивающей безвахтенное обслуживание;
- значительным ресурсом и постоянной готовностью к функционированию. При этом они достаточно легко обеспечивают все эксплуатационные режимы движения судна.

Несмотря на очевидную значимость дизелей в качестве главных судовых двигателей, им в отечественном энергомашиностроении уделяется мало внимания. В результате санкционного давления сложилась ситуация, когда долгое время дизелестроение находилось в стагнации. Дошло до того, что в настоящее время возникли проблемы с комплектацией судов и кораблей морского флота главными двигателями. Попытки решить эту проблему за счет воспроизводства двигателей выпуска 60-х гг. прошлого столетия – тупиковый путь. Между тем, кажется, «лед тронулся», и сейчас отношение к отечественному дизелестроению постепенно меняется, по крайней мере, появились запросы от кораблестроителей на производство современных мощных дизелей, не уступающих зарубежным аналогам. При этих реалиях важно понимать следующее:

- создание и производство новых судовых дизелей относится к наукоемкой и технологически развитой отрасли машиностроения и сопряжено с большими затратами времени и средств, поэтому без заинтересованности и поддержки

МИРОВЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ СУДОВОГО ДИЗЕЛЕСТРОЕНИЯ

В.К. Румб, канд. техн. наук, проф., СПбГМТУ,
контакт. тел. +7 (911) 915 3041

государства в лице прежде всего Объединенной судостроительной корпорации не обойтись;

- достижение мировых технико-экономических, эксплуатационных и экологических показателей вновь разрабатываемых дизелей возможно при использовании прорывных достижений в науке и технике, металлургии, электронике, электротехнике, включая инновационных технологий реального машиностроения;
- для современных судовых дизельных установок характерна максимальная зависимость основного комплектующего оборудования от установленного на судне дизеля. В свою очередь, выбор судового ДВС проводится с учетом назначения судна, условий размещения главного двигателя в машинном отделении, типа судовой передачи. Поэтому создание главного ДВС является по сути оптимизационной задачей, главная цель которой – показатели, которыми должен обладать дизель после его изготовления. Только в этом случае новый дизель будет конкурентоспособным и востребованным.

Оценить эти показатели помогает анализ тенденций улучшения технико-экономических, эксплуатационных и экологических параметров, принятых в мировом дизелестроении. В условиях жесткой конкурентной борьбы эти параметры довольно быстро прогрессируют, непрерывно совершенствуются конструкции дизелей. Отсюда следует, что производство собственного судового дизеля, отвечающего мировому уровню, относится к актуальной и насущной проблеме, ее решение с учетом перечисленных требований позволяет обеспечить дизельный суверенитет страны.

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ СОВРЕМЕННЫХ СУДОВЫХ ДИЗЕЛЕЙ

Представленный ниже обзор технико-экономических и конструктивных особенностей судовых двигателей зарубежного производства не претендует на полноту и не охватывает все материалы, в которых имеются интересные данные. В обзоре отражены главным образом лишь те материалы, которые непосредственно посвящены

изучению данных вопросов. Несмотря на краткость обзора, он позволяет получить достаточно ясное представление о технико-экономических и эксплуатационных показателях современных дизелей.

Высокооборотные дизели (ВОД) с частотой вращения более 1500 мин⁻¹. Анализ имеющихся данных позволяет констатировать, что уровень форсировки ВОД зависит от назначения двигателя. При одинаковой размерности (диаметр цилиндра и ход поршня) частота вращения автомобильного дизеля больше частоты вращения судового двигателя. В соответствии с этим заметные отличия имеют средние скорости поршня, среднее эффективное давление, относительные показатели мощности – все они для судового дизеля меньше, чем для автомобильного. Во многом данный факт объясняется желанием производителя получить меньшие габариты автомобильного двигателя за счет его форсировки по частоте вращения, а для судового дизеля – увеличенный ресурс и большую эксплуатационную надежность.

Изучение конструкций эксплуатируемых ВОД позволяет составить собирательный образ современного высокооборотного двигателя. Прежде всего – это тронковый, четырехтактный дизель с рядным или V-образным расположением цилиндров и газотурбинным наддувом. Основное назначение двигателя – автомобили, трактора, яхты и скоростные суда.

Основные технические характеристики двигателя

Цилиндровая мощность, кВт	..... 115–125
Частота вращения, мин ⁻¹	..... 800–2200
Литровая мощность, кВт/л	..... 53–55
Средняя скорость поршня, м/с	..... 11–13
Удельная масса, кг/кВт	..... 2,2–4,0
Отношение хода поршня к диаметру цилиндра	..... 1,2–1,25
Среднее эффективное давление, МПа	..... 1,6–2,1
Степень сжатия	..... 16–18
Соотношение между крутящим моментом и мощностью	..... 6,5–7,5

Все двигатели имеют несколько вариантов исполнения как по номинальной мощности, так и по крутящему моменту.

Среднеоборотные дизели (СОД) и двигатели повышенной оборотности (ПОД). К СОД принято от-

носить двигатели с частотой вращения 300–750 мин⁻¹, частота вращения ПОД находится в диапазоне от 750 до 1500 мин⁻¹. Лидирующее положение в производстве СОД и ПОД занимают фирмы Wartsila Corporation, MAN Diesel & Turbo и Caterpillar-Mak. Все СОД и ПОД – четырехтактные, тронковые, как правило, неперверсивные с рядным и V-образным расположением цилиндров, с газотурбинным наддувом и промежуточным охлаждением наддувочного воздуха, работающие на тяжелых сортах дизельного топлива или на газе. Основное назначение двигателя – главный судовый или дизель-генератор.

Передача крутящего момента на гребной винт осуществляется через механический редуктор. Реверс осуществляется разворотом лопастей гребного винта регулируемого шага (ВРШ), либо реверс-редуктором. Анализ приведенных данных позволяет констатировать, что в конструкции этих двигателей преобладают модульный принцип построения, улучшающий технико-эксплуатационных свойств дизелей, организация процесса сгорания с многофазным впрыском топлива, применение высоконапорных турбокомпрессоров повышенной экономичности (их КПД выше 70%) или двухступенчатого наддува. Форсировка дизеля зависит от назначения двигателя.

Основные характеристики современных СОД и ПОД

Агрегатная мощность, кВт	.....635–17 200
Частота вращения, мин ⁻¹	..... 327–1200
Цилиндровая мощность, кВт	..... 175–2150
Среднее эффективное давление, МПа	..... 2,3–2,8
Диаметр цилиндра, мм	.....200–640
Отношение хода поршня к диаметру цилиндра	.....1,16–1,77
Средняя скорость поршня, м/с	.....9,1–11,6
Удельный расход топлива, г/(кВт ч)	..... 164–191
Расход масла, г/(кВт ч)	..... 0,9–1,2
Удельная масса, кг/кВт	..... 8–15
Полный ресурс (ресурс до списания), тыс. ч	..... 65–90

Малооборотные дизели (МОД), которые до недавнего времени выпускались на Брянском машиностроительном заводе по лицензиям фирм MAN и Wartsila, по своим технико-эксплуатационным и экологическим показателям соответствуют требованиям мирового уровня. Современные МОД – рядные, двухтактные двигателя с прямоточно-клапанной продувкой цилиндров, кривокопфного исполнения, с газотурбинным изобарным наддувом и промежуточным охлаждением воздуха.

Рабочие параметры современных МОД

Диаметр цилиндра, мм	.....260–980
Ход поршня, мм	..... 900–3600
Отношение хода поршня к диаметру цилиндра	.....2,3–4,5
Средняя скорость поршня, м/с	.....8,7–9,8
Среднее эффективное давление, МПа	..... 1,9–2,4
Удельный расход топлива, г/(кВт ч)	..... 156–178
Расход масла, г/(кВт ч)	.....0,5–0,9
Удельная масса, кг/кВт	..... 16–28
Полный ресурс (ресурс до списания), тыс. ч	.....125–130

Производство МОД представляет собой весьма трудоемкий и затратный технологический процесс.

КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ СОВРЕМЕННЫХ СУДОВЫХ ДИЗЕЛЕЙ

Изучение конструкций СОД и ПОД позволяет составить собирательный образ современного среднеоборотного двигателя. Прежде всего это тронковый, четырехтактный дизель с рядным или V-образным расположением цилиндров и газотурбинным наддувом. Конструктивно двигатель включает:

- *остов двигателя*, или блок-картер, который объединяет в одной конструкции фундаментную раму, станину и блок цилиндров. В блок-картере размещены воздушный ресивер и туннель для распределительного вала. Также блок-картер имеет окна, обеспечивающие доступ в картер, ресивер и туннель распределительного вала. Поперечное сечение блок-картера рядного двигателя – прямоугольное. Блок-картер изготовлен литьем из высокопрочного чугуна с последующим термическим снятием остаточных напряжений. Нижняя опорная поверхность блок-картера расположена значительно ниже оси коленчатого вала. Масляный поддон изготавливается из алюминиевого или синтетического материала, что способствует уменьшению массы двигателя. Сверху блок-картера располагаются элементы впускной и выпускной системы: воздушные фильтры, охладитель наддувочного воздуха и система рециркуляции отработавших газов (EGR). На переднем торце блок-картера устанавливаются фильтры топлива и масла, часто их располагают на боковых поверхностях двигателя;
- *штулки цилиндров* чугунные с плазменным покрытием для снижения коэффициента трения. По кон-

струкции штулки высокоподнятые, имеющие толстостенный опорный фланец, выведенный из блок-картера. Охлаждается штулка либо полностью по высоте, либо только опорный фланец. В последнем случае охлаждающей жидкости в блок-картере нет, а полость охлаждения образована за счет напрессованного на фланец усиленного бандажа. Охлаждение только верхней части штулки является более эффективным и в целом способствует снижению температурных деформаций по высоте штулки. Перспективными считаются цилиндрические штулки с калибровочным кольцом, которое выполняет роль теплового экрана и препятствует поступлению теплоты во штулку;

- *головки цилиндров* отдельные на каждый цилиндр. По конструкции они полуколлачкового типа, т. е. имеют на огневой поверхности развитый силовой бурт, который охватывает цилиндрическую штулку. На каждой головке в центре расположена одна форсунка и четыре клапана. Форсунка размещается в тонкостенном стальном стакане, который запрессовывают в головку цилиндра. Нижнее днище головки толстостенное. Это обеспечивает повышенную прочность и жесткость. В днище предусмотрены радиальные сверления для охлаждающей жидкости. Это позволяет интенсивно охладить межклапанные и клапанно-форсуночные перемычки. Седла клапанов вставные, охлаждаемые. Впускные и выпускные клапана идентичные, изготавливаются из жаропрочной стали, оборудуются поворотными механизмами. Выпускные клапана изготавливаются в виде клапанных узлов. Головки цилиндров литые из легированного высокопрочного чугуна с шаровидным графитом;
- *коленчатый вал* двигателя полноопорный, подвесной, изготавливается из среднеуглеродистой легированной стали с последующим азотированием шеек и обкаткой роликами галтелей. На каждой щеке коленчатого вала установлено по противовесу. Они изготавливаются отдельно от вала и крепятся к нему посредством шпилек. Коренные и шатунные подшипники тонкостенные, многослойные, ленточного (канавчатого) типа, т. е. антифрикционная заливка выполнена чередующимися полосками. Основной антифрикционный материал – алюминиево-оловянистый

- сплав. Подача масла к коренным подшипникам подводится по сверлениям в блок-картере, а к шатунному подшипнику – по сверлениям в коленчатом вале. Подвески коленчатого вала имеют как вертикальное, так и горизонтальное крепление;
- *шатуны* двигателя с двутавровым или круглым стержнем. Верхняя головка шатуна имеет ступенчатую или коническую форму с запрессованной в нее бронзовой втулкой. Нижняя головка шатуна отъемная с прямым разъемом, полученным с применением технологии холодного разлома. Крепление крышки нижней головки осуществляется двумя болтами. Плоскость отъема головки располагается либо непосредственно у головки, либо в средней части стержня шатуна. В V-образных ДВС применяется схема КШМ с центральными (рядом стоящими) шатунами;
 - *поршни* двигателя составные: головка стальная тонкостенная, тронк чаще чугунный и реже алюминиевый. Тронк связан с головкой не жестко, а посредством поршневого пальца. В результате этого тронк может самоустанавливаться при движении поршня, что сглаживает удары при его перекладке и, в конечном счете, уменьшает потери на трение. На поршне установлены четыре кольца: три компрессионных и одно маслосъемное. Компрессионные кольца с бочкообразным профилем рабочей поверхности, а верхнее кольцо имеет асимметричный профиль. Поршневые кольца не взаимозаменяемые, имеют молибденовое покрытие. Охлаждение поршня достигается взбалтывание, циркуляцией и опрыскиванием днища. Охлаждающая жидкость – масло. Поршневой палец плавающего типа, фиксируется только в осевом направлении. Получают популярность конструкции с жестким креплением верхней головки шатуна с поршневым пальцем. В этом случае поршневые подшипники – тонкостенные втулки с заливкой из свинцовистой бронзы;
 - *распределительный вал* – секционного типа. Каждая секция такого вала обеспечивает газообмен и топливоподачу одного цилиндра, а поэтому представляет собой короткий вал с кулачными шайбами и цилиндрическими фланцами. Секции соединяются друг с другом посредством фланцев. Они, в свою очередь, образуют опорные поверхности. Подшипники распределительного вала разъемные. Кулач-

ные шайбы – асимметричные;

- *топливная аппаратура* неразделенного типа, представлена насос-форсунками с механическим или гидравлическим приводом. В топливной аппаратуре с механическим приводом насос-форсунки приводятся от топливной кулачной шайбы, закрепленной на распределительном вале, через рычаг. Управление параметрами топливоподачи (угол опережения подачи топлива, цикловая подача, закон подачи и т. д.) осуществляется электронным блоком управления за счет воздействия на электромагнитный клапан начала подачи и отсеки топлива. В топливной аппаратуре с гидравлическим приводом предусматривается аккумулятор масла, от которого масло через управляемый клапан подается к насос-форсункам. В этом случае управление параметрами топливоподачи осуществляется воздействием на подачу масла. Давление впрыскивания топлива 140–210 МПа. Система управления топливоподачей должна предусматривать возможность многофазового впрыскивания (пилотный, основной и последующие). Это позволяет максимально сократить расход топлива, эмиссию вредных выбросов и твердых примесей в отработавших газах, а также снизить уровень шума при сгорании топлива. Рассмотренная система топливоподачи реализуется с помощью аккумуляторной системы Common Rail (CR), выполненная по классической схеме с электронным управлением. Распылитель форсунки многодырчатый (6×8 отверстий), это требует повышенных требований к фильтрации топлива. Камера сгорания – открытая, типа Гессельман;
- *система наддува* различается в зависимости от уровня форсировки и экологических требований, наддув с одно- или двухступенчатой системой состоит из свободного турбокомпрессора с импульсной или изобарной турбиной. Обязательное охлаждение наддувочного воздуха после каждой степени и возможность работы турбокомпрессора с рециркуляцией отработавших газов. Для повышения приемистости двигателя целесообразно иметь турбокомпрессор с изменяемой геометрией. Регулирование турбокомпрессора осуществляется электронным управлением автоматически;
- *система охлаждения* – с двумя отдельными контурами: с конту-

ром охлаждения непосредственно двигателя и контуром охлаждения наддувочного воздуха. Насосы системы охлаждения навешены на передней части двигателя, приводятся от коленчатого вала через раздаточный механизм. От него осуществляется привод распределительного вала.

Как правило, на двигателях предусмотрена возможность отбора мощности. Двигатели арктического исполнения комплектуются дополнительно насосом предварительной прокачки масла, а также подогревателями топлива, масла и впускного воздуха.

Возрастающие требования к токсичности отработавших газов отражаются на комплектации современных двигателей. В новых СОД используются следующие технологии очистки отработавших газов (ОГ): рециркуляция газов с их охлаждением, фильтр для сажи и система каталитической очистки. Несмотря на громоздкость, система каталитической очистки отработавших газов с впрыскиванием мочевины стала внедряться в автомобильные дизельные двигатели для существенного снижения концентрации NO_x . Управление впрыскиванием мочевины осуществляется электронным блоком. Он же поддерживает температуру отработавших газов повышенной на холостом ходу. С целью снижения токсичности и дымности ОГ существенно увеличивают количество воздуха, подаваемого в цилиндры двигателя.

Еще больше информации и более конкретных сведений о конструктивных особенностях современных судовых ДВС представлено в указанной ниже литературе.

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ СУДОВЫХ ДИЗЕЛЕЙ

С полным основанием можно утверждать, что в будущем сохранится господствующее положение дизелей на морском и речном флоте, и по-прежнему структурные и компоновочные схемы дизельных установок будут зависимы от главных судовых ДВС.

В перспективе конкуренция между МОД и СОД за право быть главными двигателями усилится, причем она станет более очевидной, поскольку уже сегодня среднеоборотные дизели по некоторым показателям обошли МОД. Ожидается дальнейшее повышение экономичности этих дизелей, особенно заметное снижение удельного расхода топлива прогнозируется на долевых режимах, прежде всего за счет автоматического согласования воздушоснабжения с топливоподачей. В этой связи получают широкое

распространение так называемые интеллектуальные двигатели, у которых варьирование фаз газораспределения и параметров впрыска топлива осуществляется электронными системами управления, а исполнительными органами распределительных клапанов и форсунок служат сервомоторы. У таких двигателей отсутствует в обычном понимании распределительный вал.

С помощью упомянутых электронных систем можно также управлять токсичностью и дымностью ОГ ДВС. Напомним, одновременно повысить экономичность дизеля и снизить его токсичность и дымность весьма затруднительно, так как при снижении токсичности увеличивается дымность и расход топлива и, наоборот, при снижении дымности повышается токсичность и растет экономичность. Поэтому прибегают к компромиссу путем оптимизации смесеобразования, воспламенения и сгорания топлива, что довольно просто позволяет сделать интеллектуальный двигатель при наличии соответствующей программы управления.

Степень автоматизации дизелей возрастет, и они войдут в состав комплексно-автоматизированных судовых дизельных энергетических установок (СДЭУ). В таких установках функции управления, контроля, диагностирования, обслуживания и защиты выполняются автоматически без непосредственного участия человека. В системах дистанционного управления появятся элементы автоматики, использующие сложные алгоритмы с логическими и вычислительными функциями. Благодаря им система дистанционного автоматического управления (ДАУ) сможет реализовывать несколько программ. Например, программа управления ходовым режимом при заданной скорости судна подсчитывает и поддерживает шаг винта и частоту вращения таким образом, чтобы получался минимальный расход топлива. Любые изменения условий плавания ДАУ учитывает и автоматически корректирует оба параметра. При другом алгоритме эта программа автоматически обеспечивает валогенераторный режим, при котором главный двигатель независимо от нагрузки

работает с одной и той же частотой вращения, а заданная скорость судна сохраняется в результате программного изменения шага винта.

Системы ДАУ позволяют переходить к безвахтенному обслуживанию СДЭУ и, как следствие, резко сокращать численность машинной команды. Согласно требованиям Российского морского регистра судоходства судам присваивается наивысший класс автоматизации А1 только при наличии ДАУ и управления СДЭУ с ходового мостика. Однако для реализации ДАУ все механизмы СДЭУ (не только главные и вспомогательные двигатели, но и обслуживающее их оборудование) должны быть соответствующим образом приспособлены, т. е. оснащены локальными датчиками, регуляторами, исполнительными устройствами, через которые снимается информация о техническом состоянии и осуществляется их автоматическое управление по замкнутой связи. Таким образом, ДАУ повышает экономическую эффективность эксплуатации судна, улучшает условия труда экипажа, но, с другой стороны, оно увеличивает себестоимость судового оборудования, что приводит к росту капиталовложений в дизельную установку. Анализ технико-экономической целесообразности СДЭУ с ДАУ говорит о необходимости унификации как элементной базы приборов, так и самого оборудования.

Учитывая преимущества унифицированного оборудования, его начали использовать при комплектации главного движительного комплекса, состоящего из главного двигателя, ВРШ, судовой передачи и системы их управления. Так, фирма MAN уже готова поставлять около 60 комплектов движительных комплексов с МОД и более 100 комплексов с СОД. Наличие таких унифицированных комплексов значительно упрощает проектирование ДПУ, ускоряет ее монтаж и повышает надежность. Эксплуатация и ремонт типового оборудования также имеет свои выгоды. Следующий этап развития связан с типизацией установки в целом, это когда на судно главная движительная установка, дизель-генераторы, обслуживающее их оборудование и система ДАУ поставляются в комплекте, а не отдельно,

как раньше.

В перспективе утилизация теплоты сохранится, так как она по-прежнему представляет резерв для повышения топливной экономичности энергетической установки в целом. Утилизируемая теплота будет использоваться для получения пара и горячей воды, необходимых для отопления и технических нужд, а также для подогрева других теплоносителей. Что касается утилизационного турбогенератора, то его функции, по-видимому, полностью перейдут к валогенератору. Он станет обязательным атрибутом СДЭУ. Диапазон мощностей применяемых валогенераторов – от 400 до 2600 кВт. Дальнейшее увеличение степени утилизации теплоты следует ожидать в основном за счет внедрения высокотемпературного охлаждения дизелей, перепуска части газа в утилизационный парогенератор минуя турбокомпрессор, утилизации теплоты дизель-генераторов. Для большего снижения расхода топлива предлагается устанавливать на дизель силовую турбину, работающую параллельно с турбокомпрессором, так называемую турбокомпаундную систему. Получаемая от нее дополнительная мощность (пока 3–5%) передается на коленчатый вал и может быть использована для привода других потребителей, включая валогенератор. Уже сегодня эта система обеспечивает экономии топлива до 8 г/(кВт ч).

Все сказанное в той или иной мере отражает общие мировые тенденции совершенствования судовых дизелей и перспективы развития судовых пропульсивных установок, не претендует на полноту и не охватывает специфические особенности конкретных двигателей и судов, где они установлены.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Возницкий И. В.* Судовые двигатели внутреннего сгорания. – Т. 1. – М.: Моркнига, 2007. – 284 с.
2. *Конкс Г. А., В. А. Лашко.* Современные подходы к конструированию поршневых двигателей: учеб. пособие. – М.: Моркнига, 2009. – 388 с.
3. *Румб В. К.* Судовые двигатели внутреннего сгорания. Конструирование, расчеты прочности, износостойкости, долговечности: учеб. пособие. – Москва–Вологда: Инфа-Инженерия, 2024. – 460 с. ■

АО «Компрессор» – единственное в стране предприятие – разработчик и изготовитель специализированного компрессорного и газового оборудования для кораблей и судов всех типов и назначений, а также для многих других отраслей, в их числе:

- специальные компрессорные станции для нужд ВМФ;
- установки для очистки и глубокой осушки сжатого воздуха;
- холодильные установки, в том числе ремонт и модернизация;
- компрессоры пускового и рабочего воздуха для гражданских судов;
- специальная компрессорная техника для ракетных комплексов войск стратегического назначения и ПВО;
- комплексы компрессорного оборудования и систем для хранения, распределения газов для космодромов, обеспечивающих запуск ракет-носителей;
- компрессоры и компрессорное оборудование для энергетического комплекса и атомной энергетики;
- винтовые компрессорные установки для «РЖД»;
- компрессоры буферного газа для газовой промышленности;
- установки подготовки топливного, пускового и импульсного газа;
- приборы автоматического управления с приемкой ВП МО РФ;
- приборы измерения и контроля параметров сжатого воздуха.

География поставок: Россия, страны СНГ, Германия, Финляндия, Норвегия, Индия, Иран, КНР, Корея, Алжир, Ливия, ОАЭ, Куба и др.

Предприятие имеет высококвалифицированное конструкторское бюро и производственную базу для создания современного наукоемкого оборудования, а также развитую сеть представительств службы сервисного и гарантийного обслуживания для обеспечения полного жизненного цикла изделий.

ОПЫТ ПРЕДПРИЯТИЯ

Необходимость импортозамещения в отечественном судостроении связана с широким распространением иностранного судового комплектующего оборудования (дизельные двигатели, холодильные установки, винторулевые колонки и т.д.), которое на протяжении длительного времени закупалось за границей, так как большинство судов строились по иностранным проектам, в составе которых применено иностранное оборудование с собственной локальной автоматикой. В нынешних геополитических обстоятельствах эксплуатирующие организации, которые используют иностранное оборудование, сталкиваются с ограничением и увеличением сроков и стоимости сервисных услуг по техническому обслуживанию и ремонту или с отказом от поставок и обслуживания применяемых иностранных комплектующих. Локальные системы управления судового оборудования, как правило, построены на базе иностранных контроллеров и содержит иностранное программное обеспечение, поставка и модернизация которых также затруднены, что оказывает значительные ограничения на эксплуатацию. Наше предприятие имеет лицензию и богатый опыт разработки, изготовления и ремонта специализированного автоматизированного компрессорного оборудования.

РАЗРАБОТКА СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ ДИАГНОСТИКУ С ПРИМЕНЕНИЕМ РОБАСТНОГО МЕТОДА ДЛЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ СУДОВЫХ ПОРШНЕВЫХ КОМПРЕССОРОВ

А.В. Бураков, начальник ЦКБ,
Р.Р. Хотский, зам. начальника 808 ВП МО РФ,
П.Ю. Зуев, начальник 43-го отдела,
А.И. Абрамов, зам. начальника 43-го отдела,
 АО «Компрессор»,
 контакт. тел. (812) 295 5090

В частности, АО «Компрессор» с 2018 г. по совместному решению, утвержденному Главным командованием ВМФ, и вместе с ведущей организацией по ремонту кораблей ВМФ АО «51 ЦКТИС» проводит комплекс мероприятий по замене морально и физически устаревших иностранных компрессоров (как правило, польских, чешских, украинских), снятых с производства, на кораблях ВМФ, которые были построены в период СССР на прибалтийских верфях, при их модернизации и ремонте на компрессоры собственного производства. Комплекс мероприятий включает выезд специалистов на место эксплуатации, ревизия компрессоров сжатого воздуха, выявление требуемых параметров сжатого воздуха, замер мест установки, схем подключения к электропитанию, системам сжатого воздуха, системе охлаждения, выпуск ремонтной документации, согласование с АО «51 ЦКТИС», изготовление нового компрессора взамен старого и необходимых переходных деталей, шефмонтаж, пусконаладка, сдача компрессоров экипажу.

Одним из направлений деятельности нашего предприятия является создание собственных систем автоматического управления компрессорным оборудованием из освоенной отечественной промышленностью элементной базы, это необходимо для исключения зависимости поставок и технического обслуживания компрессорного оборудования от сторонних поставщиков, что позволяет полностью контролировать компрессорное оборудование на всех этапах жизненного цикла, оказывать техническую поддержку, ремонт, модернизацию, адаптацию программного обеспечения под заказчика при необходимости.

Предприятие разрабатывает, постоянно совершенствует и внедряет новые технологии, направленные на удобство эксплуатации и повышение надежности компрессоров, разрабатываются системы для диагностики параметров компрессоров, например устройство для контроля давления в узлах поршневого многоступенчатого компрессора [1], выполненное в виде размещенного в едином корпусе блока тензопреобразователей давления, которые подключены к узлам смазки и охлаждения компрессора, а также к выходам из охладителей каждой ступени компрессора. Разрабатываются устройства контроля качества сжатого воздуха, в частности устройство для контроля содержания масла в сжатом газе [7].

ПРИБОРЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

АО «Компрессор» разработаны и серийно выпускаются приборы автоматического управления для компрессорного оборудования:

Аппаратура автоматического управления АУ ГКЗ-3
 компрессором вакуумирования НЯИД.421415.004

ТУ обеспечивает ввод сигналов от датчиков и сигнализаторов, обмен информационными сигналами с внешними устройствами, обработку сигналов в соответствии с алгоритмами работы компрессора, вывод сигналов на исполнительные механизмы и выдачу информации на панель индикации.

Технические характеристики

Питание..... 380В ~50Гц
 Потребляемая мощность..... не более 0,25 кВт при $\cos \varphi \approx 1$
 Исполнение IP55ГОСТ 14254–96
 Масса пульта управления (ПУ ГКВ), кг..... 20



Рис. 1. Аппаратура автоматического управления АУ ГК3-3

Аппаратура автоматической продувки водомаслоотделителей АУП ВМО-1 предназначена для осуществления циклических продувок: водомаслоотделителей ВМО электрокомпрессоров типа ЭК10, ЭК7,5 и ресивера дизель-компрессора типа ДК10; путевых ВМО и ВМО блоков осушки, работающих совместно с компрессорами.

Блок управления автоматической продувкой БУАП1 аппаратуры АУП ВМО-1 имеет три исполнения по напряжению питания: 380 В ~50Гц или 220 В ~50Гц, или 127 В ~50Гц.

Технические характеристики

Потребляемая мощность..... не более 100 ВА при $\cos \varphi \approx 1$
 Масса, кг..... 22
 Исполнение прибора IP54ГОСТ 14254–96



Рис. 2. Аппаратура автоматического управления продувкой

Аппаратура автоматического управления АУ ЭКСА7,5-3 осуществляет автоматическое управление электрокомпрессорной станцией ЭКСА7,5-ЗМ-1, предназначенной для получения сжатого воздуха давлением до 19,6 МПа (200кгс/см²) или 39,2 МПа (400 кгс/см²), осушенного и очищенного до заданных параметров.

Аппаратура обеспечивает ввод сигналов от датчиков и сигнализаторов, обмен информационными сигналами с внешними устройствами, обработку сигналов в соответствии с алгоритмами работы компрессорной станции, вывод сигнала

лов на исполнительные механизмы и выдачу информации на панель индикации.

Технические характеристики

Питание..... 380В ~50Гц
 Потребляемая мощность, Вт..... не более 350
 Масса пульта автоматического управления (ПАУ), кг..... 30
 Масса пульта ручного управления (ПРУ), кг..... 17
 Масса пульта дистанционного управления (ПДУ), кг 4,5



Рис. 3. Аппаратура автоматического управления АУ ЭКСА7,5-3

Аппаратура автоматического управления АУ ЭКВ-2 НЯИД.421415.006 ТУ осуществляет автоматическое управление электрокомпрессором вакуумирования и обеспечивает ввод сигналов от датчиков и сигнализаторов, обмен информационными сигналами с внешними устройствами, обработку сигналов в соответствии с алгоритмами работы компрессора, вывод сигналов на исполнительные механизмы и выдачу информации на панель индикации.

Технические характеристики

Питание..... 380В ~50Гц
 Потребляемая мощность..... не более 0,2 кВт при $\cos \varphi \geq 0,9$
 Исполнение IP55.....ГОСТ 14254–96
 Масса прибора управления (ПУ), кг 20



Рис. 4. Аппаратура автоматического управления АУ ЭКВ-2

Прибор управления электрокомпрессором ПУЭК1 предназначен для автоматического управления поршневыми компрессорами, устанавливаемыми на судах с классом автоматизации А1 и А2, объектах заказчика, а также в различных отраслях промышленности, эксплуатируемых в условиях морского или умеренно холодного климата.

Прибор имеет восемь исполнений, отличающихся периодичностью продувки, напряжением питания, количеством управляемых клапанов и контролируемых ступеней компрессора.

Технические характеристики

Питание..... 220 В ~50 Гц или 380В ~50Гц
 (в зависимости от исполнения)
 Периодичность продувки..... 15 или 30 мин.
 (в зависимости от исполнения)

Кол-во управляемых клапанов и контролируемых ступеней компрессора 3 или 4
(в зависимости от исполнения)
Потребляемая мощность не более 200 ВА
Масса прибора, кг 21 для вариантов исполнения 1..4
и 22.51 для вариантов исполнения 5..8
Исполнение прибора IP54 ГОСТ 14254–96



Рис. 5. Прибор управления ПУЭК1

Прибор управления ПУ SKA60/200 размещается непосредственно на компрессорной станции, также может устанавливаться в отдельном помещении.



Рис. 6. Прибор управления ПУ SKA60/200 на компрессоре

Прибор управления ПУ SKA60/200 построен на базе программируемого логического контроллера (ПЛК), являющегося ядром системы автоматического управления, укомплектованным необходимым набором модулей ввода-вывода. ПЛК представляет собой устройство, предназначенное для сбора, преобразования, алгоритмической обработки, хранения информации и формирования сигналов управления посредством выходных модулей. ПУ обеспечивает автоматическую работу компрессорной станции в различных режимах управления, постоянное наблюдение за контрольными точками по давлению (до 8 точек) [1], температуре в режиме реального времени, автоматическую остановку компрессора по сигналу «Стоп» на любом режиме управления, автоматическую разгрузку и продувку, остановку компрес-

сорной станции при выходе контролируемых параметров за допустимые пределы, с индикацией вида неисправности и текстового сообщения. Для вывода информации о работе компрессорной станции используется сенсорный панельный контроллер с цветным графическим дисплеем либо сенсорный графический дисплей. Обмен сигналами с верхним уровнем осуществляется по высокоскоростному и помехоустойчивому последовательному интерфейсу передачи данных RS-485 в режиме реального времени.



Рис. 7. Дисплей прибора управления ПУ SKA60/200

ДИАГНОСТИКА ПАРАМЕТРОВ КОМПРЕССОРА

Выбор типа автоматизации и диагностики компрессора для судовых компрессорных установок следует делать, исходя из требований заказчика, РМРС, анализа особенностей эффективного использования различных типов компрессоров.

Для диагностики компрессорного оборудования могут применяться различные алгоритмы, в частности, могут использоваться параметры, полученные в результате измерений действительных индикаторных диаграмм ступеней компрессора [2], также могут применяться статистические методы, например, метод диагностирования компрессоров воздуха высокого давления [3].

В области прикладного статистического анализа данных получил широкое развитие робастный подход, позволяющий снизить негативное влияние нетипичных наблюдений без существенного усложнения архитектуры используемой модели. Наиболее широко робастный подход используется в рамках регрессионного анализа. Устойчивые методы хорошо зарекомендовали себя при анализе зашумленных данных, поэтому представляется перспективным применить основные идеи робастного подхода при построении систем диагностики. Кроме того, чтобы улучшить точность оценок, прогнозов и выводов, иногда в регрессионном анализе при сборе данных используют идеи теории планирования оптимального эксперимента [4].

ПРИМЕНЕНИЕ РОБАСТНОГО МЕТОДА ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ

Для поршневого компрессора в зависимости от области применения возможны как простые системы диагностики, основанные на одном-двух критических параметров (например, конечное давление и температура масла), так и функционально развитые системы диагностики, содержащие боль-

шое количество параметров, например, текущие давления в каждом цилиндре компрессора, температуры воздуха на каждой ступени компрессора, температура масла, температура охлаждающей воды, датчики вибрации на основании, картере и цилиндрах компрессора), акустические датчики и обрабатывающие данные параметры в режиме реального времени контроллеры с возможностью удаленного доступа к системе диагностики. Для развития систем диагностики целесообразно дополнять их функциями прогноза технического состояния параметров компрессора с учетом данных, полученных от датчиков. Для обработки данных сигналов может быть использован робастный метод. Имеется опыт применения метода для диагностики в нефтегазовой отрасли [5, 6], с общим подходом к диагностике компрессоров можно ознакомиться в работе [9].

В основу *робастного метода* положено представление вектора состояния поршневого компрессора в виде временного ряда и использование аппарата экстраполяционного его восстановления.

При анализе временных рядов, описывающих процессы в компрессоре, большое значение имеет возможность экстраполяционного восстановления текущих значений ряда, т.е. применительно к подконтрольному компрессору – краткосрочное прогнозирование его состояния. Этот процесс должен происходить на основе априорных представлений о закономерностях функционирования компрессора.

Сравнительный анализ различных процедур экстраполяционного восстановления текущих значений временного ряда [10–12] показывает, что сложные модели, как правило, не давая существенных преимуществ в качестве прогноза по сравнению с более простыми, проигрывают им при оценке по информационному критерию Акаике (AIC):

$$AIC = N \lg \sigma^2 + 2p, \quad (1)$$

где $N \lg \sigma^2$ – составляющая штрафа, учитывающая ошибку модели; $2p$ – составляющая штрафа, учитывающая порядок модели; p – количество независимых переменных; N – количество отсчетов процесса; σ^2 – дисперсия оценки процесса.

Особенно показателен в этом смысле случай, когда статистические свойства ряда отличаются от тех, на которые настроены прогнозирующие фильтры.

Таким образом, для прогнозирования состояния технической системы путем экстраполяции значений параметров временного ряда целесообразно использовать адаптивные фильтры типа фильтров Хольца и Брауна первого и второго порядка.

Несовершенство базовых моделей этих фильтров заключается в том, что они не учитывают значительной априорной статистической неопределенности реальных входных параметров. Поэтому их алгоритмам необходимо придать свойства робастности по отношению к аномальным выбросам, ведущим к отклонениям реального закона распределения для этих параметров от нормального.

Представим исходный временной ряд $\{x(t_k)\}$, $t_k = t_0 + kt$ в виде двух компонент:

$$x(t_k) = x^*(t_k) + E(t_k), \quad (2)$$

где $E(t_k)$ – некоррелированные случайные величины с нулевым средним и конечной дисперсией; $x^*(t_k)$ – тренд (детерминированный либо гладкий случайный процесс).

Задача состоит в получении устойчивой оценки прогноза по измерениям $x(t_k)$, $k = 0, 1, \dots, N$.

Известные методы построения прогнозирующих функций для описания временных последовательностей основываются на критерии МНК, в соответствии с которым все наблюдения имеют равный вес. Однако, так как последние наблюдения отражают тенденцию развития процесса, им необходимо придать больший вес, а наблюдениям, относя-

щимся к прошлому процессу, – меньший вес, так как ценность их с течением времени падает. Такой постановке задачи (учета развития процесса во времени) отвечает метод экспоненциального сглаживания [13], где весами являются множители α^k , где $\alpha \in (0,1)$ – коэффициент дисконтирования, характеризующий снижение ценности информации за время t , K – порядковый номер наблюдения (текущему моменту соответствует $K = 0$). Из условий нормировки и сходимости ряда

$$\sum_{k=0}^{\infty} \alpha^k = \frac{1}{1-\alpha}. \quad (3)$$

Для получения оптимальной оценки процесса, описываемого выражением (2), где $x^*(t_k) = \bar{X} - \text{const}$, в робастной постановке задачи минимизируется выражение вида:

$$\sum_{k=0}^{\infty} \alpha^k \rho[x(t_k) - \bar{X}] \alpha^k = \min, \quad (4)$$

где $\rho[x]$ – функция минимального контраста, имеющая первую и вторую производные:

$$\rho'[x] = \psi[x], \quad \rho''[x] = \psi'[x].$$

Оценка получается при дифференцировании (4) по \bar{X} :

$$\frac{\partial}{\partial \bar{X}} \left(\sum_{k=0}^{\infty} \rho[x(t_k) - \bar{X}] \alpha^k \right) = 0 \quad (5)$$

или

$$\sum_{k=0}^{\infty} \psi[x(t_k) - \bar{X}] \alpha^k = 0. \quad (6)$$

Система уравнений (6) нелинейная. Ее решение требует линеаризации, т.е. выделения линейной по \bar{X} части. Для этого применено разложение левой части выражения (4) в окрестностях точки \bar{X}_0 , являющейся начальным приближением оценки \bar{X} , в ряд Тейлора. При этом принято во внимание, что члены разложения после первых двух в сумме дают бесконечно малую величину, поэтому выписаны только первые два члена разложения:

$$\begin{aligned} \sum_{k=0}^{\infty} \psi[x(t_{k-j}) - \bar{X}] \alpha^k &= \sum_{j=0}^{\infty} \psi[x(t_{k-j}) - \bar{X}_0] \alpha^k - \\ &- \sum_{k=0}^{\infty} \psi'[x(t_{k-j}) - \bar{X}_0] \alpha^k (\bar{X} - x_0). \end{aligned} \quad (7)$$

Так как

$$\sum_{j=0}^{\infty} \psi[x(t_{k-j}) - \bar{X}] \alpha^k = 0, \quad (8)$$

выражение для одношаговой итерационной процедуры примет вид

$$\bar{X} = x_0 + \frac{\sum_{j=0}^{\infty} \psi[x(t_{k-j}) - \bar{X}_0] \alpha^k}{\sum_{j=0}^{\infty} \psi'[x(t_{k-j}) - \bar{X}_0] \alpha^k}. \quad (9)$$

Рассмотрим знаменатель в (9). Так как $\alpha \in (0,1)$ и вторая производная от функции минимального контраста Хубера $\rho''[x]$ равна

$$\rho''[x] = \begin{cases} 0, & \text{если } |X| > c; \\ \text{const}, & \text{если } |X| \leq c, \end{cases} \quad (10)$$

где c – пороговое значение, то знаменатель сходится к пределу, равному

$$\sum_{j=0}^{\infty} \psi'[x(t_{k-j}) - \bar{X}_0] \alpha^k = j. \quad (11)$$

С учетом (3) $0 < j < \frac{1}{1-\alpha}$.

С использованием уравнения (9) выражение для рекуррентной процедуры оценивания \bar{X} будет иметь вид

$$\hat{X}(t_k) = \hat{X}(t_{k-j}) + j \sum_{j=0}^{\infty} \psi[x(t_{k-j}) - \hat{X}(t_{k-j})] \alpha^k. \quad (12)$$

Член, содержащий последнее значение исследуемого процесса,

$$\begin{aligned} \hat{X}(t_k) = & \hat{X}(t_{k-1}) + (j\psi[x(t_{k-0}) - \hat{X}(t_{k-1})]) \alpha^0 + \\ & + \sum_{j=0}^{\infty} \psi[x(t_{k-j}) - \hat{X}(t_{k-1})] \alpha^k = \hat{X}(t_{k-1}) + \\ & + j\psi[x(t_k) - \hat{X}(t_{k-1})] + j \sum_{j=0}^{\infty} \psi[x(t_{k-j}) - \hat{X}(t_{k-1})] \alpha^k. \end{aligned} \quad (13)$$

Третье слагаемое в (13) – величина нулевого порядка малости по отношению к $\psi[x(t_k) - \hat{X}(t_{k-1})]$. Тогда

$$\begin{aligned} \hat{X}(t_k) = & \hat{X}(t_{k-1}) + j\psi[x(t_k) - \hat{X}(t_{k-1})] + \\ & + 0[x(t_{k-j}) - \hat{X}(t_{k-1})] \approx \hat{X}(t_{k-1}) + j\psi[x(t_k) - \hat{X}(t_{k-1})]. \end{aligned} \quad (14)$$

После подстановки в (14) верхней оценки для величины $j = 1 - \alpha$ выражение для робастного прогнозирующего сглаживания приобретает вид

$$\hat{X}(t_k) = \hat{X}(t_{k-1}) + (1 - \alpha)\psi[x(t_k) - \hat{X}(t_{k-1})]. \quad (15)$$

Таким образом, полученный робастный экспоненциальный фильтр, обладая всеми свойствами базового фильтра [14] имеет устойчивость к аномальным сбоям. Это позволяет избежать аномальных ошибок прогноза, так как соответствующие аномальные отсчеты корректируются в соответствии с функцией ψ и сбитые отсчеты не участвуют в формировании оценки процесса.

ВЫВОДЫ

Создаваемые диагностические комплексы с использованием робастных методов позволяют достигать высоких показателей, могут быть внедрены на автоматизированных компрессорных установках высокого давления для ВМФ и обеспечивать возможность непрерывного контроля и модернизации с доступной компонентной базой и КИП, что позволяет интегрировать диагностическое оборудование на компрессорные установки и поддерживать на всех этапах жизненного цикла.

На протяжении многих лет судовое оборудование, в том числе содержащее собственную локальную автоматику, закупалось за границей, это негативно сказалось на развитии отечественного научно-технического потенциала и привело к отсутствию отечественных диагностических комплексов на судах.

Внедрение диагностических комплексов с применением робастных методов для компрессоров не требует дорогостоящих специализированных высокопроизводительных контроллеров в системах автоматизированного управления компрессорного оборудования, технически реализуемо и перспективно при поддержке отечественного производителя и закупки исключительно российского оборудования при строительстве кораблей и судов и других стратегических объектов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Патент на полезную модель РФ № 182693, МПК F04B 27/00. Устройство для контроля давления в узлах поршневого мно-

гоступенчатого компрессора № 2018114499: заявл. 19.04.2018: опубл. 28.08.2018 / Кузнецов Л.Г., Кузнецов Ю.Л., Бураков А.В., Гугин Н.С., Ефремов А.А., Ксенафонтов Д.А., Абрамов А.И. – EDN GRPRYW.

2. Оскома А. А., Суриков Д. Г. Формирование модели диагностирования СКAB-7,5 на основе вектора его диагностических параметров // Вестник Международ. акад. холода. – 2021. – № 4. – С. 30–37. DOI: 10.17586/1606-4313-2021-20-4-30-37.
3. Оскома А. А. Статистический метод диагностирования компрессоров воздуха высокого давления, как эффективный способ повышения безопасности их эксплуатации // Межвузов. сб. науч. тр. конфер. «Проблемы безопасности на транспорте». – СПб.: ГМА им. адм. С. О. Макарова, 1997.
4. Шулепин В. П. Робастные методы математической статистики. – Томск: Изд-во НТЛ, 2016. – 260 с. ISBN 978-5-89503-575-7.
5. Соколов Л. А., Тырсин А. Н. Повышение достоверности диагностирования систем на основе робастного оценивания стохастических моделей временных рядов. // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2012. – № 4 (36). – С. 149–154.
6. Мовсумзаде Н. Ч. Робастная диагностика состояния объектов нефтехимических производств // Башкирский химический журнал. – 2006. – Вып 13. – №2. – С. 119–121.
7. Патент на полезную модель РФ № 172095, МПК G01N 27/64. Устройство для контроля содержания масла в сжатом газе №2017102659 : заявл. 27.01.2017: опубл. 28.06.2017 / Кузнецов Л. Г., Кузнецов Ю. Л., Бураков А. В., Томашевский С. М. – EDN NXGLWG.
8. Оскомина Е. Б. Разработка робастных систем управления курсом судна и методов их настройки на основе интервальных моделей. – Дисс. на соискание уч. степени канд. тех. наук. – Владивосток: Морской гос. ун-тет им. адм. Г.И. Невельского, 2017. – 125 с.
9. Биргер И. А. Техническая диагностика. – М.: Машиностроение, 1978.
10. Ковтуни Н. Л. Имитационный статистический анализ параметров технологических процессов на судах для прогнозирования надежности техники // Вестник ГУМРФ им. адм. С.О. Макарова. – 2016. – № 5(39). – С. 215–225.
11. Краснов А.Ю. Статистические методы в инженерных исследованиях. – СПб.: Изд. Ун-та ИТМО, 2022.
12. Стеклов А. С. Модели и алгоритмы диагностирования и прогнозирования технических состояний судовых электроэнергетических систем в условиях эксплуатации : специальность 05.09.03 «Электротехнические комплексы и системы» . – Дисс. на соискание уч. степени канд. техн. наук. – Н. Новгород, 2017. – 170 с.
13. Колесник В.А., Макшанов А.В. Устойчивые методы прогнозирования состояния технического комплекса на основе вероятностно-информационной модели системы контроля за ним. – Сб. НТО им. акад. А.Н. Крылова «Повышение надежности судового оборудования». – Л.: Судостроение, 1990.
14. Бобцов А.А., Никифоров В.О., Пыркин А.А., Слита О.В., Ушаков А.В. Методы адаптивного и робастного управления нелинейными объектами в приборостроении: учебное пособие для высших учебных заведений. – СПб.: Изд. НИУ ИТМО, 2013. – 277 с. ■

Аддитивные технологии (АТ) – перспективное и наиболее динамично развивающееся направление улучшения производства изделий для газотурбиностроения. ПАО «ОДК-Сатурн» активно внедряет АТ в процесс создания газотурбинного двигателя (ГТД). Например, были проведены исследовательские работы по определению механических свойств, а также коррозионной стойкости материала системы Со-Ст-Мо, полученного методом селективного лазерного сплавления (СЛС), на основе кобальтового жаропрочного сплава КХ28М6 [1]. Цель – внесение данного материала в ограничительный перечень «Материалы, покрытия и припои, разрешенные для применения в газотурбинных двигателях морского назначения». Результатами испытаний стала успешная квалификация материала КХ28М6 в рамках проекта «Ремонт морских ГТД», которая позволяет применять аддитивные технологии в процессе ремонта ГТД морского назначения.

Для внедрения деталей сборочных единиц (ДСЕ), изготовленных аддитивным методом для ГТД морского назначения, был выбран ряд деталей, перепроектированных с учетом возможностей и особенностей аддитивного производства (АП), что привело к оптимизации конструкции и повышению технологичности. Изменения способа изготовления деталей позволило сократить цикл производства одного комплекта деталей на 14 дней, увеличить коэффициент использования материала (КИМ) до 0,7, а конструктивные изменения и оптимизация геометрии обеспечили снижение массы деталей на 0,5 кг. В итоге общая масса ДСЕ в двигателе, произведенная методом аддитивных технологий, составила 3% от его общей массы.

Как показывает анализ литературных источников [2–9] и обобщение накопленного производственного опыта, проведение специальной термической обработки (ТО) для сплава КХ28М6 не только позволяет снять остаточные напряжения и устранить анизотропию свойств, но также способствует фазовому превращению, что должно привести и к повышению механических свойств сплава. Но применяемые режимы термической обработки не всегда позволяют достичь требуемого значения того или иного параметра материала (прочности, пластичности). Таким образом, определение оптимальных методов термической обработки изделий из сплава КХ28М6 для достижения требуемых свойств является актуальной и важной задачей.

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМОВ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ И КОЛИЧЕСТВЕННОГО СОДЕРЖАНИЯ ПРИМЕСЕЙ НА МИКРОСТРУКТУРУ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СЛС-СПЛАВА КХ28М6

С.А. Поляков, инженер-технолог, аспирант РГТУ им. П.А. Соловьева, Д.В. Федосеев, заместитель главного инженера опытного завода по аддитивным технологиям, ПАО «ОДК-Сатурн», А.А. Шатульский, заведующий кафедрой материаловедения, литья и сварки РГТУ им. П.А. Соловьева, sergey.polyakov@uec-saturn.ru

ОЦЕНКА ФАЗОВОГО СОСТАВА СПЛАВА СИСТЕМЫ СО-СР-МО

На первом этапе решения этой задачи был проведен анализ диаграмм состояния Со-Ст и Со-Мо. Результаты анализа показали, что при рабочих температурах в сплавах системы Со-Ст-Мо, во-первых, формируются твердые растворы хрома и молибдена, а во-вторых, возможно образование двух кристаллических решеток: низкотемпературной гексагональной плотноупакованной ГПУ-решетки (ϵ -фаза) и высокотемпературной гранцентрированной кубической (γ -фаза).

Свойства сплава КХ28М6 зависят также от соотношения этих фаз: относительное удлинение сплава системы Со-Ст-Мо увеличивается с увеличением доли фазы γ -Со, а износостойкость увеличивается с увеличением доли фазы ϵ -Со.

ПРОВЕДЕНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ В РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ

Как показывает анализ источников, соотношение фаз γ -Со и ϵ -Со также зависит от времени и температуры выдержки при термической обработке, поэтому на второй стадии исследований были изучены изменения структуры и фазового состава сплава, происходящие после термической обработки (ТО) в различных режимах, применяемых в производственных условиях.

Были проанализированы следующие режимы термической обработки:

- после СЛС-построения (без ТО);
- высокотемпературный отжиг выше перехода ГПУ-структуры в ГЦК-структуру;
- изотермическое старение при температуре ниже перехода ГПУ-структуры в ГЦК-структуру;
- высокотемпературный отжиг выше перехода ГПУ в ГЦК с последующим изотермическим старением.

После каждой термической обработки были проанализированы микроструктура, фазовый состав и определены механические свойства.

После СЛС-построения (без термической обработки) было установлено наличие существенной анизотропии физико-механических свойств материала КХ28М6 при использовании разной ориентации построения (табл. 1, рис. 1). В частности, были обнаружены более высокие значения механических свойств горизонтальных образцов из сплава КХ28М6 (оси X–Y) в сравнении с вертикальными (ось Z).

В исходном СЛС-сплаве КХ28М6 обнаружено присутствие смеси γ -фазы и малое количество ϵ -фазы. Свойства сплава КХ28М6 зависят также от соотношения этих фаз: относительное удлинение сплава системы Со–Ст–Мо увеличивается с увеличением доли фазы γ -Со, а износостойкость увеличивается с увеличением доли фазы ϵ -Со.

Таблица 1

Физико-механические свойства синтезированного материала КХ28М6 для вертикальных и горизонтальных образцов после построения

Свойства при T = 20 °С	Плоскость построения	Значения
Предельная прочность на разрыв, МПа	Горизонтальная (X–Y)	1350 ± 100
	Вертикальная (Z)	1200 ± 150
Предел текучести, МПа	Горизонтальная (X–Y)	1080 ± 100
	Вертикальная (Z)	800 ± 100
Относительное удлинение при разрыве, %	Горизонтальная (X–Y)	11 ± 3
	Вертикальная (Z)	24 ± 4

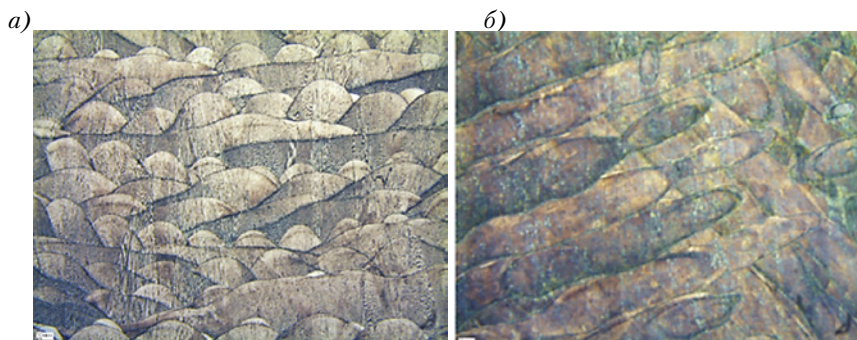


Рис. 1. Микроструктуры СЛС-материала KX28M6 после построения: а – направление построения – 001 (ось Z), б – направление построения – 100 (оси X–Y)
Увеличение $\times 200$ (линейка – 10 мкм)

Для синтезированных образцов характерна мелкая зернистая микроструктура, содержащая выделения карбидов вследствие наличия высоких температурных градиентов во время плавления и последующего быстрого охлаждения сплава, происходящего во время СЛС-процесса. Быстрое затвердевание соседних дорожек, полученных при работе лазера в СЛС-процессе, привело к формированию сети перекрывающихся ванн расплава в плоскости X–Y и границы полцилиндрических ванн расплава в плоскости Z, что является типичной микроструктурой СЛС-образцов.

Высокотемпературный отжиг. Высокотемпературная ТО кобальтовых синтезированных сплавов предназначена главным образом для перевода карбидов, богатых хромом, в твердый раствор. Рекомендуемый температурный интервал такой обработки аналогичен интервалу для литейных кобальтовых сплавов – 1150–1200 °С. После нагрева и выдержки СЛС-сплава KX28M6 при 1150–1200 °С было отмечено увеличение пластичности материала при одновременном уменьшении его прочностных характеристик. Была образована микроструктура с равномерными зёрнами. Все карбидные соединения при такой температуре выдержки были растворены, структура стала более однородной. Исследования по увеличению времени выдержки при высокотемпературном отжиге показали, что при выдержке в течение 6 часов вместо 2 часов увеличи-

вается размер микрозёрен (с 20–50 мкм до 30–150 мкм), а также полностью растворяются карбиды и ϵ -фаза, что приводит к улучшенной гомогенизации материала (рис. 2). По результатам определения физико-механических свойств было обнаружено повышение уровня прочности, так и пластичности (табл. 2).

Физико-механические свойства сплава KX28M6 после построения СЛС и высокотемпературного отжига с последующим остыванием в печи

Свойства при $T = 20\text{ }^\circ\text{C}$	Температура отжига и время остывания	
	1150°, 2 ч	1150°, 6 ч
Предел прочности на разрыв, МПа	1060	1150
Предел текучести (0,2%), МПа	620	650
Относительное удлинение при разрыве, %	21	32

Объемная доля ϵ -фазы уменьшалась по мере увеличения температуры термообработки с 750 до 1150 °С и достигала низкого значения после нагрева до 1150 °С (т. е. полного превращения), что способствовало наблюдаемому увеличению пластичности образца и устранению остаточных напряжений в нем.

Высокотемпературный отжиг с последующим изотермическим старением. Исследования влияния различных режимов изотермического старения сплава KX28M6 после высокотемпературного отжига показало, что при снижении температуры обработки в интервале 1000–800 °С (рис. 3) и дальнейшем увеличении времени выдержки происходит рост карбидных включений и ГПУ-фазы

ϵ -Со, что приводит к повышению кратковременной прочности и снижению пластичности.

При визуальной оценке микроструктур KX28M6 после термической обработки были получены следующие выводы:

- при температуре старения в 700 °С микроструктура не претерпевает существенных изменений (ϵ -фаза и карбиды не развиваются в достаточной количестве) и остается схожей с микроструктурой после высокотемпературного отжига;
- при более длительной выдержке в процессе изотермического старения при температуре ниже перехода ГПУ-фазы в ГЦК-фазу размер зерна становится меньше, при менее длительной выдержке выдержке сохраняется большой размер зерен после отжига;
- чем больше время выдержки, тем больше выделений ϵ -фазы в зернах;

Таблица 2

при 800 °С ϵ -фаза находится на всем зерне, при 1000 °С – преимущественно скапливается вдоль границ зерен;

- при температуре начиная с 1000 °С до 800 °С количество карбидов увеличивается с уменьшением температуры и увеличением времени выдержки.

- при температуре обработки в 800 °С, как наиболее близкой к температуре перехода ГПУ/ГЦК-фаз, изотермическое старение приводит к резкому повышению прочности и ухудшению пластичности материала. Это связано с большим количеством и размером карбидных соединений и большим выделением хрупкой низкотемпературной ГПУ-фазы ϵ -Со.

- при более высоких температурах старения в 900 °С и 1000 °С значения пластичности и кратковременной прочности не претерпевают таких серьезных изменений ввиду меньшего количества образованных карбидных соединений и фазы ϵ -Со. Но с увеличением времени выдержки (до 10 ч и более) свойства также начинают меняться, как при температуре в 800 °С, что приводит к сильному охрупчиванию материала.

Результаты испытаний термообработанных образцов с применением отжига и старения приведены в табл. 3.

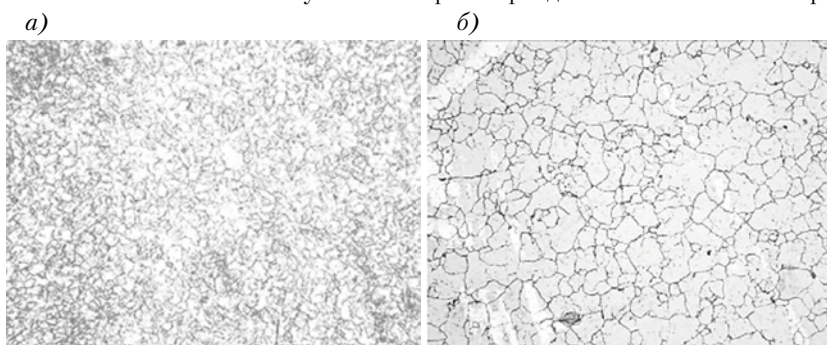


Рис. 2. Микроструктура образца после ТО при температуре 1200 °С: в течение 2 ч (а); 6 ч (б)
Увеличение $\times 200$

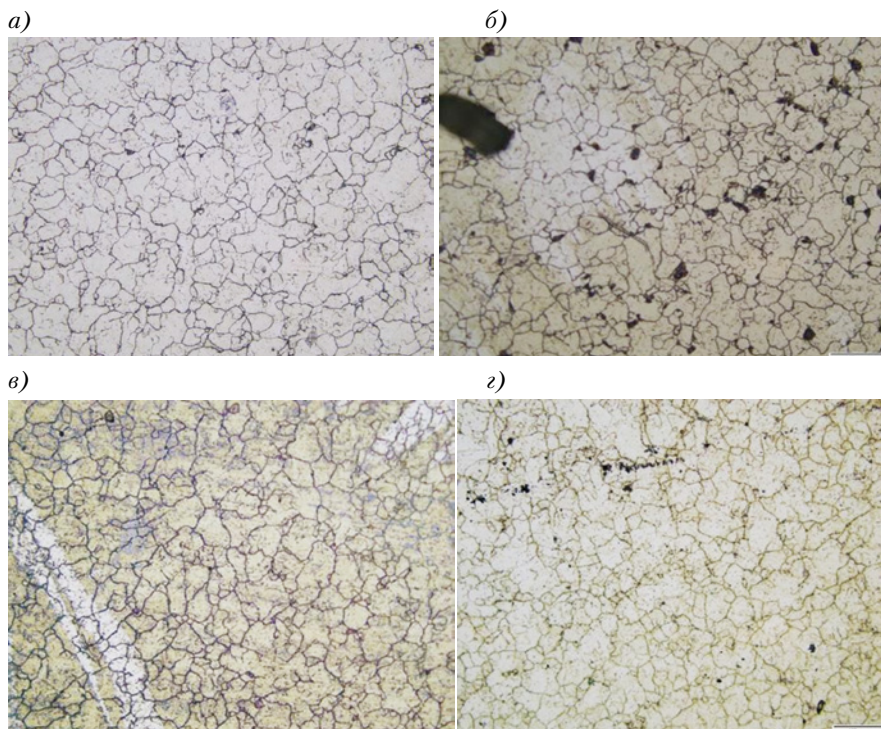


Рис. 3. Микроструктура сплава KX28M6 после высокотемпературного отжига при 1200 °С в течение 6 ч и старения при 700 °С (а), 800 °С (б), 900 °С (в), 1000 °С (г) в течение 4 ч. Увеличение $\times 200$

Таблица 3
Результаты кратковременной прочности образцов KX28M6 при T=20 °С после СЛС-построения, высокотемпературного отжига, остывания в печи и последующего старения

Температура старения, °С/время выдержки, ч	Предел прочности на разрыв σ_b , МПа	Предел текучести $\sigma_{0,2}$, МПа	Относительное удлинение при разрыве δ , %
800/2	1370	895	10,9
800/4	1330	920	8
800/10	1280	970	4,3
900/2	1010	650	22,4
900/4	1030	600	23,1
900/10	1200	835	7,6
1000/2	1060	557	29,1
1000/4	1090	587	30,7

ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ ОХЛАЖДЕНИЯ ПОСЛЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО ОТЖИГА ПЕРЕД ИЗОТЕРМИЧЕСКИМ СТАРЕНИЕМ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА СПЛАВА KX28M6

Было исследовано влияние скорости охлаждения после высокотемпературного отжига, а также после высокотемпературного отжига и изотермического старения при температуре 800 °С на механические свойства синтезированных образцов. Результаты испытаний и изображения микроструктур приведены в табл. 4 и на рис. 4.

Анализ полученных результатов показал, что пластичность заметно увеличивается с повышением скорости охлаждения, что объясняется изменением микроструктуры. Размер зерна образ-

цов, охлаждавшихся в воде, уменьшился по сравнению с охлаждением с печью на 40–60%. Как видно из рис. 4, отжиг и закалка в воде способствовали формированию более однородного и существенно меньшего размера зерен (в отличие от отжига с охлаждением в печи) с границами, содержащими мелкодисперсные карбидные соединения. Объемная доля ϵ -фазы стала меньше, поскольку ее количество только уменьшается при увеличении скорости охлаждения после отжига [10–11].

Быстрое охлаждение препятствует образованию мартенситной структуры, поскольку сплавы остаются в мартенситном поле в течение более короткого времени. Поэтому при более высокой скорости охлаждения в структуре будет находиться большее количество ГЦК-фазы-Со.

ВЛИЯНИЕ УГЛЕРОДА И АЗОТА НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СПЛАВА СИСТЕМЫ СО-СР-МО И ЕГО МИКРОСТРУКТУРУ ПОСЛЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

В процессе исследования влияния различных режимов термической обработки на микроструктуру и механические свойства синтезированного сплава KX28M6 было также установлено влияние количественного содержания таких примесей, как углерод С и азот N.

При сравнении свойств материала после проведения процедуры старения при 800 °С в течение 2–4 часов в образце № 1 (табл. 5) было отмечено полное сохранение свойств прочности и пластичности материала в состоянии после отжига у группы образцов № 1, что совершенно не согласуется с результатами исследований, приведенных выше в данной статье.

При сравнении химического состава образцов (табл. 6) было установлено, что в первом образце количество углерода и азота составило 0,018 и 0,14%, во втором – 0,135 и 0,04% соответственно.

Микроструктуры образцов после изотермического старения при 800 °С после отжига приведены на рис. 5. Анализ позволил сделать следующие выводы:

- в группе образцов № 1 микроструктура осталась идентичной, как и после высокотемпературного отжига: гомогенизированная структура с равноосными зернами, не обнаружено крупных выделений карбидов и ϵ -фазы на границах зерен, граница зерна слабо выраженная после травления.
- группа образцов № 2 показал гомогенизированную структуру с равноосными зернами, но в данном случае имели место начало образования, предположительно, карбидных соединений на границах зерен и включений на самих зернах. Сами границы стали более отчетливы видны после травления ввиду образования включений в них.

Было установлено, что для повышения пластичности сплавов и предотвращения разрушения из-за присутствия хрупкого ϵ -мартенсита, в сплавы вводят такие элементы, как азот и никель, которые являются сильными аустенитно-стабилизирующими элементами. Атомы азота обладают сильным сродством к атомам хрома и собираются вокруг них, образуя соединения Cr–N. В результате требуются дополнительные усилия для разрушения или изменения существующих кластеров Cr–N во время фазового превращения γ -фазы в ϵ -фазу. Нитриды нанометрового размера вза-

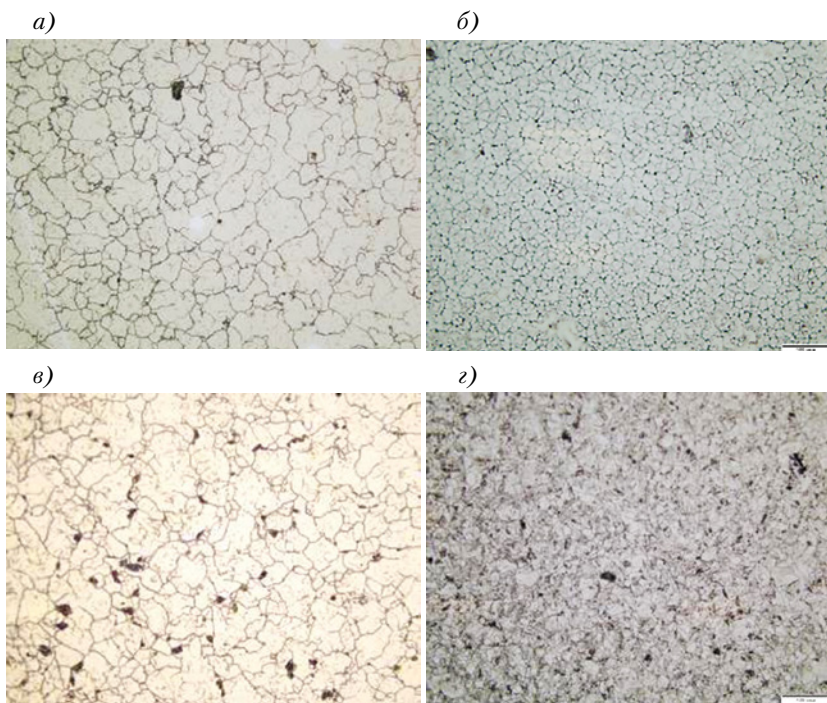


Рис. 4. Сравнение зернистых микроструктур сплава KX28M6 после отжига с различными скоростями охлаждения и последующим старением: а – отжиг 1200 °С – 6 ч, остывание в печи; б – отжиг 1200 °С – 6 ч, закалка в воде; в – последующее старение 800 °С – 10 ч, отпуск 500 °С – 2 ч, остывание в печи; г – последующее старение 800 °С – 10 ч, отпуск 500 °С – 2 ч, остывание в печи
Увеличение $\times 200$

имодействуют с частичными дислокациями в кристаллической решетке и препятствуют их перемещению во время фазового превращения. Таким образом, кластеры Сг–N увеличивают энергетический барьер от γ до ϵ во время затвердевания [11].

Необходимо добавить, что и углерод также является еще одним важным микроэлементом сплава данной системы. Он, как и азот, также может стабилизировать γ -фазу. За счет карбидообразования достигается высокая жаропрочность сплава. Но избыточное количество карбидных соединений в материале неблагоприятно сказывается на пластичности.

Таким образом, для получения высоких показателей пластичности и, как следствие, длительной прочности, которые не понижаются при проведении изотермического старения, необходимо учитывать в сплаве KX28M6 предельные концентрации таких элементов, как углерод ($0,06 < C \leq 0,12$ мас.%) и азот ($0,1 \leq N \leq 0,24$ мас.%).

ВЫВОДЫ

Исследования влияния различных режимов ТО сплава KX28M6 показали, что при снижении температуры обработки в интервале 750–900 °С и увеличении времени выдержки происходит рост карбидных включений и ГПУ-фазы, что приводит к повышению кратковременной прочности и снижению пластичности. Было установлено, что проведение высокотемпературного отжига при температуре 1150–1200 °С с выдержкой не менее 6 часов обеспечивает снятие остаточных напряжений и достижение механических свойств сплава на уровне традиционного материала ЭП648 при комнатной и повышенных температурах.

Доказано, что применение более высокой скорости охлаждения заготовок после высокотемпературного отжига позволяет получать более высокую пластичность материала за счет снижения количества ГПУ-фазы и что возможно применение повышенных скоростей охлаждения после отжига для предложенных режимов ТО с целью обеспечения высокого уровня пластичности материала.

Доказано также влияние на микроструктуру и механические свойства количественного содержания в металлопорошковой композиции (МПК) ПС-КХМ ((порошок сферический-кобальт-хром-молибден) и в синтезированном сплаве KX28M6 таких примесей, как азот и углерод.

В зависимости от требований, предъявляемых к синтезируемой детали, оптимально использовать следующие режимы термической обработки:

Таблица 4

Механические свойства сплава KX28M6 после режимов термической обработки с различными скоростями охлаждения

№ режима	Предел прочности на разрыв σ_r , МПа	Предел текучести $\sigma_{0,2}$, МПа	Относительное удлинение при разрыве δ , %
1	1150	650	32
2	1200	640	38
3	930	570	40
4	1370	895	10,9
5	1150	720	24
6	1280	970	4,3
7	1070	743	7,15

Примечания: режимы 1–3 – отжиг (1200 °С, 6 ч) с охлаждением в печи/на воздухе/в воде; 4–5 – отжиг (1200 °С, 6 ч) с охлаждением в печи/на воздухе и последующем старении при 800 °С в течение 2 ч; 6–7 – отжиг (1200 °С, 6 ч) с охлаждением в печи/в воде и последующем старении при 800 °С в течение 10 ч

Таблица 5

Механические свойства синтезированных образцов после отжига/отжига и изотермического старения

Номер образца	Режимы ТО	Предел прочности на разрыв σ_r , МПа	Предел текучести $\sigma_{0,2}$, МПа	Отн. удлинение при разрыве δ , %
1	Отжиг 1150–1200 °С, 6 ч, остывание на воздухе	1250	650	43
	Отжиг 1150–1200 °С, 6 часов, остывание на воздухе Старение 800 °С, 2–4 ч	1220	690	42
2	Отжиг 1150–1200 °С, 6 ч, остывание на воздухе	1250	640	38
	Отжиг 1150–1200 °С, 6 ч, остывание на воздухе Старение 800 °С, 2–4 ч	1150	720	24

Спектральный анализ двух синтезированных образцов из сплава системы Co-Cr-Mo (KX28M6) с различными концентрациями углерода C и азота N

Номер образца	Массовая доля элементов, %						
	C	N	Co	Cr	Mo	Fe	Ni
1	0,018	0,14	62,57	29,19	6,14	0,23	0,12
	Si	Mn	S	P	W	Ti	Al
	0,68	0,61	0,002	0,008	0,004	0,001	0,001
2	0,135	0,04	63,25	28,91	5,74	0,16	0,081
	Si	Mn	S	P	W	Ti	Al
	0,75	0,56	0,006	0,007	0,001	0,001	0,001

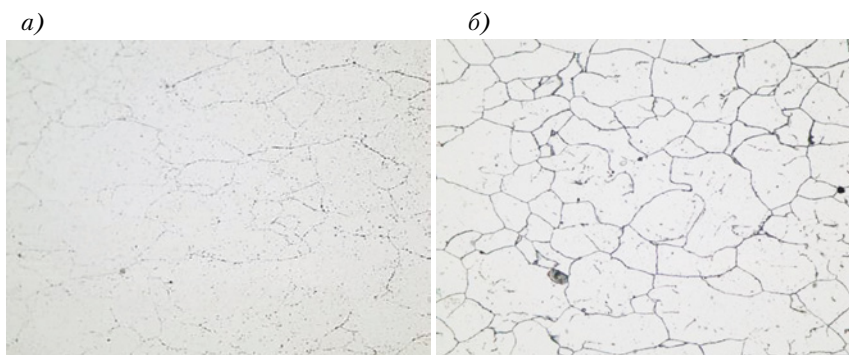


Рис. 5. Микроструктуры образцов сплава KX28M6 после высокотемпературного отжига и изотермического старения: а – образец № 1, б – образец № 2 Увеличение $\times 500$

1. Для достижения максимальной пластичности материала KX28M6 следует использовать нагрев в вакууме (10–3–10–4 МПа) или в среде аргона в течение 4 часа до температуры 1150–1200 °С; выдержку в течение 6 часов в вакууме (10–3–10–4 МПа) или в среде аргона; охлаждение с печью/на воздухе.

Данный режим ТО является эффективным методом устранения остаточных напряжений, приводящим к гомогенизированной микроструктуре, а также оптимальному соотношению прочности и пластичности для данного порошкового сплава. Карбидные включения и ϵ -фаза отсутствуют.

2. Для достижения максимальной прочности деталей можно рекомендовать:

- нагрев в вакууме (10–3–10–4 МПа) или в среде аргона в течение 4 часов до температуры 115–1200 °С; выдержку в течение 6 часов в вакууме (10–3–10–4 МПа) или в среде аргона; охлаждение со скоростью в печи/на воздухе до комнатной температуры;
- нагрев в вакууме (10–3–10–4 МПа) или в среде аргона до температуры 800 °С; выдержку в течение 2 часов в вакууме (10–3–10–4 МПа) или

в среде аргона; охлаждение со скоростью на воздухе до комнатной температуры.

Этот режим термической обработки можно рекомендовать для деталей из сплава KX28M6, к которым предъявляются требования по высокой износостойкости и твердости, но не требующие высокой пластичности, при этом надо учесть, этот режим эффективен только в случае концентрации углерода выше 0,13% и концентрации азота ниже 0,05% по массе в сплаве. Это связано с изменением механизма образования карбидов и нитридов, влияющих на переход γ -фазы в ϵ -фазу.

ЛИТЕРАТУРА

1. Polyakov S.A. UEC-Saturn – 10th International Conference «Beam Technologies and Laser Applications» (BTLA 2021) 20–22 September 2021, St. Petersburg, Russia//J.of Physics 2021. – Vol. 2077. – P. 1–8.
2. Effect of heat-treatment temperature on microstructures and mechanical properties of Co–Cr–Mo alloys fabricated by selective laser melting/Yuka Kajimaa, Atsushi Takaichi, Nuttaphon Kittikundecha, Takayuki Nakamoto, Takahiro Kimura, Naoyuki Nomura, Akira Kawasaki, Takao Hanawa, Hidekazu Takahashi, Noriyuki Wakabayashi. – Materials Science & Engineering A 726. – 2018. – 11 p.

3. Swee Leong Sing, Sheng Huang, Wai Yee Yeong. Effect of solution heat treatment on microstructure and mechanical properties of laser powder bed fusion produced cobalt-28chromium-6molybdenum. – Materials Science & Engineering A 769. – 2020. – Vol. 138511. – 7 p.
4. Effect of heat treatment on fatigue behavior of as-built notched Co-Cr-Mo parts produced by Selective Laser Melting/Seyed Mohammad Javad Razavia, Andrea Avanzini, Giovanna Cornacchia, Luca Giorleo, Filippo Berto//International J. of Fatigue 142. – 2021. – Vol. 105926. – 15 p.
5. Reduction in anisotropic response of corrosion properties of selective laser melted Co–Cr–Mo alloys by post-heat treatment/Yuka Kajima, Atsushi Takaichi, Nuttaphon Kittikundecha, Hein Linn Htat, Hla Htoot Wai Chob, Yusuke Tsutsumi, Takao Hanawa, Noriyuki Wakabayashi, Takayuki Yoneyama//Dental materials. – 2021. – Vol. 37. – P. 98–108.
6. Konieczny Bartomiej, Szczesio-Wlodarczyk Agata, Sokolowski Jerzy and Bociong Kinga. Challenges of Co–Cr Alloy Additive Manufacturing Methods in Dentistry. – The Current State of Knowledge//Systematic Review. – 2020. – № 13 (3524). – 15 p.
7. Wallinder In vitro biocompatibility of CoCrMo dental alloys fabricated by selective laser melting/Hedberg Yolanda S., Bin Qian, Zhijian Shen, Sannakaisa Virtanen, Inger Odnevall//Dental materials. – 2014. – № 30. – P. 525–534.
8. Cobalt-based orthopedic alloys: Relationship between forming route, microstructure and tribological performance/Patel Bhairav, Favaro Gregory, Fawad Inam, Reece Michael J., Arash Angadji, Bonfield William, Jie Huang, Mohan Edirisinghe//Materials Science and Engineering C 32. – 2012. – P. 1222–1229.
9. Parshorov Stoyan, Lazarova Rumjana. Phase Composition of Cast Nickel-Free Superalloy//J. of Materials Science and Technology. – 2014. – Vol. 22. – №. 3. – P. 183–190.
10. Hla Htoot Wai Cho, Atsushi Takaichi and Noriyuki Wakabayashi. Effect of Post-Heat Treatment Cooling Conditions on Microstructures and Fatigue Properties of Cobalt Chromium Molybdenum Alloy Fabricated through Selective Laser Melting//Metals. – 2021. – № 11 (1005). – 14 p.
11. On microstructural homogenization and mechanical properties optimization of biomedical Co-Cr-Mo alloy additively manufactured by using electron beam melting/Daixiu Weia, Ainiwaer Anniyaera, Yuichiro Koizumia, Kenta Aoyagia, Makoto Nagasakoa, Hidemi Katoa, Akihiko Chibaa//Additive Manufacturing. – 2019. – № 28. – P. 15–227.
12. Mandeep Chauhan Microstructural characterization of cobalt chromium (ASTM F75) cubes produced by EBM technique. Influence of carbon and nitrogen content as well as hot isostatic pressing//Diploma work No. 198/2017. Master's thesis in Materials Engineering Chalmers University of Technology Gothenburg, Sweden, 2017, 72 p. ■

Нестабильная обстановка в Красном море отрицательным образом сказывается на грузопотоке одного из основных мировых торговых маршрутов, проходящих через Суэцкий канал. Судовладельцам приходится изменять привычные маршруты судов, неся значительные убытки, связанные с грузоперевозками. В связи с этим все большую значимость приобретает Северный морской путь (СМП), который связывает кратчайшим путем европейскую часть России и Дальний Восток. Однако данный путь характеризуется сложной ледовой обстановкой, что, в свою очередь, влечет повышенные требования к судам, их ледовому классу, параметру, показывающему способность находиться в море в зависимости от тяжести ледовых условий.

На ледовый класс влияет также тип применяемой на судне гребной установки. Чтобы преодолевать трудности, вызванные ледяными преградами на морских маршрутах, необходимо оборудовать суда гребными установками, способными работать с высоким крутящим моментом. Эти системы разительно отличаются от традиционных двигателей внутреннего сгорания (ДВС), так как электрические двигатели, применяемые для вращения гребных винтов, обладают способностью сохранять оптимальную производительность даже в условиях замедленного вращения или внезапной остановки гребного винта. Таким образом, в настоящее время большинство судов, предназначенных для работы в сложной ледовой обстановке, оснащены гребными электрическими установками (ГЭУ).

Наибольший интерес вызывают ГЭУ с винторулевыми колонками (ВРК) типа Azipod, объединяющие в одной установке функции движения и изменения направления движения судна. В данном типе ВРК выполняется передача электрической энергии от источников (дизель-генераторы (ДГ), системы накопления электрической энергии (СНЭЭ) к потребителю (гребной электрический двигатель (ГЭД) без применения зубчатых передач и осей. Также применение полупроводникового преобразователя частоты (ППЧ) способствует возможности регулирования частоты вращения гребного винта в широком диапазоне без применения винта регулируемого шага (ВРШ). Электрический двигатель, в сравнении с классическими ДВС, обладает повышенными перегрузочными характеристиками, что крайне важно при заклинивании гребного винта во льдах. Представленные свойства ВРК типа Azipod демонстрируют возможность создания прочного гребного устройства, сочетающего в себе простоту в монтаже и высокую надежность, что важно учитывать при проектировании судов, работающих в ледовых условиях.

Перед судоходной отраслью стоит важный вопрос – поддержание безопасного плавания судов на протяжении многих лет, что связано с надежной работой ГЭУ.

В данной статье рассмотрим возможные неисправности ГЭУ с ВРК типа Azipod и способы поддержания их рабочего состояния.

ВРК типа Azipod показана на рис. 1.

НЕИСПРАВНОСТИ УЗЛА КОНТАКТНЫХ КОЛЕЦ

В соответствии с правилами обслуживания ВРК типа Azipod узел контактных колец (рис. 2) должен осматриваться каждые три месяца. При осмотре уделяется внимание:

- чистоте поверхностей контактных колец, щеточных приводов, изоляторов;
- проверке затяжки соединений;
- состоянию изоляции;
- износу щеток;

АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКИХ НЕИСПРАВНОСТЕЙ ГРЕБНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ ТИПА AZIPOD

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

А.А. Бежик, инженер кафедры ЭДАС,

А.Л. Богословский, ст. преподаватель кафедры ЭДАС,

ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова,

контакт. тел. +7 (911) 771 1041, romanovskiyvv@gumrf.ru, kaf_edas@gumrf.ru

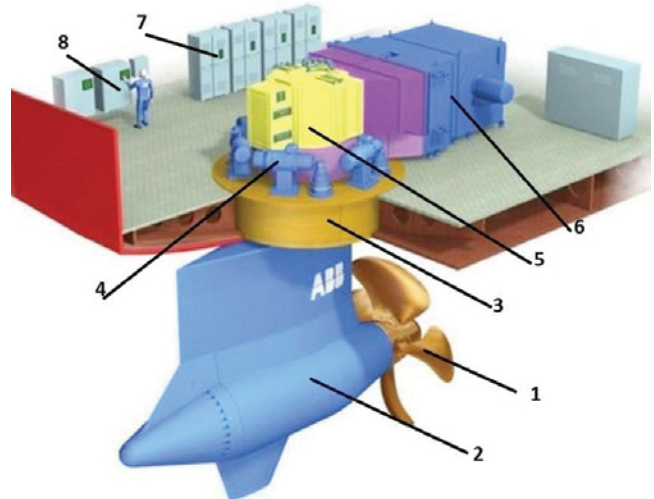


Рис. 1. ВРК типа Azipod

1 – винт фиксированного шага; 2 – модуль двигателя, в котором расположен гребной электродвигатель; 3 – рулевой модуль; 4 – рулевой двигатель; 5 – узел контактных колец; 6 – блок охлаждения; 7 – полупроводниковый преобразователь частоты; 8 – модуль управления

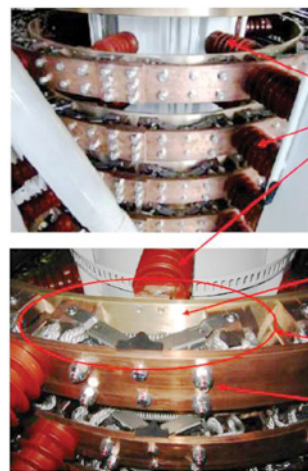


Рис. 2. Узел контактных колец

- тестированию сенсоров, работающих на распознавание электрической дуги;
- проверке изоляторов на повреждения;
- движению щеточных приводов.

Решение об изменении интервала обслуживания узла контактных колец принимается на основе показаний измерений сопротивления на контактных кольцах. Толчком к изменению значений измеряемых величин может стать состояние коллектора, а знание предыстории может помочь принять решение о необходимости технического обслуживания. Для измерения сопротивления между контактным кольцом (рис. 2) и наружной кольцевой шиной применяется низкоомный омметр (рис. 3) с минимальным разрешением прибора 10 мкОм, а если возможно – то и 1 мкОм.



Рис. 3. Измерение сопротивления между контактными кольцами и наружной шиной

Наиболее простым способом очистки поверхности контакта щеток с контактными кольцами является размещение чистой ветоши между щетками и контактными кольцами (рис. 4) путем оттяжки щеточного привода. Ветошь должна быть предварительно смочена спиртовым раствором. Разместив части ветоши под каждую щетку, выполняется вращение ВРК минимум по два оборота в каждую сторону.

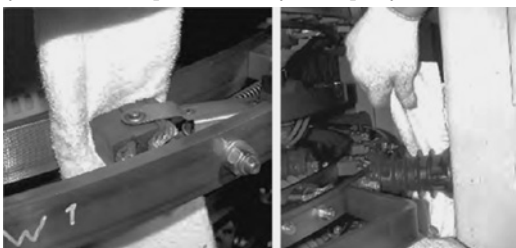
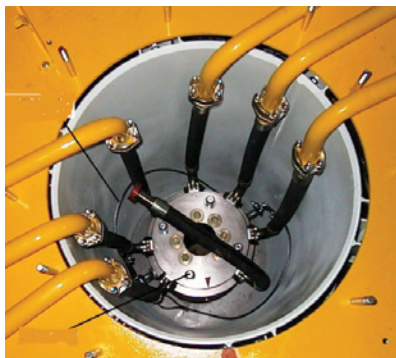


Рис. 4. Чистка щеток и изоляторов

Частой причиной загрязнения поверхностей и механизмов, расположенных в узле контактных колец, является выработка щеток, которые состоят из углеродных соединений. Загрязнение может стать одной из причин замыкания силовой линии на корпус, что приводит к аварийной ситуации. Также на изоляцию силового узла влияет состояние изоляторов, которые необходимо проверять не только на чистоту, но и на наличие трещин и мест перегрева.

Часто при осмотре узла контактных колец наблюдается на ее поверхности углеродосодержащая пыль, перемешанная с маслом. Причинами могут быть масляные течи, возникающие



б)

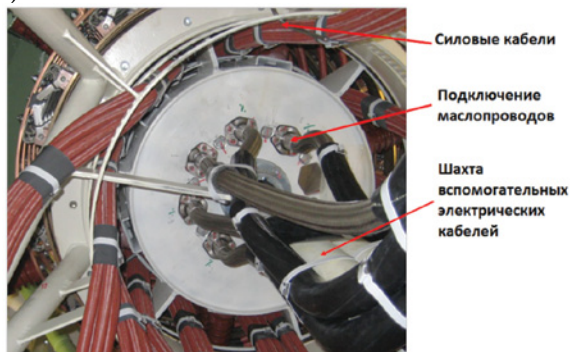


Рис. 5. Узел соединения маслопроводов с ВРК: а – внешняя часть, б – внутренняя часть

по причине нарушения целостности герметизации вращающихся соединений масляной системы (рис. 5, а), расположенных в верхней части узла, маслопровода подшипников ГЭД, уплотнительных камер вала (рис. 5, б). Частицы протекающего масла сильным потоком воздуха распространяются внутри ВРК, оседая на поверхностях.

НЕИСПРАВНОСТИ МАСЛЯНОЙ СИСТЕМЫ, УПЛОТНЕНИЙ ВАЛА ВРК

Проводя ежемесячную инспекцию ВРК, которую необходимо выполнять также внутри гондолы, могут быть обнаружены лужи масла, скапливающегося под валом ГЭД рядом с подшипником, расположенным со стороны гребного винта. В большинстве случаев причиной является протекающее внешнее уплотнение вала (рис. 6).

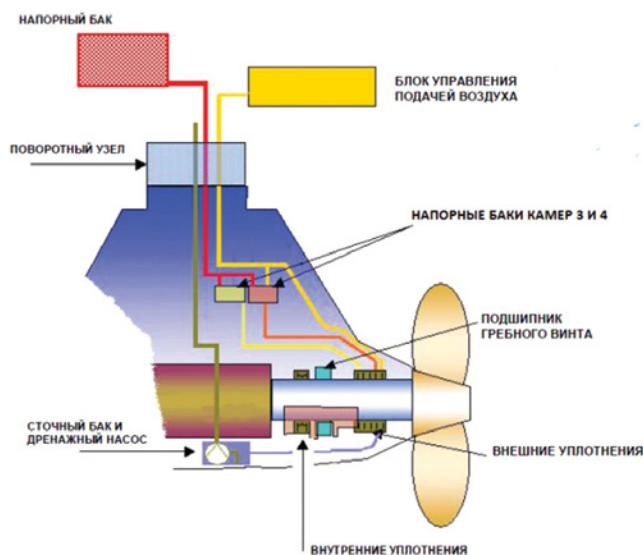


Рис. 6. Принципиальная конструкция системы уплотнений вала

Внешнее уплотнение вала состоит из пяти уплотнительных колец из вайтона. Уплотнительные кольца находятся в контакте с втулкой из хромистой стали, установленной на гребном валу (рис. 7).

Уплотнительное кольцо 1 служит препятствием для загрязнения. Перепад давления на нем отсутствует. Уплотнительное кольцо 2 предотвращает проникновение воды в гондолу. Эти уплотнительные кольца образуют камеру I, которая заполняется воздухом.

Камера II между уплотнительными кольцами 2 и 3 заполняется воздухом. Она подсоединяется к блоку управления по-

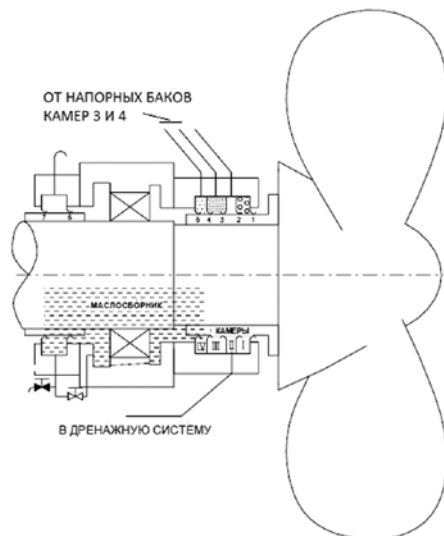


Рис. 7. Принципиальная конструкция уплотнения вала

дачей воздуха и дренажной линии. Блок управления подачей воздуха поддерживает давление в этой камере немного выше, чем гидростатическое давление забортной воды. Через камеру I воздух утекает в забортную воду. В случае негерметичности уплотнительных колец 2 или 3 утечки собираются в камере II. Содержимое этой камеры периодически сливается в дренажную систему, для чего открывается электромагнитный клапан дренажной линии.

Камера III заполнена маслом. Давление в ней выше, чем в камере II. Камера IV заполнена маслом и поддерживает баланс давлений между камерой III и корпусом подшипника, где давление – атмосферное.

Между внутренним уплотнением вала и корпусом подшипника установлено дистанционное кольцо. Если на втулке появляются признаки износа, уплотнительные кольца можно переместить в новое положение, сняв дистанционное кольцо.

В системе уплотнений имеются три разных бака. Два из них установлены внутри гондолы, а третий расположен в отделении ВРК. Баки для камер III и IV располагаются на 2–4 м выше валопровода, в результате чего создается более высокое давление в соответствующих камерах. Благодаря такому положению баков перепад давления в них составляет 0,15–0,35 бара. Однако оба бака для камер III и IV также подсоединяются к блоку управления подачей воздуха. Благодаря этой компоновке давление в камере III всегда выше, чем в камере II.

Третий бак, расположенный в отделении ВРК, называется *напорным*. При необходимости он используется для наполнения обоих баков, а также в качестве аварийного на случай выхода из строя системы сжатого воздуха. Напорный бак располагается выше ватерлинии.

В процессе эксплуатации ВРК типа Azipod могут возникнуть ситуации, когда расход масла в уплотнительной камере начинает бесконтрольно увеличиваться, вместе с тем уменьшается интервал срабатывания дренажного насоса. Причиной может быть нарушенная конструкция уплотнительного кольца 3. К частому срабатыванию дренажного насоса при неизменном количестве расхода масла уплотнительных камер приводит нарушение работы воздушной системы, вызванное изменением работы воздушного регулирующего клапана, давления воздуха в судовой системе.

НЕИСПРАВНОСТИ ТОРМОЗНОГО МЕХАНИЗМА ВАЛА ГЭД

При осуществлении инспекции ВРК типа Azipod возникает необходимость технического обслуживания (ТО) внутри гондолы. Выполнение данных работ допускается при полностью остановленном вале ГЭД, для этого к точке подключения маслопровода тормозной системы подключается гидравлический шланг, через который подается масло, создающее необходимое давление для активации тормозного механизма (рис. 8). Под давлением колодки зажимают шестерню, расположенную на валу ГЭД и участвующую в работе валоповоротного механизма и механической тормозной системы.

Необходимо учитывать, что данный способ фиксации вала применим только при полностью обездвиженном судне. Бывают случаи, когда во время короткой стоянки в порту экипажу с целью экономии времени поступает команда провести ТО ВРК внутри гондолы, однако при этом существует вероятность того, что установка получит повреждения, вызванные проворотом ротора ГЭД при активированных колодках тормозного механизма. Произойти это может:

- из-за человеческого фактора, а именно ошибки оператора на мосту управления, когда выполняется изменение направления работающих ВРК, и создаваемый ими поток воды начинает раскручивать ВРК с активированным тормозным механизмом;
- из-за природного фактора, связанного с возникновением движения водных масс, вызванных наличием течений, приливов и отливов;



Рис. 8. Тормозной механизм

- из-за механического фактора, когда колодки по какой-то причине, связанной с внештатной работой системы, во время вращения вала ГЭД не находились в разжатом положении.

При нештатных ситуациях может возникнуть разрушение колодок (рис. 9), повреждение шестерни, загрязнение внутренней поверхности гондолы, а также обмоток ГЭД и бесщеточного возбуждателя, что может привести к более значительным повреждениям.



Рис. 9. Последствия повреждения тормозного механизма

ИНСПЕКЦИЯ ОБМОТОК ГЭД

После возникновения аварийной ситуации требуются тщательная инспекция на наличие механических повреждений, измерение сопротивления изоляции обмоток ГЭД и бесщеточного возбуждателя, очистка от всех следов загрязнения с применением ветоши, пропитанной спиртовым раствором или другим средством. По завершении очистки вновь измеряют сопротивление изоляции и проводят последующий анализ выполненной работы.

При измерении бесщеточного возбуждателя необходимо закоротить выпрямитель, измерить сопротивление изоляции между выводами выпрямителя и ротором ГЭД (рис. 10), применяя мегаомметр при 500 В постоянного тока. По завершении измерений необходимо мегаомметр перевести в режим разряда цепи.

Измерение сопротивления изоляции обмоток статора ГЭД выполняется при выведенном из эксплуатации полупроводниковым преобразователе частоты (ППЧ), разомкнутых ножевых контактах со стороны обмотки статора и снятом заземлении. Для измерения в течение одной минуты применяется высо-

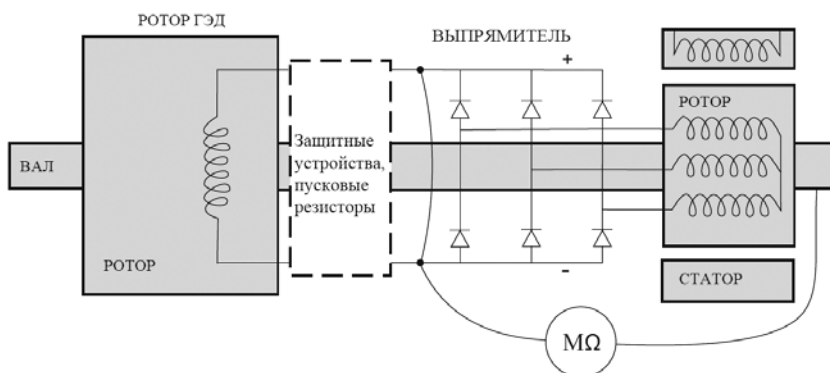


Рис. 10. Соединение для измерения сопротивления изоляции бесщеточного возбуждателя

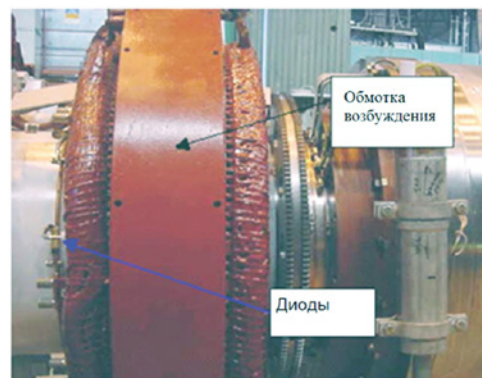


Рис. 12. Устройство возбуждения ГЭД

ковольтный мегаомметр, включенный в режим измерения при 1000 В постоянного тока, по завершении прибор переводится в режим разряда цепи (рис. 11).

При ТО бесщеточного выпрямителя (рис. 12) в соответствии с таблицей ТО необходимо измерять рабочие параметры диодов. Известен случай, когда при эксплуатации ВРК изменилось направление вращения гребного винта. Система защиты, получив сигнал о рассогласовании величины оборотов с заданным, формирует сигнал аварийной остановки ГЭУ. Последующий анализ неисправности выявил, что несколько диодов бесщеточного выпрямителя были выведены из строя.



Рис. 11. Измерение сопротивления изоляции обмотки статора ГЭД высоковольтным мегаомметром

Пробитию диодов (рис. 13) сопутствует постепенное изменение рабочих параметров, периодическое измерение которых направлено на своевременное обнаружение неисправности и недопущения аварийного случая.



Рис. 13. Диод бесщеточного выпрямителя

При проверке измерение падения напряжения на диоде выполняется в обоих направлениях (рис. 14). При измерении от анода к катоду падение напряжения должно быть в пределах 0,2–0,6 В, от катода к аноду величина стремится к бесконечности.

ПАРАЗИТНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ И ТОКИ НА ВАЛУ

Немаловажным является бороскопическая инспекция подшипников ГЭД, необходимая для анализа технического со-

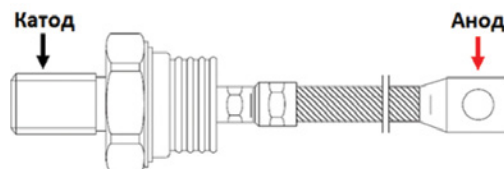


Рис. 14. Измерение падения напряжения на диоде

стояния. Подшипники могут подвергаться разрушительному влиянию как от механического воздействия, так и от электроэрозионного износа. С целью снятия паразитных напряжений и токов на валу применяются углеродосодержащие щетки, расположенные в непосредственной близости от подшипников, для анализа состояния которых проводят бороскопическую инспекцию. Измерение паразитного напряжения на валу ГЭД измеряется постоянно системой диагностики и выводится на удаленные станции мониторинга, при этом аварийный сигнал формируется при значении напряжения, равном 500 мВ.

Во избежание электроэрозионного влияния на подшипники плановое ТО защитной токосъемной системы выполняется каждый месяц и состоит из следующих действий (рис. 15):

- отключение кабелей, соединяющие токосъемные щетки с корпусом гондолы;
- измерение сопротивления между двумя щетками через вал ГЭД, применяя миллиомметр;
- при превышении измеряемого электрического сопротивления 100 мОм выполняется чистка контактных поверхностей, притирка щеток;
- если в результате очистки контактных поверхностей измерения по-прежнему показывают превышение 100 мОм, щетки заменяют.

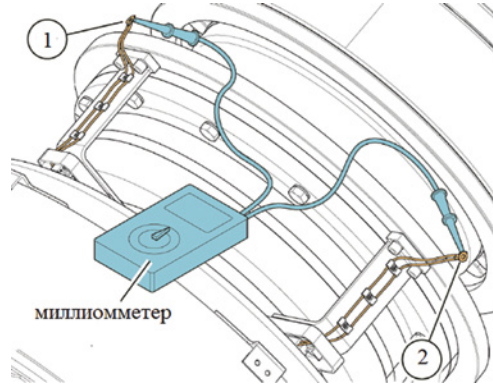


Рис. 15. Измерение проводимости токосъемных щеток

НЕИСПРАВНОСТИ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СИЛОВОЙ ЦЕПИ ППЧ

Нередкие случаи возникновения неисправностей, относящихся к ППЧ, наиболее серьезные из них связаны с полупроводниковыми элементами (ПЭ) силовой цепи (рис. 16). Данные неисправности отличает сложность обнаружения и возможные серьезные последствия.

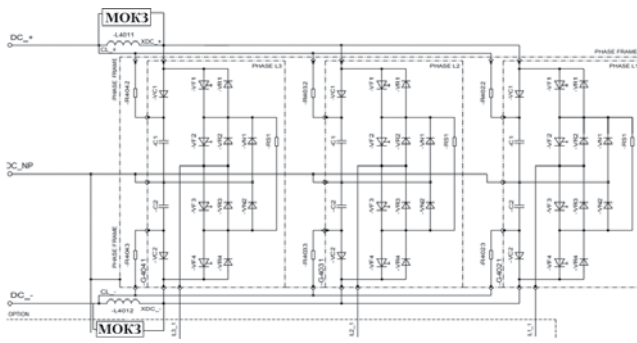


Рис. 16. Электрическая схема инвертора

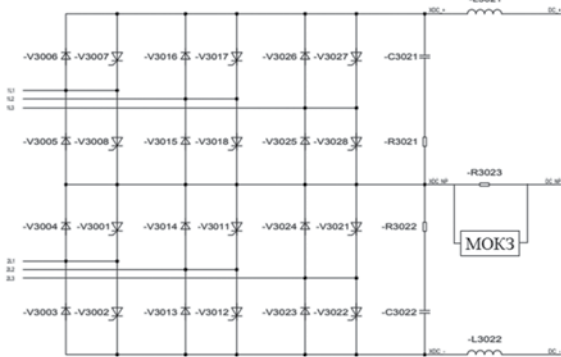


Рис. 17. Электрическая схема 12-пульсного выпрямителя

Короткое замыкание (КЗ) может возникнуть по причине нахождения силового ПЭ в открытом состоянии, хотя должен быть заперт. Связано может быть это как с повреждением самого ПЭ, так и системы управления. Система защиты построена таким образом, что при обнаружении короткого замыкания она формирует сигналы аварийной остановки работы ППЧ, отключения главной цепи электропитания, команду на открытие всех ПЭ с целью рассеяния тока короткого замыкания (КЗ) по всей цепи и таким образом уменьшения степени разрушения.

Для обнаружения КЗ в выпрямителе применяется модуль обнаружения короткого замыкания (МОКЗ), который измеряет напряжение, протекающее через резистор в нейтрали выпрямителя (рис. 17).

В каждом фазном модуле (рис. 18) на выходах звена постоянного тока, перед инвертором установлены ограничители изменения тока цепи, представляющие собой дроссели, параллельно которым установлена система обнаружения КЗ. В состав данной системы входят МОКЗ, принцип работы которых построен на обнаружении магнитного поля дросселей, возникающего при протекании электрической энергии во время отпирания ПЭ. Если продолжительность существования магнитного поля превышает 6 – 10 мкс, формируется сигнал активации системы защиты от КЗ.

Каждая плата управления тиристором (рис. 19) оснащена визуальной индикацией наличия неисправности, у диодов индикация отсутствует. Измерять можно без вынимания ПЭ.

Проверка тиристора проходит в два этапа.

На *первом этапе* надо:

- отключить вспомогательное электропитание ППЧ, оптическим кабелем соединить сервисный выход платы управления инвертором (ПУИ) и вход приема отпиряющего оптического сигнала карты управления тиристором (КУТ);
- включить вспомогательное электропитание ППЧ, оставив обесточенным ПУИ;
- переведя мультиметр в режим измерения напряжения постоянного тока, измерить напряжение между теплообменником (катодом) и крепежной пластиной (базой). Измеряемое напряжение должно быть –20 В постоянного тока. На *втором этапе* необходимо:
- восстановить электропитание ПУИ;

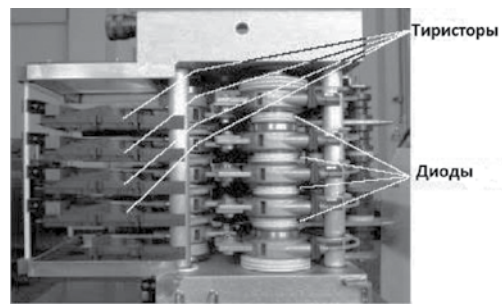


Рис. 18. Фазный модуль

- переведя мультиметр в режим измерения напряжения постоянного тока, измерить напряжение между теплообменником (катодом) и крепежной пластиной (базой). Измеряемое напряжение должно быть +0,7 В постоянного тока.

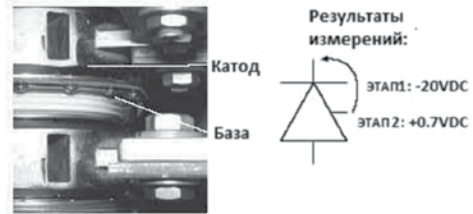


Рис. 19. Проверка тиристора

Измерение падения напряжения на диодах проводится при вынудом фазном модуле (рис. 20). Для выполнения проверки необходимо:

- полностью выключить электропитание ППЧ и заземлить;
- выкрутив фиксирующие болты, вытянуть фазный модуль из соединений с силовыми шинами;
- при помощи мультиметра измерить величину падения напряжения на диодах.

а)



б)



Рис. 20. Измерение падения напряжения на диоде фазного модуля: а – в проводящую сторону, б – в непроводящую сторону

НЕИСПРАВНОСТИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ВЫСОКОВОЛЬТНЫМИ АВТОМАТАМИ

Замыкание высоковольтных контакторов первичной обмотки трансформаторов ГЭУ при применении двухобмоточных ГЭД происходит с применением задержки времени между

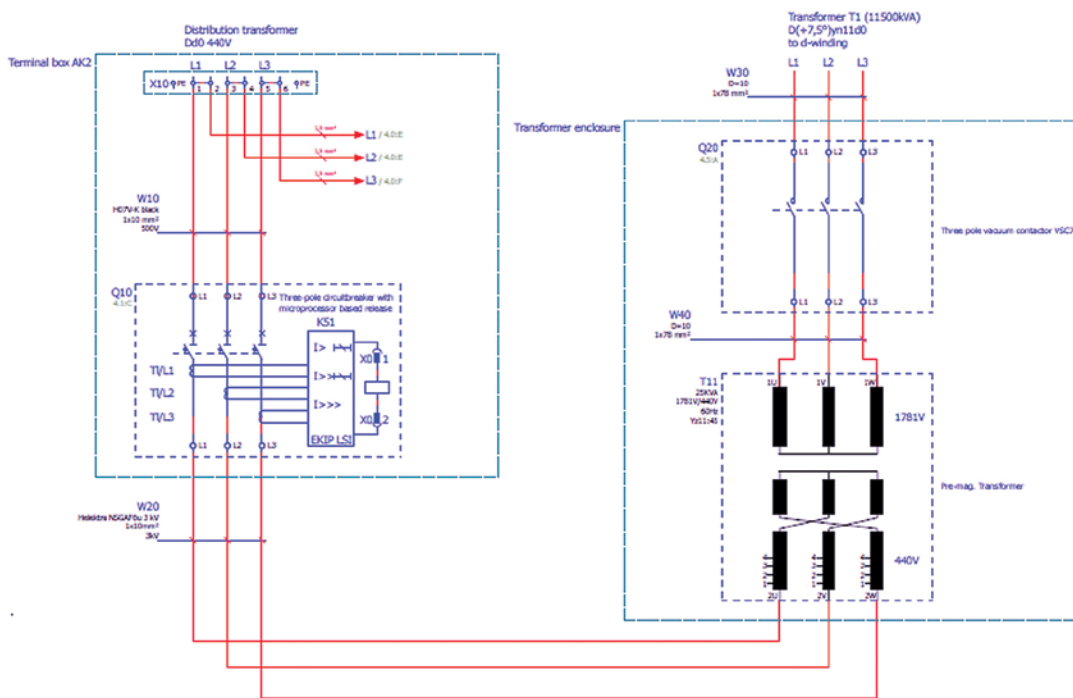


Рис. 21. Электрическая схема системы предварительного заряда трансформатора

срабатываниями. Если по каким-то причинам нельзя использовать одну из обмоток ГЭД, возможно применение функции работы ГЭУ при одной рабочей обмотке статора. В данном случае система защиты ограничивает мощность электрической энергии, подаваемой на оставшуюся обмотку ГЭД, до 50%. Однако зафиксирован прецедент, когда из-за некорректно написанного алгоритма защиты ГЭУ такой сигнал не был сформирован, и одна применяемая обмотка статора была нагружена до 100%, что привело к разрушению изоляционных покрытий и внутреннему замыканию. Во избежание повторения подобного рекомендуется перед каждым замыканием силовой цепи ГЭУ проверять корректность определения системой статуса готовности высоковольтных автоматов к замыканию.

На судах некоторых типов ГЭУ оснащена системой предварительного заряда трансформатора (СПЗТ), схема которого изображена на рис. 21, для минимизация величины броска нагрузки при замыкании высоковольтных автоматов первичной обмотки трансформаторов. Контактор СПЗТ замыкают на короткое время и размыкают перед пуском высоковольтного автомата первичной обмотки, при этом снимается ограничение на его замыкание. Имеются случаи, когда из-за механической неисправности или нарушения работы платы управления контактором СПЗТ высоковольтный автомат первичной обмотки трансформатора не замыкался.

НЕИСПРАВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ РУЛЕВОЙ СИСТЕМОЙ

Вращают гондолу четыре гидравлических двигателя, на каждую пару которых приходится один гидравлический насос. Система управления постоянно отслеживает изменение позиции гондолы относительно оси, непрерывно сравнивая заданное положение на посту управления с фактическим, за определения которого отвечают модули обратной связи положения гондолы (МОСПГ). Вращение гондолы передается через ременную передачу с шестерни, связанной с осью гондолы, на шестерню МОСПГ (рис. 22), соединенную с потенциометром.

При несоответствии заданного положения с фактическим система управления формирует два сигнала об ошибке гидравлической системы (servo control fault и hydraulic lock) с задержкой по времени в две секунды. При получении данных сигналов система управления останавливает гидравлический насос соответствующей пары гидравлических

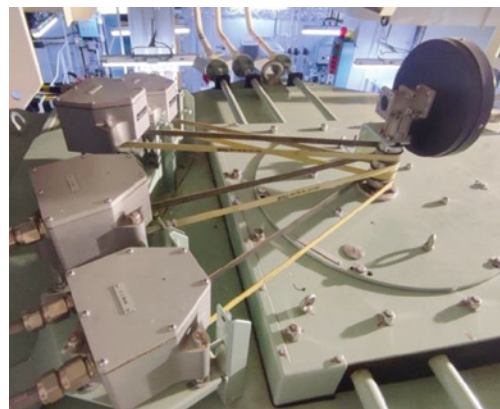


Рис. 22. Модуль обратной связи положения гондолы двигателей, с работой которых связан один из двух МОСПГ, где обнаружилось несоответствие. Остановка происходит с целью недопущения превышения безопасного давления гидравлического масла, равного 125% от максимального рабочего давления.

Обнаружение несоответствия фактического положения гондолы с заданным может быть выявлено в следующих случаях:

- при работе судна в тяжелой ледовой обстановке, гондола может подвергнуться сильному влиянию со стороны движения льда, способному изменить ее положение относительно оси вращения, влекущее повышение давления масла в гидравлической системе с целью удержания заданной позиции. Если система не способна компенсировать внешнюю силу, формируется сигнал об ошибке;
- при нарушении работы гидравлической системы;
- во время остановки судна во льдах, может потребоваться вращение работающих ВРК с целью вымывания льда. В данном случае ВРК может упереться в толстый слой льда, что может привести к превышению допустимого давления масла в гидравлической системе;
- при нарушении работы МОСПГ, что может быть вызвано растяжением ремня, изменением работы потенциометра, нарушением линии связи.

Для проверки МОСПГ выполняют:

- 1) проверку натяжения ремня (рис. 23);

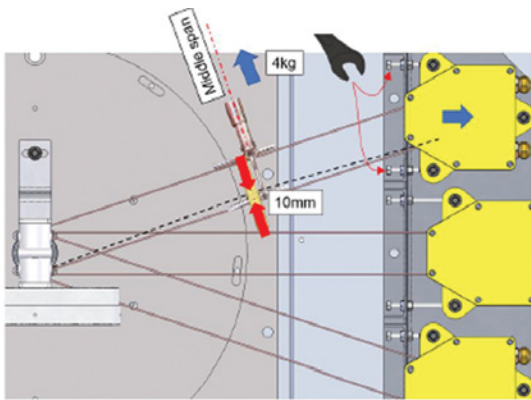


Рис. 23. Регулировка ременной передачи

2) измерение показаний с выходов потенциометров (рис. 24). Определение положения гондолы осуществляется сопоставлением выходных напряжений потенциометров, изменяемых по синусоидальному и косинусоидальному законам в диапазоне от -10В до $+10\text{В}$ постоянного тока. Синус измеряется с терминалов 2 и 5 (верхнего потенциометра), с терминалов 7 и 10 (нижнего потенциометра). Косинус измеряется с терминалов 3 и 5 (верхнего потенциометра), с 8 и 10 (нижнего потенциометра). Электропитание со знаком минус с 4 терминалов и 5 (верхнего потенциометра), 9 и 10 (нижнего потенциометра).

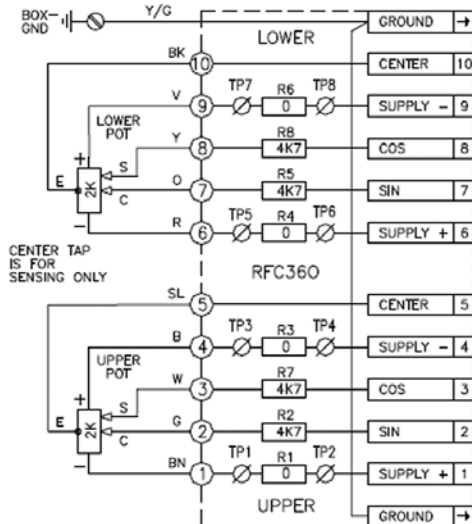


Рис. 24. Электрическая диаграмма модуля обратной связи положения гондолы

Измерив выходные параметры с МОСПГ в четырех положениях гондолы относительно оси, нужно их сравнить с эталонными значениями (см. таблицу). На основании полученных результатов регулируют потенциометры путем откручивания трех прижимных пластин и вращения их в сторону уменьшения расхождения.

Таблица

Эталонные значения выходных параметров МОСПГ

Выходные параметры МОСПГ [В]	Положение гондолы 0°	Положение гондолы 180°	Положение гондолы 90° , правый борт	Положение гондолы 90° , левый борт
sin сигнал (верхний потенциометр)	$\pm 0.10\text{В}$	$\pm 0.40\text{В}$	$-9... -10.2\text{В}$	$+9... +10.2\text{В}$
cos сигнал (верхний потенциометр)	$+9... +10.2\text{В}$	$-9... -10.2\text{В}$	$\pm 0.40\text{В}$	$\pm 0.40\text{В}$
sin сигнал (нижний потенциометр)	$\pm 0.10\text{В}$	$\pm 0.40\text{В}$	$-9... -10.2\text{В}$	$+9... +10.2\text{В}$
cos сигнал (нижний потенциометр)	$+9... +10.2\text{В}$	$-9... -10.2\text{В}$	$\pm 0.40\text{В}$	$\pm 0.40\text{В}$

Также необходимо принимать во внимание, что из-за повреждения потенциометров может происходить кратковременная потеря сигнала. Для обнаружения такого вида неисправности применяется осциллограф, который подключается для измерения выходных напряжений, изменяемых по синусоидальному и косинусоидальному законам.

При исправной системе напряжения изменяются непрерывно без искажений (рис. 25), тогда как при возникновении проблем с передачей сигнала может наблюдаться провал показаний (рис. 26).

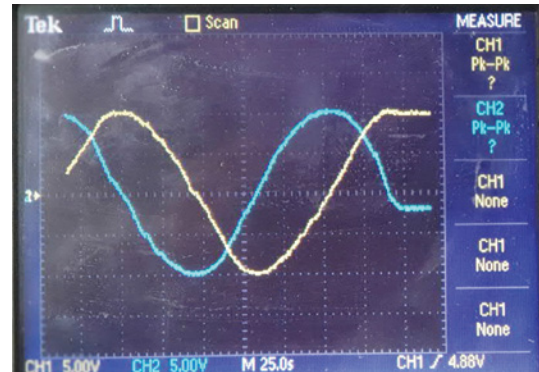


Рис. 25. Измерение выходных параметров исправного МОСПГ

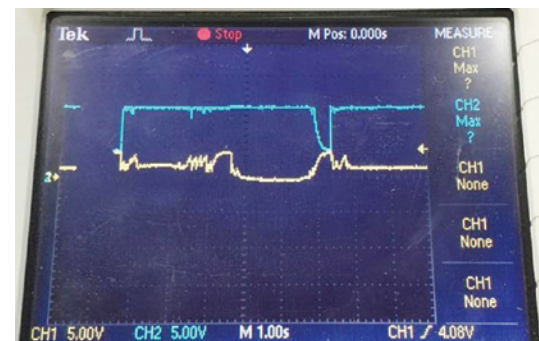


Рис. 26. Измерение выходных параметров неисправного МОСПГ

НЕИСПРАВНОСТИ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ ППЧ

Важной частью обслуживания ГЭУ является ежедневная проверка давления, электрической проводимости и температуры воды системы охлаждения преобразователя частоты так, как почти все силовые элементы охлаждаются водой (рис. 27).

Постепенное уменьшение давления воды в системе при постоянной температуре может говорить о том, что в системе появились протечки или неисправность в компенсационном резервуаре. Если уменьшение происходит не слишком интенсивно, то с целью поддержания рабочего давления в системе до прихода в порт или на якорную стоянку возможно пополнение при работающем под нагрузкой преобразователе частоты. При первой возможности необходимо отестировать систему, открыть все двери и задние панели, осуществить визуальный осмотр на наличие протечек, устранить их.

Увеличение электрической проводимости охлаждающей воды свидетельствует о том, что выработан рабочий ресурс деионизационного фильтра, появились бактерии. Замена фильтра может быть осуществлена при работающем под нагрузкой преобразователе частоты, тогда как для избавления от бактерий необходимо нагреть воду до 70°C за счет теплопотерь насоса и встроенного греющего кабеля, расположенного вдоль трубопровода. Для этого необходимо выключить электропитание силовой цепи, провести в работе системе охлаждения следующие изменения:

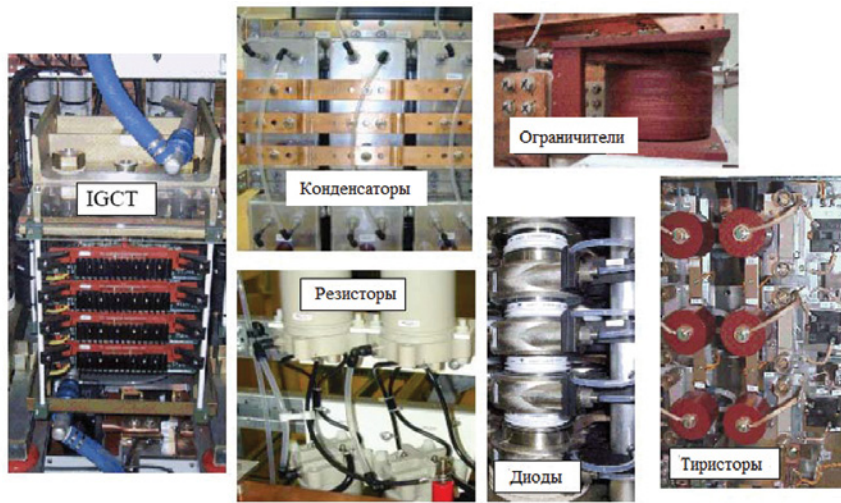


Рис. 27. Силовые элементы с водяным охлаждением

- выключить воздушное охлаждение секций, перекрыть подачу охлаждающей воды на теплообменник, перевести греющие кабели на непрерывную работу, шунтировав сигнал управления;
- если не планируется замена деионизационного фильтра, перекрыть на него клапаны, так как высокая температура может его повредить;
- выставить параметр, отвечающий за остановку циркуляционных насосов охлаждающей воды по высокой температуре, на 71 °С;
- поддерживать температуру воды, равной 70 °С на протяжении 5 часов;
- каждые 30 минут переключать циркуляционные насосы;
- по завершении цикла очистки вернуть системе контроль над работой греющего кабеля, открыть подачу охлаждающей воды в внешний контур теплообменника, включить воздушное охлаждение секций;
- при достижении температуры воды 50 °С открыть клапаны на деионизационный фильтр, вернуть измененные параметры к начальным значениям;

- если возможно, заменить деионизационный фильтр и воду в системе.

Данный способ очистки от бактерий применяется только в крайнем случае, так как он может отрицательным образом сказаться на сроке службы элементов системы охлаждения.

СИСТЕМА ДИСТАНЦИОННОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ

Принимая во внимание вышесказанное, важно помнить, что, несмотря на проведенное вовремя техническое обслуживание ГЭУ, возникновение внештатных ситуаций возможно, что может привести к критическим неисправностям.

С целью анализа работы ГЭУ типа Azipod компанией ABB разработана система дистанционного диагностирования морской техники (СДД для МП) типа RDS4Marine (рис. 28). Данная система выполняет:

- дистанционную коммуникацию, при которой применяется безопасный, SSL-зашифрованный коммуникационный туннель между потребителем и сервисной службой компании ABB;

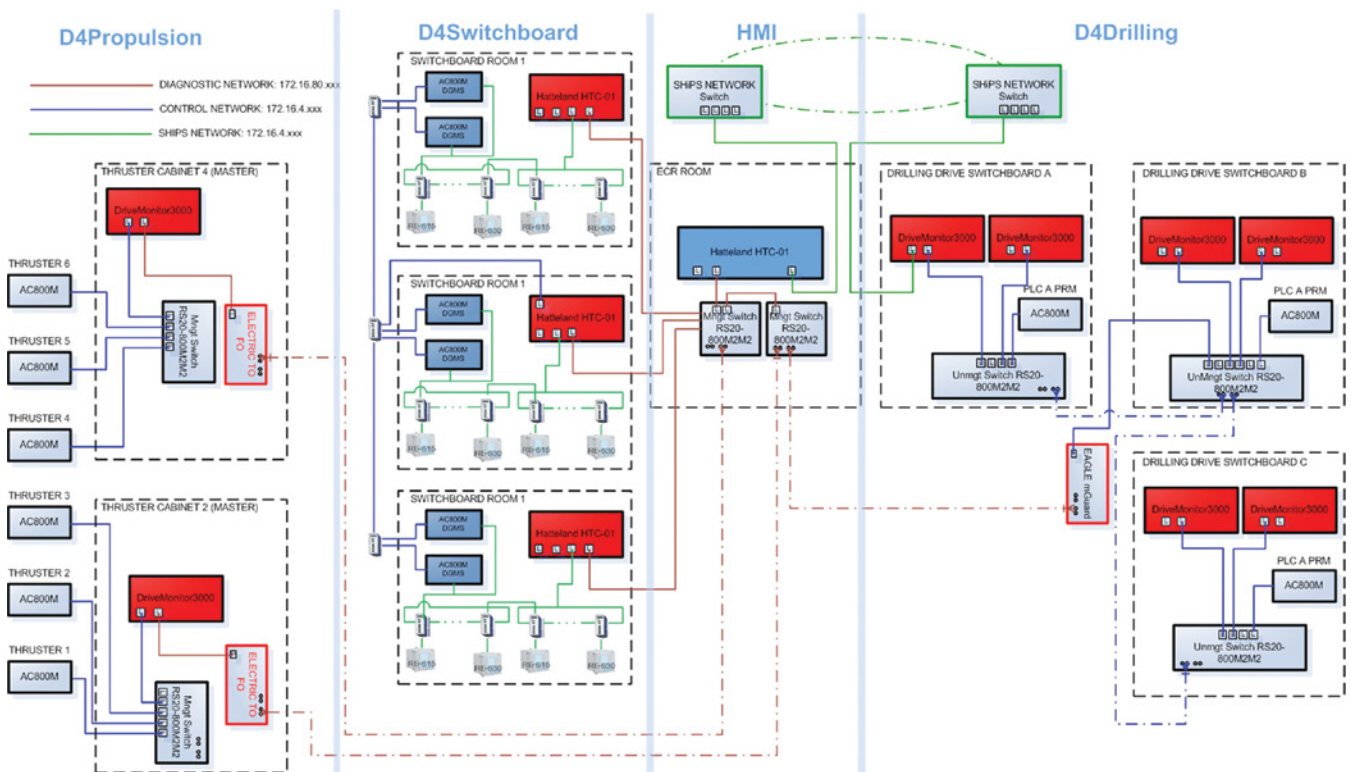


Рис. 28. Структурная схема СДД для МП типа RDS4Marine

- анализ технических решений. В основе системы СДД применяются специализированный контроль и диагностическая платформа для сбора, хранения и анализа данных от отдельных компонентов, подсистем и полных интегрированных технических решений. СДД предоставляет легкий доступ береговым инженерным службам через линию спутниковой связи к судовым данным о состоянии ГЭУ. Вся собранная информация сохраняется на электронных носителях на борту судна и может быть дистанционно передана для анализа технического состояния систем.

- сервисное обслуживание. Используя диагностическую платформу вместе с современной коммуникацией, сервисные инженерные службы могут в любое время помочь экипажу проанализировать неисправности и оперативно найти решение ликвидации аварийной ситуации.

Схема, представленная на рис. 28, иллюстрирует распределенную архитектуру типичной СДД для МП типа RDS4Marine. Полная область диагностической системы включает три различных диагностических подсистемы: D4Propulsion для ГЭУ, D4Switchboard для системы распределения электроэнергии и D4Drilling для потребителей.

ВЫВОДЫ

В настоящее время из-за санкций российские компании теряют возможность гарантийного и сервисного обслуживания производителями импортного оборудования. Приходится все чаще полагаться на сторонние компании

и силы экипажа, возможности которых зависят от накопленного опыта поддержания в рабочем состоянии технических систем, а также от имеющейся информации о разных неисправностях.

В данной статье рассмотрены наиболее частые поломки, которые возникают в ГЭУ типа Azipod, и возможные пути их решения, что может помочь сократить время, затрачиваемое на поиск решений в будущем при возникновении неисправностей и даже избежать их.

ЛИТЕРАТУРА

1. Романовский В.В. Гребные электрические установки для арктических ледоколов // Морской вестник. – 2015. – №4 (56). – С. 53 – 56.
2. Компания АBB. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://new.abb.com/marine/ru/katalog/systemy-electrodrivzheniya/azipod> (дата обращения: 12.03.2019).
3. Справочное руководство к проекту движительных систем Azipod®. Версия 6.2. – Finland, ABB Oy, 2008. – 65 с.
4. CRP Azipod® Propulsion Concept. – Интернет-издание фирмы ABB Oy. – <http://www.abb.com/marine>, 2002, 16 с.
5. Adnanes A. K. Maritime electrical installations and diesel electric propulsion. – ABB AS Marine. – 2003.
6. Горбунов А. С., Алибаев Ф. Н. Применение полупроводниковых преобразователей электрической энергии в электроэнергетике // Вестник современных исследований. – 2018. – №. 8.3. – С. 231 – 233.
7. Романовский В.В., Малышев В.А., Сорокин Ю.В. Гребные электрические установки ледоколов и судов ледового плавания: учеб. пособие. – СПб.: Техническая библиотека РОСАТОМФЛОТА, Изд-во ГУМРФ им. адм. С.О. Макарова, 2019. – 400 с. ■

Побочный продукт ряда процессов генерации водорода на борту [1, 2] – это диоксид углерода, который требуется удалять. Вариантом очистки продуктового газа, получаемого при дегидрировании, является физическая абсорбция, основанная на высокой, относительно водорода, растворимости диоксида углерода в воде [3, 4].

В данной работе выполнено исследование влияния температуры и давления заборной воды на параметры системы очистки продуктового газа методом абсорбции диоксида углерода.

МАССООБМЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ

При взаимодействии дисперсной фазы с непрерывной зависимостью между концентрациями распределяемого вещества в каждой фазе будет выражаться законом Генри:

$$y_i^* = mx_i, \quad (1)$$

где y_i^* – мольная доля компонента в газовой фазе, равновесной с жидкостью; x_i – мольная доля компонента равновесная в принимающей фазе, равновесной с газом; i – разновидность компонента.

Константа равновесия или распределения компонента i имеет вид

$$m = \frac{E}{p},$$

где $E = 3,45 \times 10^8$ – постоянная Генри, Па; p – абсолютное давление в контуре блока очистки, Па.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ НА ПАРАМЕТРЫ СИСТЕМЫ УДАЛЕНИЯ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА

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

А.Н. Дядик, д-р техн. наук, проф.,

Д.С. Маловик, аспирант, СПбГМТУ,

контакт. тел. (812) 714 1641

Связь между коэффициентами массопередачи и массоотдачи описывается следующим уравнением:

$$K = \left(\frac{1}{\beta_g} + \frac{m}{\beta_j} \right)^{-1}, \quad (2)$$

где K – коэффициент массопередачи, м/с; β_g, β_j – коэффициенты массоотдачи для газа и жидкости соответственно, м/с.

Коэффициент молекулярной диффузии будет определяться по следующим формулам [4]:

– для газовой фазы

$$D_g = \frac{4,3 \times 10^{-7} T^{\frac{3}{2}}}{p \left(\frac{1}{V_{CO_2}^3} + \frac{1}{V_{cm}^3} \right)^2} \sqrt{\frac{1}{M_{CO_2}} + \frac{1}{M_{cm}}}, \quad (3)$$

где T – температура газа, К; V – мольный объем абсорбируемого газа и газовой смеси соответственно, см³/моль; M

– мольная масса газа и газовой смеси, кг/моль;

– для жидкой фазы

$$D_j = \frac{1 \times 10^{-6}}{4,7 \cdot \sqrt{\mu_j} \left(\frac{1}{V_{CO_2}^3} + \frac{1}{V_j^3} \right)^2} \sqrt{\frac{1}{M_{CO_2}} + \frac{1}{M_j}}, \quad (4)$$

где μ_j – динамический коэффициент вязкости жидкости, Па·с.

Число Нуссельта для пузырька газа при турбулентном движении будет определяться по формуле

$$Nu_r = 0,407 \cdot Re_r^{0,655} \cdot Pr_r^{0,333}, \quad (5)$$

где Re_r – число Рейнольдса для пузырька

газа диаметром d_r , $Re_r = \frac{\rho_r \cdot w_r \cdot d_r}{\mu_r}$; Pr_r – число Прандтля для газа, $Pr_r = \frac{\mu_r}{D_r \cdot \rho_r}$.

Диаметр газового пузырька при $Re > 600$ будет определяться по следующей формуле:

$$d_r = 1,38 \sqrt{\frac{V_r}{\left(\frac{\sigma_{ж}}{\mu_{ж} \rho_{ж}}\right)^{0,2}}}, \quad (6)$$

где V_r – объемный расход газа, м³/с; $\sigma_{ж}$ – коэффициент поверхностного натяжения жидкости, Н/м; $\rho_{ж}$ – динамический коэффициент вязкости, Па·с, $\mu_{ж}$ – плотность жидкости, кг/м³.

Тогда плотность газовой смеси

$$\rho_r = \frac{G_{H_2} + G_{CO_2}}{\left(\frac{G_{H_2}}{2} + \frac{G_{CO_2}}{44}\right) \cdot 22,4 \cdot 0,1 / p}, \quad (7)$$

где G_{H_2} , G_{CO_2} – массовые расходы водорода и диоксида углерода, кг/ч.

Коэффициент массоотдачи для каждой из фаз будет определяться выражением

$$\beta_i = \frac{Nu_i \cdot D_i}{d_i}. \quad (8)$$

Для нахождения эквивалентного диаметра жидкости, занимающей проходное сечение массообменного аппарата, требуется рассчитать истинное объемное газосодержание, которое для гомотенного потока имеет вид

$$\beta = \frac{1}{1 + (1-x)/x \cdot (\rho_l / \rho_g)}, \quad (9)$$

где x – массовое расходное газосодержание; $\rho_{ж}$ – плотность жидкости, кг/м³.

Поскольку плотность и вязкость газовой смеси намного меньше плотности жидкости, а скорость движения пузырькового потока небольшая, будет возникать эффект проскальзывания между фазами, описываемый следующим отношением:

$$S = \frac{w_r}{w_{ж}}, \quad (10)$$

где w_r , $w_{ж}$ – скорость газовой и жидкой фазы соответственно, м/с.

С учетом эффекта проскальзывания истинное объемное газосодержание

$$\varphi = \frac{1}{1 + \frac{w_r}{w_{ж}} \cdot (1-x)/x \cdot (\rho_l / \rho_g)}. \quad (11)$$

Для описания двухфазного потока целесообразно использовать модель относительного движения [6]:

$$w_r = w_m \cdot c + w_{gp}; \quad (12)$$

$$w_m = \frac{(Q_{ж} + Q_r)}{F}, \quad (13)$$

где w_m – приведенная скорость смеси, м/с; c – коэффициент распределения дискретной фазы, w_{gp} – скорость свободно всплывающего газового пузырька, м/с; $Q_{ж}$, Q_r – объемный расход для жидкой и газовой фазы соответственно, м³/с; F – площадь проходного сечения массообменного аппарата, м².

Получаемые значения истинного объемного газосодержания по зависимостям (10), (11) позволяют определить эквивалентный диаметр массообменного аппарата, занятого жидкостью:

$$d_{кж} = d_j \cdot \sqrt{1 - \varphi_j}. \quad (14)$$

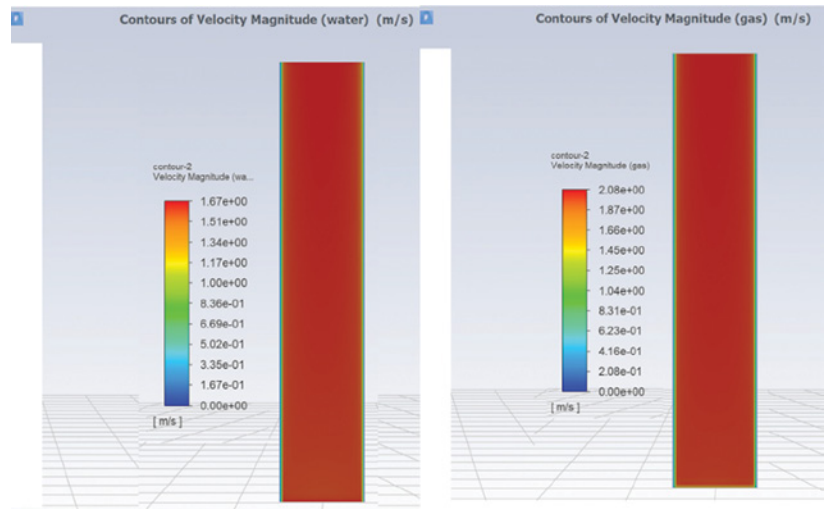


Рис. 1. Картина скоростей фаз в объеме, полученная с использованием программного комплекса ANSYS Fluent

Тогда число Нуссельта для жидкой фазы будет определяться следующими уравнениями:

$$Nu_r = 0,0021 \cdot Re_{ж}^{0,75} \cdot Pr_{ж}^{0,5}. \quad (15)$$

где $Re_{ж}$ – число Рейнольдса для жидкости,

$$Re_{ж} = \frac{w_{ж} \cdot d_{ж} \cdot \rho_{ж}}{\mu_{ж}}; Pr_{ж} – \text{число Прандл-}$$

$$\text{тля для жидкости, } Pr_{ж} = \frac{\mu_{ж}}{D_{ж} \cdot \rho_{ж}}.$$

Полученные при расчете выражения (3), (4), (8), (15) позволяют определить коэффициенты массоотдачи для каждой из фаз по выражению (2). Выражение для определения коэффициента массопередачи для абсорбера примет вид

$$K = \left(\frac{1}{\beta_r} + \frac{\rho_r \cdot m_{отн}}{\rho_{ж} \cdot \beta_{ж}} \right)^{-1}; \quad (16)$$

$$m_{отн} = m \cdot \frac{M_{ж}}{M_r}, \quad (17)$$

где $m_{отн}$ – относительная константа фазового равновесия; $M_{ж}$, M_r – молекулярная масса воды и смеси газов, кг/кмоль.

Температурная поправка для коэффициента массопередачи определяется выражениями:

$$k = 0,00067 \cdot (t_{см} - 273)^2 - \quad (18)$$

$$-0,069 \cdot (t_{см} - 273) + 2,4;$$

$$t_{см} = x \cdot \frac{C_{Pr}}{C_{Pсм}} \cdot (T + 273) + \quad (19)$$

$$+ (1-x) \cdot \frac{C_{Pж}}{C_{Pсм}} \cdot (t_{ж} + 273);$$

$$C_{Pсм} = x \cdot C_{Pr} + (1-x) \cdot C_{Pж}, \quad (20)$$

где $t_{см}$ – температура газожидкостной смеси, С; C_{Pr} , $C_{Pж}$ – теплоемкости смеси, газа и жидкости соответственно, Дж/(кг·К); $C_{Pсм}$ – теплоемкость газожидкостной смеси, Дж/(кг·К).

Степень очистки для сатуратора будет определяться по уравнению

$$q = \frac{G_{CO_2} - G_{вых}}{G_{CO_2}} \cdot 100, \quad (21)$$

где $G_{вых}$ – массовый расход абсорбата на выходе, кг/ч.

С использованием программного комплекса ANSYS Fluent была решена

задача численного трехмерного моделирования движения двухфазного потока при допущении равномерного распределения дискретной фазы на входе в сатуратор. На рис. 1 представлена трехмерная модель динамики скорости течения каждой из фаз в объеме при массовом расходе газа 400 кг/ч и объемном расходе воды 200 м³/ч.

Как следует из рассмотрения рис. 1, продуктовый газ, поступающий в аппарат, уносится потоком воды, коэффициент проскальзывания в сатураторе равен 1,23. Полученная картина движения позволяет утверждать, что в массообменном аппарате реализуется двухфазный поток с проскальзыванием между фазами. Это положение будет учитываться при дальнейшем моделировании.

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ СОПРОТИВЛЕНИЙ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ ОЧИСТКИ

Гидравлическое сопротивление при внезапном расширении потока будет определяться по выражениям

$$\Delta p_{вх} = \zeta_{вх} \frac{G_{см}^2}{2(0,785 \cdot d_{тр}^2)^2 \cdot \rho_{см}}; \quad (22)$$

$$G_{см} = \frac{G_r + G_{ж} \cdot \rho_{ж}}{3600}; \quad (23)$$

$$\rho_{см. сат} = \rho_r \cdot \varphi_{сат} + \rho_{ж} \cdot (1 - \varphi_{сат}), \quad (24)$$

где $\zeta_{вх}$ – коэффициент местного гидравлического сопротивления, $\zeta_{вх} = 1$; $G_{см}$ – массовый расход газожидкостной смеси, кг/с; $d_{тр}$ – диаметр входной трубы, м; $\rho_{см}$ – плотность газожидкостной смеси, кг/м³; $\varphi_{сат}$ – истинное объемное газосодержание в сатураторе, $\varphi_{сат} \approx 0,09$.

Местное гидравлическое сопротивление поворота двухфазной смеси

$$\Delta p_{пов} = \zeta_{пов} \frac{G_{см}^2}{2(0,785 \cdot d_{тр}^2)^2 \cdot \rho_{см}}, \quad (25)$$

где $\zeta_{пов}$ – коэффициент местного гидравлического сопротивления пово-

рота, определяемый по справочнику И.Е. Идельчика [7].

Плотность газожидкостной смеси в объеме абсорбера

$$\rho_{см} = \rho_{г} \cdot \varphi + \rho_{ж} \cdot (1 - \varphi). \quad (26)$$

Тогда скорость движения смеси в абсорбере

$$w_{см} = \frac{G_{см}}{0,785 \cdot d_a^2 \cdot \rho_{см}}. \quad (27)$$

Коэффициенты динамической вязкости для фаз с учетом температуры будут определяться следующими зависимостями:

$$\mu_{г} = (t_{см} + 273) \cdot (6,6 - 2,25 \cdot \log(M_r)) \cdot 10^{-8}; \quad (28)$$

$$\mu_{ж} = 2,81 \cdot 10^{-4} \cdot \left(\frac{p_{сат}}{10} \right)^{-1,05}; \quad (29)$$

$\mu_{см} = \mu_{ж} \cdot (1 - \varphi) \cdot (1 + 2,5 \cdot \varphi) + \mu_{г} \cdot \varphi$, (30) где $p_{сат}$ – абсолютное давление в сатураторе.

Критерий Рейнольдса для газожидкостной смеси будет определяться с учетом следующей зависимости:

$$Re_{гж} = \frac{w_{см} \cdot d_a \cdot \rho_{см}}{\mu_{см}}. \quad (31)$$

Коэффициент гидравлического сопротивления трения вычисляется отдельно для ламинарного и турбулентного режимов течения:

– при $Re_{см} \leq 2,3 \cdot 10^3$

$$\lambda_{тр} = \frac{64}{Re_{см}}; \quad (32)$$

– при $Re_{см} > 1 \cdot 10^4$

$$\lambda_{тр} = \frac{0,3164}{Re_{см}^{0,25}}. \quad (33)$$

Полученные в уравнениях (23), (26), (32), (33) значения переменных позволяют определить гидравлическое сопротивление трения двухфазного потока в абсорбере:

$$\Delta p_{тр} = \lambda_{тр} \cdot \frac{h_a}{d_a} \cdot \frac{G_{см}^2}{2 \cdot (0,785 \cdot d_a^2)^2 \cdot \rho_{см}}, \quad (34)$$

где h_a – высота абсорбера, м.

Гидравлическое сопротивление при внезапном сужении на выходе из абсорбера в трубу

$$\Delta p_{вых} = \lambda_{вых} \cdot \frac{G_{см}^2}{2 \cdot (0,785 \cdot d_{тр,вых}^2)^2 \cdot \rho_{см}}. \quad (35)$$

Скорость потока в выходном трубопроводе из абсорбера

$$w_{вых} = \zeta_{вых} \cdot \frac{G_{см}}{0,785 \cdot d_{тр,вых}^2 \cdot \rho_{см}}. \quad (36)$$

Критерий Рейнольдса в этом случае будет определяться зависимостью

$$Re_{тр} = \frac{w_{вых} \cdot d_{тр,вых} \cdot \rho_{ж}}{\mu_{ж}}. \quad (37)$$

Значения критерия Рейнольдса позволяют определить гидравлическое сопротивление с использованием граничных значений (31), (32).

Сопротивление трения потока заборной воды в трубе за абсорбером

$$\Delta p_{выт} = \lambda_{а} \cdot \frac{G_{см}^2}{d_a \cdot 2 \cdot (0,785 \cdot d_a^2)^2 \cdot \rho_{см}}. \quad (38)$$

Тогда сумма местного сопротивления и сопротивления трения будет равна

$$\Delta p_{вых, сум} = \Delta p_{выт} + \Delta p_{тр}. \quad (39)$$

Значения гидравлических сопротивлений, полученные в уравнениях (31), (33), (34), (38), позволяют определить общее гидравлическое сопротивление абсорбера:

$$\Delta p_{абс} = \Delta p_{вх} + \Delta p_{пов} + \Delta p_{тр} + \Delta p_{вых, сум}. \quad (40)$$

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ К РАСЧЕТУ

В различных районах океана давлению соответствуют различные средние температуры; вертикальное распределение представлено на рис. 2.

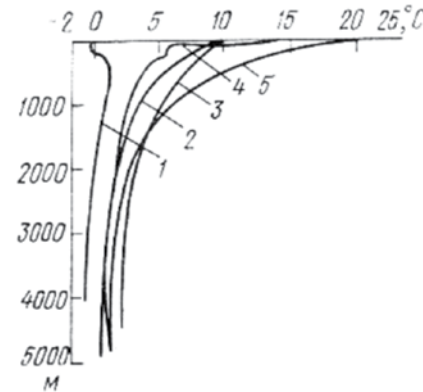


Рис. 2. Вертикальное распределение температур воды для различных районов океана
1 – полярный; 2 – субантарктический; 3 – субарктический атлантический; 4 – субарктический тихоокеанский; 5 – умеренно тропический [8]

На основе данных вертикального распределения диапазон температур выбран от 5 до 25 °С.

Плотность заборной воды с учетом температуры и солёности будет

$$\rho_{ж} = \frac{1009 + 0,733 \cdot (s - 10)}{1 - 3 \cdot 10^{-4} \cdot (t_{ж} - 10)}, \quad (41)$$

где s – солёность, ‰.

Эмпирическая формула коэффициента поверхностного натяжения для

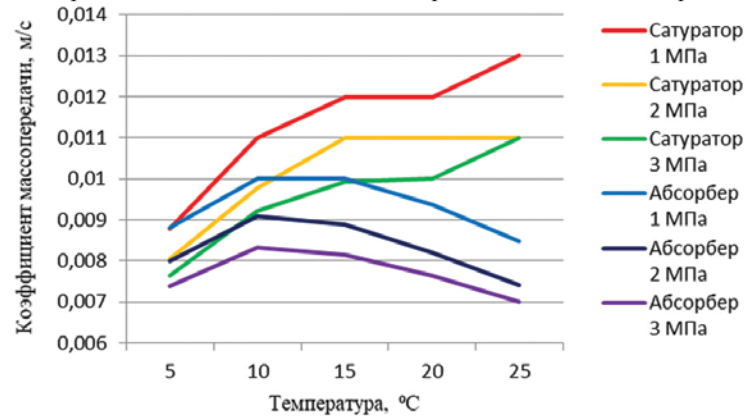


Рис. 3. Изменение коэффициента массопередачи в зависимости от температуры и давления в сатураторе и абсорбере

морской воды [8] имеет вид

$$\sigma = 7,562 \cdot 10^{-2} - 1,3928 \cdot 10^{-4} \cdot t_{ж} - 3,063 \cdot 10^{-7} \cdot t_{ж}^2 + 2,209 \cdot 10^{-5} \cdot s. \quad (42)$$

Степень очистки в абсорбере принята равной 100%.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА ПО МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

Результаты расчета системы очистки при постоянной температуре заборной воды, равной +25 °С, представлены в табл. 1.

Здесь отражены основные показатели работы составляющих блока предварительной очистки продуктового газа от двуокси углерода для трех величин давлений в системе очистки при постоянной температуре. Отметим правильную математическую интерпретацию физических процессов растворения, заключающуюся в снижении интенсивности поглощения CO₂ заборной водой при снижении давления в системе.

Изменение показателей работы блока предварительной очистки продуктового газа при постоянном давлении 2 МПа отражены в табл. 2.

Снижение степени извлечения с понижением температуры вызвано увеличением коэффициента поверхностного натяжения воды и динамического коэффициента вязкости воды, что, в свою очередь, приводит к снижению коэффициентов массоотдачи для фаз, скорости свободно всплывающего пузырька и увеличению диаметра газового пузырька, при снижении общей суммарной поверхности пузырьков.

Изменение коэффициента массопередачи для давления и температуры представлено на рис. 3.

При снижении степени очистки расход воды для значения степени извлечения 70% будет повышаться, изменения параметров при этом представлены в табл. 3.

Увеличение объемного расхода воды лимитируется общим гидравлическим сопротивлением системе. При давлении 1

Параметры системы очистки при постоянной температуре +25 °С в зависимости от давления

Абсолютное давление, МПа	Коэффициент массопередачи в сатураторе, м/с	Степень извлечения газа в сатураторе, %	Коэффициент проскальзывания в сатураторе	Коэффициент массопередачи в абсорбере, м/с	Коэффициент проскальзывания в абсорбере	Общее гидравлическое сопротивление, Па
1	0,013	27,2	1,57	0,0085	4,71	1,814·10 ⁵
2	0,011	60,3	1,43	0,0074	4,27	1,808·10 ⁵
3	0,011	69,7	1,38	0,0070	4,19	1,806·10 ⁵

Таблица 2

Параметры системы очистки при постоянном давлении 2 МПа для различных температур

Температура заборной воды, °С	Коэффициент массопередачи в сатураторе, м/с	Степень извлечения газа в сатураторе, %	Коэффициент проскальзывания в сатураторе	Коэффициент массопередачи в абсорбере, м/с	Коэффициент проскальзывания в абсорбере	Общее гидравлическое сопротивление, Па
5	0,008	41,8	1,36	0,0080	3,44	1,802·10 ⁵
15	0,011	55,5	1,41	0,0088	3,99	1,804·10 ⁵
25	0,011	60,3	1,43	0,0074	4,27	1,808·10 ⁵

Таблица 3

Параметры системы очистки при требуемой степени извлечения 70 % для различных температур и давлений

Абсолютное давление, МПа	Температура заборной воды, °С	Объемный расход воды, м ³ /ч	Коэффициент массопередачи в сатураторе, м/с	Коэффициент проскальзывания в сатураторе	Коэффициент массопередачи в абсорбере, м/с	Коэффициент проскальзывания в абсорбере	Общее гидравлическое сопротивление, Па
1	5	640	–	–	–	–	1,8·10 ⁶
	15	510	–	–	–	–	1,1·10 ⁶
	25	435	0,021	1,29	0,0130	3,05	8,6·10 ⁵
2	5	305	0,011	1,26	0,0086	2,62	4,2·10 ⁵
	15	255	0,012	1,33	0,0899	3,35	2,9·10 ⁵
	25	240	0,013	1,36	0,0080	3,73	2,6·10 ⁵
3	5	225	0,008	1,29	0,0075	3,09	2,3·10 ⁵
	15	210	0,010	1,34	0,0082	3,77	1,9·10 ⁵
	25	200	0,011	1,38	0,0070	4,19	1,8·10 ⁵

МПа для температур от 5 до 15 °С общее гидравлическое сопротивление превышает давление на входе в блок очистки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье представлено выполненное исследование влияния внешней среды (заборной воды) на работу абсорбера расчетным методом. При определении параметров массообменных процессов в абсорбере использован метод относительного движения фаз для учета коэффициента проскальзывания. В ходе исследования установлено, что с снижением температуры снижается степень извлечения диоксида углерода, что вызвано повышением динамического коэффициента вязкости воды. Также установлено, что при снижении степени извлече-

ния диоксида углерода для обеспечения требуемой степени извлечения увеличивается расход воды. Это позволяет сделать вывод о возможности регулирования работы насоса в зависимости от глубины погружения морского подводного объекта. Требуемые расходные параметры насоса и возможность его отключения при больших давлениях требует дополнительных исследований теоретического и экспериментального плана.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дядик А. Н., Замуков В. В., Дядик В. А. Корабельные воздухозависимые энергетические установки. – СПб.: Судостроение, 2006. – 424 с.
2. Арсентьев А. С., Прохоров Н. С., Худяков С. С., Янкевич А. И. Создание ВНЕУ для отечественного ВМФ // Морской сбор-

- ник. – 2020. – Вып. 8 (2081). – С. 79 – 83.
3. Иванов Р. А., Копытов Ю. В., Струев В. П. Судовые системы утилизации продуктов сгорания углеводородного топлива. // Тр. Крыловского государственного научного центра. – 2018. – Вып. 386 (4). – С. 133 – 138.
4. Разработка принципиальных схем очистки водорода от углекислого газа / А.В. Балакин и др. // Морской вестник. – 2020. – № 4(76). – С. 81 – 84.
5. Рамм В. М. Абсорбция газов. – М.: Химия, 1974. – 656 с.
6. Нигматулин Р. И. Динамика многофазных сред. – Ч. 1. – М.: Наука, 1987. – 464 с.
7. Идельчик И. Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям / Под ред. М.О. Штейнберга. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1992. – 672 с.
8. Егоров Н. И. Физическая океанография. – Л.: Гидрометеоздат. 1974. – 450 с. ■

В составе парогазовой установки (ПГУ) работают газотурбинная установка (ГТУ), паровая турбина (ПТУ) и котел. Запишем основные соотношения для электрического КПД ГТУ, ПТУ и КПД (нетто), используя основные выкладки из термодинамики бинарных циклов:

$$\eta_{\text{ЭЛ}}^{\text{ГТУ}} = \frac{N_{\text{ЭЛ}}^{\text{ГТУ}}}{Q_{\text{Г}}};$$

$$\eta_{\text{ЭЛ}}^{\text{ПТУ}} = \frac{N_{\text{ЭЛ}}^{\text{ПТУ}}}{Q_{\text{П}}};$$

$$\eta_{\text{к}} = \frac{Q_{\text{П}}}{Q_{\text{Г}} + Q_{\text{П}}} = \frac{Q_{\text{П}}}{Q_{\text{Г}} + Q_{\text{П}} - Q_{\text{К}}};$$

где $N_{\text{ЭЛ}}^{\text{ГТУ}} = (Q_{\text{Г}} - Q_{\text{К}})\eta_{\text{мех}}\eta_{\text{эл.ген}}$ и $N_{\text{ЭЛ}}^{\text{ПТУ}}$ – электрическая мощность, снимаемая с клемм электрогенератора, приводимого во вращение соответственно ГТУ и ПТУ; $Q_{\text{Г}} = G_{\text{топ}} Q_{\text{низ}}^{\text{раб}}$ – тепловая мощность, выделяемая в камеру сгорания (КС) при допущении, что полнота сгорания равна единице;

$Q_{\text{К}} = Q_{\text{Г}} \left(1 - \frac{\eta_{\text{ЭЛ}}^{\text{ГТУ}}}{\eta_{\text{мех}} \eta_{\text{эл.ген}}} \right)$ – отводимая тепловая мощность от ГТУ с выхлопным газом, который сбрасывается в паровой котел; $\Delta Q_1 = B_{\text{топ}} Q_{\text{низ}}^{\text{раб}}$ – тепловая мощность, выделяемая за счет сжигания топлива, поступающего в паровой котел, которую можно выразить из выражения для доли газотурбинного топлива, подаваемого в камеру сгорания ГТУ:

$$\delta = \frac{Q_{\text{Г}}}{Q_{\text{Г}} + Q_{\text{П}}} = \frac{1}{1 + \frac{\Delta Q_1}{Q_{\text{Г}}}} = \frac{G_{\text{топ}} \cdot Q_{\text{низ}}^{\text{раб}}}{G_{\text{топ}} \cdot Q_{\text{низ}}^{\text{раб}} + B_{\text{топ}} \cdot Q_{\text{низ}}^{\text{раб}}};$$

$Q_{\text{П}} = Q_{\text{К}} + \Delta Q_1 - \Delta Q_2$ – тепловая мощность переданная питательной воде в котле; ΔQ_2 – потери тепловой мощности с уходящими газами в дымовую трубу котла.

Соотношение мощностей ГТУ и ПТУ с учетом этих уравнений можно представить в следующем виде:

$$\bar{N} = \frac{N_{\text{ЭЛ}}^{\text{ГТУ}}}{N_{\text{ЭЛ}}^{\text{ПТУ}}} = \frac{\eta_{\text{ЭЛ}}^{\text{ГТУ}} Q_{\text{Г}}}{\eta_{\text{к}} \eta_{\text{ЭЛ}}^{\text{ПТУ}} (Q_{\text{Г}} + Q_{\text{П}})}. \quad (1)$$

Подставив в уравнение (1) выражения для $Q_{\text{К}}$ и $Q_{\text{П}} = \frac{Q_{\text{К}}}{\delta} - 1$, получим

$$\bar{N} = \frac{\eta_{\text{ЭЛ}}^{\text{ГТУ}}}{\eta_{\text{к}} \eta_{\text{ЭЛ}}^{\text{ПТУ}} \cdot \left(1 - \frac{\eta_{\text{ЭЛ}}^{\text{ГТУ}} \delta}{\eta_{\text{мех}} \eta_{\text{эл.ген}}} \right)}. \quad (2)$$

Уравнения для электрического КПД бинарной ПГУ имеет следующий вид:

$$\eta_{\text{ЭЛ}}^{\text{ПТУ}} = 1 - (1 - \eta_{\text{ЭЛ}}^{\text{ГТУ}} \delta) (1 - \eta_{\text{ЭЛ}}^{\text{ПТУ}} \eta_{\text{к}}) - \eta_{\text{ЭЛ}}^{\text{ПТУ}} \eta_{\text{к}} \eta_{\text{ЭЛ}}^{\text{ГТУ}} \delta \left(\frac{1}{\eta_{\text{мех}} \eta_{\text{эл.ген}}} - 1 \right). \quad (3)$$

Уравнение (3) было выведено аналитически ранее в работе [2]. Уравнения (2) и (3) можно упростить, приняв допущение $\eta_{\text{мех}} = \eta_{\text{эл.ген}} = 1$. Принятое допущение позволяет упростить необходимые расчеты и исследования влияния

АНАЛИТИЧЕСКОЕ ВЫРАЖЕНИЕ СООТНОШЕНИЯ МОЩНОСТЕЙ ГАЗОТУРБИНОЙ И ПАРОТУРБИНОЙ УСТАНОВОК, РАБОТАЮЩИХ В СОСТАВЕ БИНАРНОЙ ПАРОГАЗОВОЙ УСТАНОВКИ

Э.В. Балашова, студентка,

В.В. Толмачев, канд. техн. наук, доцент, СПбГМТУ,

ella.com1420@gmail.com, tolmachevvalera1967@gmail.com

основных факторов как на электрический КПД ПГУ $\eta_{\text{ЭЛ}}^{\text{ПТУ}}$, так и на величину \bar{N} , обеспечив при этом достаточную степень их точности:

$$\bar{N} \approx \frac{\eta_{\text{ЭЛ}}^{\text{ГТУ}} \delta}{\eta_{\text{к}} \eta_{\text{ЭЛ}}^{\text{ПТУ}} (1 - \eta_{\text{ЭЛ}}^{\text{ГТУ}} \delta)}. \quad (4)$$

Погрешность расчетов, выполняемых с использованием уравнения (4), не превышает 2–3%.

Максимальный диапазон изменения величины \bar{N} в пределах от \bar{N}_{max} до \bar{N}_{min} определяется следующими сочетаниями исходных данных:

- для величины \bar{N}_{min} при $(\eta_{\text{ЭЛ}}^{\text{ГТУ}} \delta)_{\text{min}}$ и $(\eta_{\text{к}} \eta_{\text{ЭЛ}}^{\text{ПТУ}})_{\text{max}}$,
- для \bar{N}_{max} – при $(\eta_{\text{ЭЛ}}^{\text{ГТУ}} \delta)_{\text{max}}$ и $(\eta_{\text{к}} \eta_{\text{ЭЛ}}^{\text{ПТУ}})_{\text{min}}$.

Для тепловой схемы ПГУ с котлом-утилизатором (ПГУ-КУ) как находящихся в эксплуатации, так и вновь проектируемых, среднее значение \bar{N} при современных условиях $\Delta Q_1 = 0$ и $\delta = 1$ составляет $\bar{N} \approx 1,4 - 2$, т. е. мощность ГТУ в составе ПГУ превосходит мощность ПТУ.

Вместе с тем паротурбинные блоки имеют, как правило, большую единичную мощность. Поэтому в случае использования ГТУ сравнительно небольшой единичной мощности в состав ПГУ обычно включают несколько таких ГТУ в сочетании с одной ПТУ большой единичной мощности. В течение последних десяти лет рядом зарубежных энергомашиностроительных фирм, а также ПАО «Силловые машины» создаются ГТУ, мощность которых составляет 65–170 МВт. В этом случае в состав ПГУ включают одну ГТУ и одну ПТУ.

В качестве примера приведем результаты некоторых исследований ПГУ «PEGUS-12» (фирма АВВ, Швейцария), полученные в течение продолжительного периода ее эксплуатации [1]. В состав

этой ПГУ включены ГТУ марки GT-13E, выполненные по простой тепловой схеме, и ПТУ с промежуточным перегревом пара без регенеративных отборов. Деаэрация воды осуществляется после ее подогрева в экономайзерной секции котла-утилизатора (КУ). Дополнительная теплота в КУ не подводится, т. е. $\Delta Q_1 = 0$ и $\delta = 1$.

ГТУ типа GT-13E может эксплуатироваться автономно на двух режимах работы – базовом и пиковом. Основные технические характеристики этой установки представлены в таблице.

При эксплуатации ГТУ типа GT-13E на пиковом режиме работы ее мощность может быть увеличена за счет повышения температуры газа T_3 на входе в турбину. При этом происходит повышение КПД и степени повышения давления воздуха в компрессоре.

При эксплуатации ГТУ типа GT-13E в составе ПГУ ее работа осуществляется в базовом режиме. При этом вследствие дополнительного гидравлического сопротивления, вносимого КУ, происходит некоторое снижение КПД и мощности ГТУ по сравнению с автономным базовым режимом работы до значений, составляющих приблизительно 33% и 141 МВт, соответственно. Вместе с тем происходит повышение температуры газа T_4 на выходе из ГТУ. Мощность ПТУ в рассматриваемой ПГУ составляет 82 МВт. Таким образом, значения величин КПД и суммарной мощности ПГУ типа «PEGUS-12» составляют $\eta_{\text{ЭЛ}}^{\text{ПТУ}} = 51,7\%$ и $N_{\text{ЭЛ}}^{\text{ПТУ}} = 223$ МВт, соответственно. При этом соотношение мощностей ГТУ и ПТУ составляет $\bar{N} = 1,72$. Приведенные значения основных энергетических показателей ПГУ типа «PEGUS-12» могут быть определены по известным значениям параметров ПГУ (температуры газа на выходе

Основные технические характеристики ГТУ типа GT-13E

Таблица

Режим работы ГТУ	Электрическая мощность ГТУ $N_{\text{ЭЛ}}^{\text{ГТУ}}$, МВт	Температура газа перед турбиной T_3 , К	Степень сжатия воздуха $\pi_{\text{к}}$	Расход выхлопного газа $G_{\text{Г}}$, кг/с	Электрический КПД ГТУ $\eta_{\text{ЭЛ}}^{\text{ГТУ}}$, %	Температура выхлопного газа T_4 , К	Тепловая мощность, подводимая в КС ГТУ $Q_{\text{Г}}$, МВт
Базовый	147	1343	14,3	502	34,4	788	431
Пиковый	160	1388	14,5	505	34,8	816	450

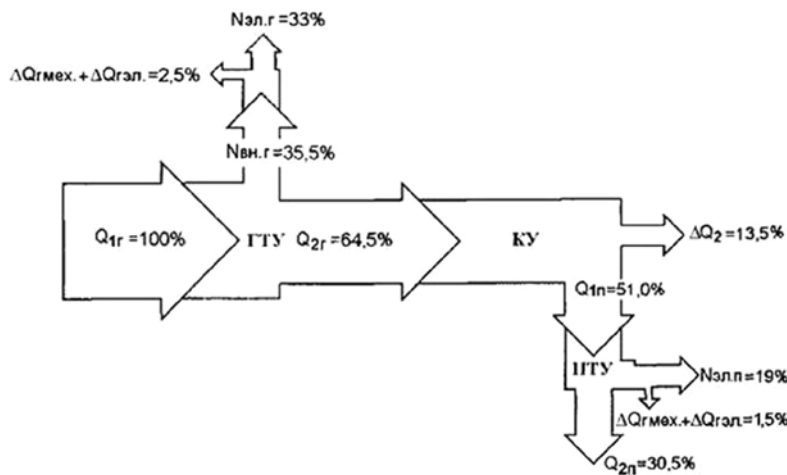


Рис. 1. Основные потоки тепловой и электрической мощности в ПГУ-КУ «PEGUS-12»

из котла $T_5^* = 393 \text{ K}$, $\eta_{\text{эл}}^{\text{ПГУ}} \approx 37\%$ (нетто), $\eta_{\text{к}} \approx 79\%$, $\eta_{\text{мех}} \cdot \eta_{\text{эл.ген}} \approx 0,93$) с привлечением для этого уравнений (2) и (3).

Основные тепловые потоки и электрические мощности рассматриваемой ПГУ-КУ представлены на рис. 1. Принимая величину тепловой мощности Q_{1r} , подводимой в КС ГТУ, за 100%, получаем относительные значения тепловых потоков и электрических мощностей соответственно $N_{\text{эл}}^{\text{ПГУ}}/Q_{1r}$, Q_{2r}/Q_{1r} , $\Delta Q_{2r}/Q_{1r}$, Q_{1n}/Q_{1r} и $N_{\text{эл}}^{\text{ПГУ}}/Q_{1r}$, определяемых соответствующими уравнениями с точностью до 0,2–0,3%. Тогда, принимая значения величин $N_{\text{эл}}^{\text{ПГУ}}/Q_{1r}$ и $N_{\text{эл}}^{\text{ПГУ}}/Q_{1r}$, равными соответственно 33% и 19%, получаем значение относительной суммарной электрической мощности в соответствии с выражением

$$\frac{N_{\text{эл}}^{\text{ПГУ}}}{Q_{1r}} = \frac{N_{\text{эл}}^{\text{ГТУ}}}{Q_{1r}} + \frac{N_{\text{эл}}^{\text{ПГУ}}}{Q_{1r}} \approx 0,52\%.$$

Из проведенного анализа следует, что значение этой величины составляет $\eta_{\text{эл}}^{\text{ПГУ}} \approx 0,52\%$, а значение тепловой мощности, отводимой в окружающую среду,

$$\frac{Q_{2r} + Q_{2n} + \left(\frac{\Delta Q_{\text{Г.Мех}} + \Delta Q_{\text{Г.Эл}}}{Q_{1r}} \right)_{\text{Г}} + \left(\frac{\Delta Q_{\text{Г.Мех}} + \Delta Q_{\text{Г.Эл}}}{Q_{1r}} \right)_{\text{П}} \approx 48\%.$$

Представляет практический интерес исследование влияния основных факторов на соотношение мощностей \bar{N} . Из анализа уравнения (4) следует, что величина $\eta_{\text{эл}}^{\text{ПГУ}} \delta$ оказывает на величину \bar{N} большее влияние, чем величина $\eta_{\text{к}} \eta_{\text{эл.ген}}^{\text{ПГУ}}$.

Из анализа уравнений $\eta_{\text{эл}}^{\text{ПГУ}}$ и $Q_{2r} = Q_{1r} \left(1 - \frac{\eta_{\text{эл}}^{\text{ПГУ}}}{\eta_{\text{мех}} \cdot \eta_{\text{эл.ген}}} \right)$ следует, что с возрастанием значения $\eta_{\text{эл}}^{\text{ПГУ}}$ при прочих равных условиях и, в частности, при $Q_{1r} = \text{const}$ увеличивается мощность ГТУ и одновременно уменьшается значение тепловой мощности Q_{2r} . При этом в случае $\eta_{\text{эл}}^{\text{ПГУ}} = \text{const}$ значение мощности ПТУ, как следует из анализа уравнения $\eta_{\text{эл}}^{\text{ПГУ}}$, уменьшается. Следует также отметить, что значение отводимой от ГТУ тепловой мощности Q_{2r} , содержащейся в уравне-

нии $Q_{1n} = Q_{2r} + \Delta Q_1 - \Delta Q_2$, является основной составляющей тепловой мощности Q_{1n} , подводимой к ПТУ. На основании изложенного можно заключить, что значение \bar{N} возрастает вследствие увеличения $N_{\text{эл}}^{\text{ПГУ}}$ и уменьшения $N_{\text{эл}}^{\text{ПТУ}}$.

В то же время значение КПД ПТУ $\eta_{\text{эл}}^{\text{ПТУ}}$ при прочих равных условиях и, в частности, при $Q_{1n} = \text{const}$, оказывает влияние только на значение мощности ПТУ, изменяющееся пропорционально $\eta_{\text{эл}}^{\text{ПТУ}}$.

Влияние коэффициентов, составляющих величину $\eta_{\text{эл}}^{\text{ПТУ}} \delta$, формально одинаково, однако изменение величины каждого из них оказывает различное влияние на величину \bar{N} . Так, например, с ростом δ при $\Delta Q_1 = 0$ значение мощности ГТУ при прочих равных условиях не изменяется. Однако при этом, как следует из анализа уравнения $\frac{\Delta Q_1}{Q_{1r}} = \frac{1}{\delta} - 1$, значение

тепловой мощности ΔQ_1 , дополнительно подводимой в КУ, уменьшается и, следовательно, уменьшается общая тепловая мощность Q_{1n} , подводимая к ПТУ. Таким образом, при $\eta_{\text{эл}}^{\text{ПТУ}} = \text{const}$ уменьшается значение мощности ПТУ $N_{\text{эл}}^{\text{ПТУ}}$, что, в свою очередь, приводит к увеличению \bar{N} . Равноценность влияния на величину \bar{N} коэффициентов $\eta_{\text{эл}}^{\text{ПТУ}}$ и δ следует из анализа уравнения $\frac{\Delta Q_1}{Q_{1r}} = \frac{1}{\delta} - 1$. Результаты

анализа этого уравнения показывают, что изменение величины δ оказывает большое влияние на соотношение $\Delta Q_1 / Q_{1r}$. Поэтому увеличение δ при $Q_{1r} = \text{const}$ приводит к значительно снижению мощности $N_{\text{эл}}^{\text{ПТУ}}$. Коэффициенты, составляющие величину $\eta_{\text{к}} \eta_{\text{эл.ген}}^{\text{ПТУ}}$, оказывают равнозначное влияние на \bar{N} .

Таким образом, на основании выполненных исследований аналитического выражения соотношения мощностей ГТУ и ПТУ, работающих в составе ПГУ, и показателей ее энергетической эффективности можно сделать следующие выводы.

1. Получены точные и приближенные уравнения для определения основных энергетических показателей ПГУ: уравнение (3) предназначено для определения

электрического КПД ПГУ, уравнения (2) и (4) — для определения соотношения мощностей ГТУ и ПТУ. При этом следует отметить, что использование уравнений (3) и (4) в приближенном виде позволяет выполнить указанные расчеты с относительно небольшой погрешностью.

2. Из анализа уравнений (3) и (4) следует, что КПД ПГУ $\eta_{\text{эл}}^{\text{ПГУ}}$ и соотношения мощностей ГТУ и ПТУ \bar{N} зависят только от значений комплексных параметров, представляющих собой произведение соответствующих коэффициентов $\eta_{\text{эл}}^{\text{ПТУ}} \delta$ и $\eta_{\text{к}} \eta_{\text{эл.ген}}^{\text{ПТУ}}$.

3. Влияние коэффициентов, входящих в выражения комплексных параметров $\eta_{\text{эл}}^{\text{ПТУ}} \delta$ и $\eta_{\text{к}} \eta_{\text{эл.ген}}^{\text{ПТУ}}$, одинаково, однако изменение каждого из этих коэффициентов вызвано разными физическими причинами и поэтому оказывает различное влияние на параметры рабочего процесса ПГУ.

4. Коэффициенты $\eta_{\text{эл}}^{\text{ПТУ}}$, δ , $\eta_{\text{эл}}^{\text{ПТУ}}$, $\eta_{\text{к}}$, входящие в уравнения (3) и (4), в большинстве случаев взаимозависимы, поэтому изменение одних коэффициентов приводит к изменению других. Взаимное влияние этих коэффициентов зависит от принятых значений параметров рабочего процесса ГТУ, котла и ПТУ. Взаимозависимость указанных коэффициентов обуславливает необходимость оптимизации параметров рабочего процесса ПГУ из условия получения максимального значения ее КПД $\eta_{\text{эл}}^{\text{ПГУ}}$.

5. В схемах ПГУ с КУ на базе современных высокотемпературных ГТУ электрический КПД ПГУ этого типа может составлять 50–65%, а соотношение мощностей $\bar{N} = N_{\text{эл}}^{\text{ПТУ}} / N_{\text{эл}}^{\text{ПГУ}}$ — приблизительно 2, т. е. мощность ГТУ в 2 раза больше мощности ПТУ. В тепловых схемах ПГУ с вытеснением регенеративных подогревателей высокого давления, например, на базе двух SGT5-4000F (Сименс, Германия) и одной отечественной ПТУ марки К-1200-23,5 (ЛМЗ, РФ) на пиковой нагрузке общая мощность ПГУ составляет 1937 МВт (2ГТУ*284+1ПТ1200+пиковая 169 МВт), а электрический КПД ПГУ на пиковом режиме работы получается невысоким — около 44%. При этом отношение мощностей $\bar{N} = N_{\text{эл}}^{\text{ПТУ}} / N_{\text{эл}}^{\text{ПГУ}}$ составляет около 0,43–0,50.

Таким образом, в этих схемах ПГУ обычно мощность ПТУ в 2 с лишним раза больше, чем общая мощность ГТУ. В схемах ПГУ со сбросом выхлопного газа ГТУ в паровой котел КПД схемы ПГУ невелик — 41,5–42%, а значение $\bar{N} = N_{\text{эл}}^{\text{ПТУ}} / N_{\text{эл}}^{\text{ПГУ}}$ еще меньше — 0,3–0,4 [1].

ЛИТЕРАТУРА

1. Трухний А.Д. Парогазовые установки электростанций: учеб. пособие для вузов. — М.: ИД МЭИ, 2013. — 648 с.
2. Куландин А.А., Толмачев В.В., Гольдберг Л. Комбинированные парогазовые установки. — СПб.: Изд-во СПбИИМ, 2003. — 106 с. ■

В настоящее время известно большое количество корабельных амортизаторов [1], которые можно классифицировать, например, по виду применяемого в них упругого элемента. Это амортизаторы с резиновым, металлическим, пневматическим, гидравлическим и другими упругими элементами. Во многих амортизаторах указанные упругие элементы применяются совместно.

Использование свойств сжимаемости воздуха привело к созданию пневматических амортизаторов.

ПНЕВМАТИЧЕСКИЕ АМОРТИЗАТОРЫ И ИХ ОСОБЕННОСТИ

Впервые в РФ пневматические амортизаторы были разработаны и нашли применение в автомобильной промышленности [2, 3]. За рубежом пневматические амортизаторы для энергетического оборудования кораблей запатентованы в 1961 г. [4].

К корабельным пневматическим амортизаторам отечественного производства относятся низкочастотные нерегулируемые амортизаторы типов АПРК, АПРКу и АПРКС и др. [1, 5, 6, 7]. Основным элементом этих амортизаторов является резинокордная трехслойная оболочка, в которой обрешиненный корд воспринимает действующую на оболочку усилия, герметизирующий слой резины толщиной 1,5–4 мм препятствует утечке воздуха из оболочки (он изготовлен из резины с большим сопротивлением диффузии воздуха).

Достаточно низкая частота собственных колебаний пневматических амортизаторов рассмотренных типов предполагает высокую акустическую эффективность. В то же время применение амортизаторов с собственными частотами порядка 5 Гц приводит при эксплуатационных кренах и дифферентах корабля к увеличению перемещений механизмов до 10–15 мм, что во многих случаях не обеспечивает нормальной работы его неопорных связей [8, 9, 10, 11]. Вследствие малой эффективности гашения энергии ударов (демпфирования) такие амортизаторы не защищают энергетическое оборудование от внешнего ударного воздействия.

Обычно для устранения этих недостатков применяют дополнительные средства, в частности, упругие ограничители, устанавливаемые с соответствующим зазором. Например, амортизаторы типа АПРКу имеют закладной упор в виде резинового массива, помещаемого в резинокордную оболочку при ее изготовлении [12]. Однако подобные мероприятия приводят к резкому снижению акустической эффективности при соприкосновении механизма с упором. Для восполнения утечек воздуха из оболочек и предотвращения изменения характеристик пневматических амортизаторов предусматривается постоянная подача воздуха из пневматической магистральной через дросселирующий клапан либо периодическая подкачка воздуха, когда просадка амортизатора достигает определенной величины. Наличие утечек воздуха также следует рассматривать как недостаток амортизаторов с резинокордными оболочками.

За рубежом для амортизации корабельного энергетического оборудования применяют пневмогидравлические амортизаторы типа CRMS (Constant Position Mounting System), разработанные фирмой Yarrow (Shipbuilders) Limited (Великобритания) [13]. Стендовые испытания показали, что их собственная частота колебаний составляет 3,3 Гц [14].

Кроме амортизаторов, специально предназначенных для использования в амортизирующих креплениях корабельного энергетического оборудования, в настоящее время известен ряд устройств, используемых по другому назначению и в других

ПНЕВМАТИЧЕСКИЕ АМОРТИЗАТОРЫ ДЛЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ КОРАБЛЕЙ И СУДОВ

А.Н. Андрунин, начальник отделения (подготовки и сопровождения) государственных контрактов службы военных сообщений управления (транспортного обеспечения) Московского военного округа,
Н.В. Андрунин, д-р техн. наук, зав. кафедрой техники и технологий кораблестроения и водного транспорта ФГУП «Крыловский государственный научный центр»,
А.С. Кухтик, директор по производству ООО «Эмпериум»,
В.Н. Половинкин, д-р техн. наук, проф., науч. руководитель ФГУП «Крыловский государственный научный центр»,
контакт. тел. +7 (911) 905 3767, andryunin60@mail.ru

областях техники, но имеющих предпосылки к применению в качестве амортизаторов энергетического оборудования кораблей и судов. Рассмотрим некоторые из них.

Известно большое количество разнообразных газостатических и газодинамических опор скольжения (подпятников и подшипников) [15, 16]. Они обеспечивают некоторое снижение виброактивности энергетического оборудования. Однако это происходит в основном из-за их малой собственной шумности и некоторых изменений в работе системы «ротор подшипниковый узел – статор механизма» [4, 13 17]. Довольно высокие значения поступательных жесткостей и исклчительно малый в большинстве случаев возможный ход таких опор не позволяет рассматривать их как достаточно эффективное средство уменьшения виброактивности энергетического оборудования [18, 19]. Кроме этого, газодинамические опоры способны снижать виброактивность оборудования либо в продольном, либо в радиальном направлениях.

Известны платформы с гибкими мембранами [15], предназначенные для транспортировки грузов, а также существует ряд кораблей на воздушной подушке, принцип действия которых и наличие воздушных объемов, ограниченных гибкими оболочками, позволяет предполагать, что они имеют эффективные акустические характеристики. Указанным устройствам присуще свойство саморегулирования грузоподъемности в зависимости от величины приложенной нагрузки, которое осуществляется без каких-либо внешних специальных регуляторов.

Идея использования принципа действия этих устройств для амортизаторов корабельного энергетического оборудования была предложена в 1971 г. коллективом сотрудников ЛВВМИУ им. В.И. Ленина, в/ч 27177, ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова и воплощена в опытных образцах пневматического амортизатора нового типа – газостатического амортизатора (ГСА) [20, 21].

Опытные образцы ГСА имели статические и динамические характеристики, позволяющие удовлетворять основным требованиям к корабельным амортизаторам [19, 20, 21]. Например, их собственные частоты составляли 9–13 Гц при нагрузке 3 кН, а статическая жесткость была близка к бесконечности. Комплекс присущих им свойств вызвал интерес многих исследовательских и промышленных предприятий страны.

За этот период были спроектированы, изготовлены и испытаны амортизаторы и амортизирующие крепления для кораблей ВМФ СССР, в частности:

- в 1971 г. созданы газостатические одномембранные амортизаторы (типа ГСА) [19, 20], виброизоляция которых достигается за счет наличия гибкой мембраны, соприкасающейся с опорной пластиной через тонкий слой вытекающего из амортизатора сжатого воздуха. Такие амортизаторы были установлены под газотурбогенератор ГТУ-6А

- и прошли опытную эксплуатацию на БПК «Славный» пр. 61МП [22];
- в 1980 г. изготовлены газостатические многомембранные амортизаторы (тип ММГСА). Амортизаторы этого типа были установлены во внутреннем каскаде двухкаскадного амортизирующего крепления газотурбогенератора ГТГ-1250-1. Четыре таких амортизатора проходили опытную эксплуатацию на БПК «Адмирал Трибуц» пр. 1155 (зав. № 733) [23];
- в 1980 г. на Ленинградском Кировском заводе были изготовлены и испытаны безмембранные пневматические регулируемые сильфонные амортизаторы (тип АПРС). Они были установлены под серийный главный турбозубчатый агрегат ГТЗА-635 на АПЛ К-241 пр. 667А (зав. № 462), где проходили опытную эксплуатацию вместе с системой регулирования подачи воздуха (тип ПРА);
- в 1983 г. изготовлены и испытаны гидростатические пневматические амортизаторы (тип ГСПА), у которых сжатый воздух заменен пресной водой;
- в 1988 г. Пролетарским заводом изготовлены и в ЛВВМИУ имени В.И. Ленина испытаны безрасходные низкочастотные металлопневматические амортизаторы (тип АМП), представленные на рис. 1.

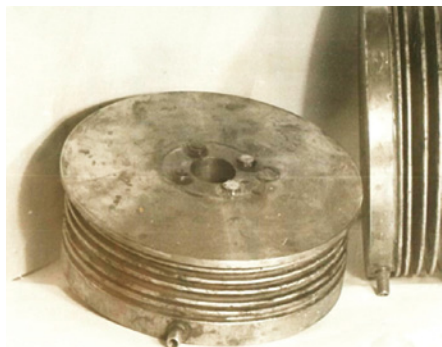


Рис. 1. Металлопневматические амортизаторы (тип АМП)

Эти амортизаторы в июле–августе 1989 г. были установлены под электропреобразователь АПО-8/50М 4-го отсека и на насос гидравлики ЭМН-1,25/100 7-го отсека дизельной подводной лодки (ДПЛ) пр. 613 КЧФ, где проходили опытную эксплуатацию [24]. Выбор этих механизмов был обоснован анализом портретов первичного гидроакустического поля ПЛ, полученных по результатам гидроакустических измерений, проведенных специалистами КИМС в/ч 90073 КЧФ за несколько последних до испытаний лет, и тем, что эти механизмы постоянно работали на малощумных режимах движения ДПЛ. Анализ портретов показал, что насос гидравлики и электропреобразователь создают характерные дискретные составляющие в спектре первичного гидроакустического поля ДПЛ.

Для определения акустических характеристик АМП была разработана и утверждена командиром в/ч 27201 КЧФ программа, предусматривающая выполнение комплекса измерений в соответствии с правилами [25, 26]. Виброакустические измерения проведены личным составом этой части по стандартной методике. Акустические измерения первичного гидроакустического поля ДПЛ проведены личным составом судна физических полей ГКС-17 пр. 513 КЧФ (при стоянке ПЛ) и полигона боевой подготовки ПБП-В КЧФ (на ходу ПЛ). Измерения проводились по стандартным методикам в соответствии с требованиями руководящих документов ВМФ СССР.

На основе оценки и анализа результатов виброакустических измерений были сделаны следующие выводы:

1. АМП, входящие в состав амортизирующего крепления машинного агрегата электропреобразователя АПО-8/50М ДПЛ, снижали уровни вибрации от машинного агрегата на настиле аккумуляторной ямы 4-го отсека на оборотной частоте вращения агрегата 50 Гц на 35–45 дБ и на 10–50 дБ в диапазоне частот до 20 кГц.

2. Выигрыш по гашению вибрации от машинного агрегата АПО-8/50М в сравнении со штатными резинометаллическими амортизаторами типа АКСС-И у АМП составлял 28 дБ (в 25 раз) на оборотной частоте вращения машинного агрегата 50 Гц и до 10–50 дБ в диапазоне частот до 10 кГц.

3. АМП, входящие в состав амортизирующего крепления насоса гидравлики ПЛ, снижали уровни вибрации от насоса гидравлики на прочном корпусе ПЛ на оборотной частоте вращения электропривода насоса гидравлики 46,25 Гц на 22 дБ и до 40 дБ в диапазоне частот до 20 кГц.

4. Выигрыш по гашению вибрации от насоса гидравлики в сравнении со штатными резинометаллическими амортизаторами типа АКСС-И у АМП составляет 22 дБ (в 13 раз) на оборотной частоте вращения 46,25 Гц, 18 дБ (в 7 раз) для второй гармоники на частоте 92 Гц и 6–8 дБ (в 2–3 раза) в диапазоне частот до 10 кГц.

На основе оценки и анализа результатов акустических измерений были сделаны следующие выводы:

1. АМП, включенные в состав амортизирующих креплений электропреобразователя АПО-8/50М и насоса гидравлики ЭМН-1,25/100 при стоянке ДПЛ снижали дискретные составляющие первичного гидроакустического поля ДПЛ от этих механизмов до уровня фона.

2. На ходовых режимах измерений уменьшение уровней подводного шума на оборотных частотах амортизируемого энергетического оборудования в сравнении с амортизаторами АКСС-И у АМП составило 10–15 дБ (в 4–6 раз).

Результаты испытаний были доложены командующему КЧФ и Главнокомандующему ВМФ СССР, рассмотрены членами межведомственной экспертной комиссии, назначенной приказом командира в/ч 27177 по приказанию первого заместителя ГК ВМФ СССР. В заключении комиссии подтверждена достоверность результатов испытаний и указано на необходимость продолжения работ в данном направлении.

Первый этап работ по созданию АМП был выполнен СКТБ «Компенсатор» по договору № 445/600 от 11.01.90 г. совместно с СПМБМ «Малахит». В соответствии с техническим заданием № 162-65-169-90 на разработку АМП СПМБМ «Малахит», ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова, в/ч 27177 и ВВМИУ им. В.И. Ленина рассмотрели результаты 1-го этапа работы, выполненной СКТБ «Компенсатор». В результате рассмотрения материалов, представленных СКТБ «Компенсатор» (протоколы испытаний № 600/52-325, 600/52-46, 600/52-324), с учетом требований технического задания и согласованной программы испытаний макетных образцов амортизаторов АМП было принято положительное решение о целесообразности продолжения дальнейших работ по данному техзаданию, уточненному протоколом дополнительного согласования [27].

В соответствии с директивой ГК ВМФ № ДФ-054 от 09.08.1990 г. макетные образцы АМП были представлены начальнику центра оперативно-тактических исследований ГШ ВМФ СССР для демонстрации на выставке всеармейской научно-технической конференции, где получили одобрение. Но это были уже «лихие» 90-е...

В период с 1975 по 1992 г. были проведены неоднократные сравнительные лабораторные и натурные испытания амортизаторов совместно с серийно изготовляемыми корабельными резинометаллическими и резинокордными амортизаторами различных типов. В результате испытаний было установлено следующее:

1. Акустические характеристики амортизаторов в диапазоне низких частот почти не зависят от вида их конструкций, а определяются в основном частотой свободных колебаний в направлении, перпендикулярном опорной поверхности. В более высоком диапазоне частот строгих закономерностей установить не удалось. Тем не менее полученные результаты позволяют считать, что и в этих диапазонах частот акустическая эффективность в значительной мере определяется частотой свободных колебаний амортизаторов.

2. Для работы большинства испытанных конструкций газостатических и гидростатических амортизаторов требуется постоянный расход сжатого воздуха или пресной воды, а также установка систем для подвода и отвода этих сред.

3. Наличие у газостатических и гидростатических амортизаторов (с расходом рабочего тела) тонкой металлической мембраны в месте соприкосновения корпуса амортизатора с опорной плитой уменьшает их прочность и долговечность при ударных нагрузках корабля.

4. Ожидавшаяся способность газостатических и гидростатических амортизаторов (в том числе при наличии системы регулирования типа ПРА) сохранять неизменным положение амортизируемого механизма относительно фундамента при испытании на стенде, имитирующем качку корабля, не выявлена.

5. На основании обобщения результатов испытаний серии газогидростатических амортизаторов и выявления характерных для них недостатков, не позволяющих их широкое использование на кораблях ВМФ, предложена конструкция низкочастотного безрасходного металлопневматического амортизатора (тип АМП), не имеющего недостатков указанных амортизаторов.

6. В ходе проведения лабораторных и натурных (на ДПЛ) испытаний АМП определен недостаток, заключающийся в низкой эффективности защиты от ударных воздействий амортизируемого энергетического оборудования.

7. В ходе дальнейших разработок предложена новая конструкция металлопневматического амортизатора (тип АМПА), устраняющая один из недостатков АМП. Новизна конструкции подтверждена авторским свидетельством на изобретение [27].

На рис. 2 представлена конструкция АМПА с пневмодемпфирующей камерой. Амортизатор содержит упругую оболочку 1, изготовленную путем штамповки мембран из листового металла с последующей их сваркой по внутреннему и наружному контурам, соединенную с крышкой 2, в которую вмонтирован предохранительный воздушный клапан 21, отрегулированный на величину давления рабочего тела (воздуха), меньшую величины давления, при котором происходит разрушение упругой оболочки. Снизу упругая оболочка соединена с основанием 3, разделенным перегородкой 4, которая отделяет внутреннюю полость АМПА на две полости: рабочую 5 и демпферную 6. Эти полости имеют отверстия со штуцерами 7 и 8, выполненными в основании для подвода сжатого рабочего тела от системы сжатого воздуха или от газогенератора. Величина давления рабочего тела в рабочей полости 5 – варьируемый параметр, обеспечивающий эффективность виброизоляции. Величина давления рабочего тела в демпферной полости 6 превышает величину давления в рабочей полости 5, но не превышает величину давления, при котором происходит разрушение упругой оболочки.

Роль ограничителя горизонтальных перемещений установленного на АМПА механизма, а также роль демпфера при ударном воздействии выполняет тарельчатая пружина 9, которая размещена в рабочей полости. Она жестко соединена со вставкой 10, вмонтированной в крышку 2 АМПА.

Полости АМПА сообщаются через демпферный узел, состоящий из клапана 11, подпружиненного винтовой пружиной 12 и проходящего через установленную в перегородке 4 втулку 13, и отверстий 16, расположенных от центра перегородки на расстоянии, не превышающем радиуса тарелки 14 клапана 11 с резиновой уплотнительной прокладкой 15, вмонтированной в тарелку клапана 11.

К несущей конструкции 17 АМПА крепится жестко посредством винтов 18.

АМПА крепится к механизму с целью снижения собственной частоты колебаний АМПА и изгиба упругой оболочки посредством крепежного винта 19 через винтовую пружину 20.

АМПА работает следующим образом: так как амортизатор жестко соединен с несущей конструкцией, то вся энергия,

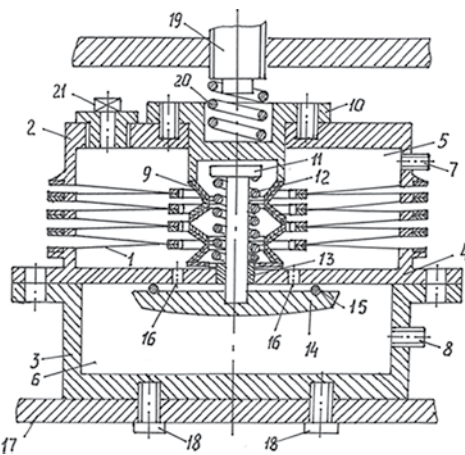


Рис. 2. Конструкция металлопневматического амортизатора (тип АМПА)

полученная несущей конструкцией, передается на основание АМПА. При этом АМПА перемещается в сторону установленного на нем механизма. Это перемещение вызывает сжатие упругой оболочки, которое вызывает изменение ее эффективной площади и давления рабочего тела внутри упругой оболочки. В результате этого часть энергии ударного воздействия рассеивается. Дальнейшее рассеивание энергии ударного воздействия происходит при сжатии пружин 20 и 9. Величина рассеянной энергии удара в этом случае будет зависеть от жесткостных характеристик пружин. В процессе сжатия пружин 20 и 9 наступает момент, когда под воздействием вставки 10 шток клапана 11, подпружиненный пружиной 12, начинает опускаться и воздух из демпферной полости устремляется в рабочую полость. В результате этого давление в рабочей полости возрастает, что также оказывает влияние на дальнейшую диссипацию энергии ударного воздействия.

При отсутствии энергии ударного воздействия и наличии энергии вибрационного воздействия АМПА выполняет роль виброизолятора за счет образования пневматической подушки при заполнении рабочей полости АМПА сжатым рабочим телом. При ударном воздействии на АМПА его силовая характеристика будет иметь вид

$$P = c_1 \times z + c_3 \times z^3 + P_{np},$$

где $P_{np} = c_i \times z_i + P_0$ – силовые характеристики упругих пружинных элементов, входящих в конструкцию предлагаемого АМПА.

Для продолжения работ в этом направлении в ноябре 2021 г. в инициативном порядке кафедрой техники и технологий ко-

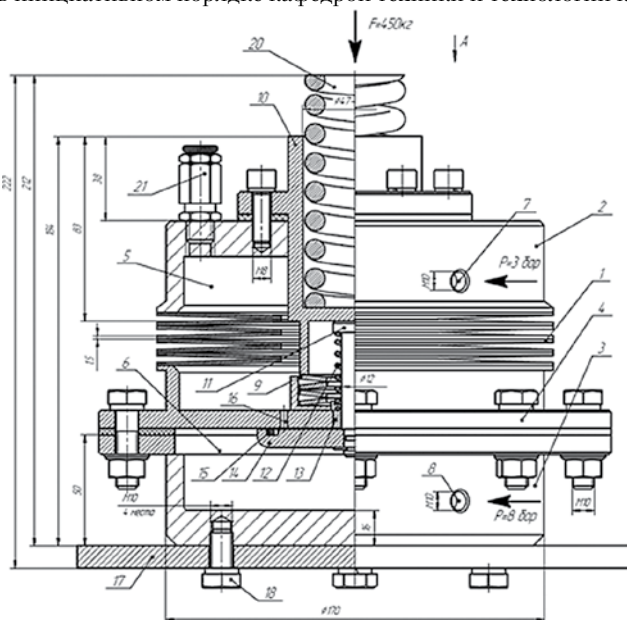


Рис. 3. Рабочий чертеж АМПА

раблестроения и водного транспорта ФГУП «Крыловский государственный научный центр» были разработаны рабочие чертежи АМПА, рассчитанные на номинальные нагрузки 450, 680 и 800 кг. На рис. 3. представлен рабочий чертеж АМПА, рассчитанного на номинальную нагрузку 450 кг, с указанием основных размеров. Позиции рис. 3 соответствуют позициям рис. 2.

По этому чертежу в феврале 2022 г. были изготовлены шесть экземпляров опытных образцов АМПА, представленных на рис. 4.

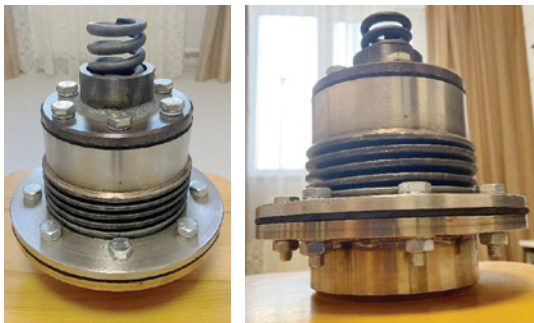


Рис. 4. Опытные образцы АМПА

За этот период опытные образцы АМПА прошли следующие испытания по определению:

- входного и передаточного механических сопротивлений, динамической жесткости в направлениях осей X (Y) и Z ;
- статических характеристик;
- вибрационной жесткости на резонансной частоте;
- прочностных статических характеристик и др.

Результаты испытаний подтверждены протоколами и относятся только к испытанным конструкциям.

Учитывая то, что протокол не может быть полностью или частично воспроизведен без разрешения испытательной организации, хочется обратить внимание на то, что опытные образцы АМПА обладают значительно рациональными акустическими характеристиками по сравнению с существующими амортизаторами. Например, из расчетов видно, что средняя частота свободных колебаний АМПА составляет 4,6 Гц, а динамическая жесткость – $3,9 \cdot 10^5$ Н/м.

ВЫВОДЫ

Анализ более чем 50-летней разработки и исследований характеристик газогидростатических и металлопневматических амортизаторов для энергетического оборудования кораблей ВМФ показал, что металлопневматические амортизаторы являются эффективными и перспективными для использования энергетического оборудования кораблей ВМФ. Особенно это относится к амортизаторам типа АМПА.

Естественно, не исключен поиск новых технических решений таких конструкций и создание новых амортизирующих креплений к фундаментам энергетического оборудования и корпусным конструкциям. Безусловно, для изготовления подобных конструкций амортизаторов потребуются разработка соответствующей технологии производства и дальнейшая модернизация конструкций АМПА.

Решение этих задач невозможно без дальнейшего планирования процесса разработки и исследования АМПА, оперативного управления этим процессом, соответствующего финансирования и участия в нем специалистов управления кораблестроения главного командования военно-морского флота, исследовательских, проектных и промышленных предприятий России.

ЛИТЕРАТУРА

1. Альбом разрешенных к применению амортизирующих конструкций (РН-80)/ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова, 035–76.059.
2. Горелик А.М., Певзнер Я.М. Пневматические и гидропневматические подвески. – М.: Машиностроение, 1965.

3. Равкин Г.О. Пневматическая подвеска автомобиля. – М.: Машгиз, 1962.
4. Ребиков Д.И. Амортизатор. Патент Франции № 1.269.159. Опубликовано 03.07. 1961.
5. Амортизаторы пневматические резинокордные типа АПРК. – Инструкция по применению на судах/ ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова. – 1975. – Вып. № 17067.
6. Амортизатор пневматический резинокордный с закладным резино-металлическим упором типа АПРК. – Инструкция по применению/ ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова. – 1975. – Вып. № 17069.
7. Материалы МВИ амортизаторов АПРК-350 с оболочкой РКО-350-100 модели Н-21М/ п/я М-5717. – Калуга, 1976.
8. Разработка упругой подвески роторов применительно к узлам двигателя ДК 71 и корпуса двигателя ДК 71. – Техн.отчет ОТ-225.00.156-77/п/я А-1469. – Николаев, 1977.
9. Создание макетных образцов высоко эффективных газостатических амортизаторов (ГСА) и разработка рекомендаций по использованию ГСА. – Отчет в/ч 27177. – Л., 1978.
10. Князев О.В. Исследование статических и динамических характеристик газостатических амортизаторов в амортизирующих креплениях механизмов подводных лодок. – Дисс. на соискание уч. степени канд. техн.наук. – Л., в/ч 27177,1978.
11. Стародумов В.К. Исследование эксплуатационных характеристик газостатических амортизаторов корабельных механизмов и обоснование методов их совершенствования. – Дисс. на соискание уч. степени канд. техн. наук. – Л.: ЛВВМИУ им. В.И. Ленина, 1979.
12. Амортизатор пневматический резинокордный с закладным резино-металлическим упором типа АПРК. Инструкция по применению. ЦНИИ им. академика А.Н. Крылова. – Вып. № 17069, 1975.
13. Lidsey W.H. The marine gasturbine. – Proceeding Diamand Jubille International Meeting (SNAME), 1969.
14. Леви, Курзан. Аэростатический подпятник с гибкой мембраной. – В сб. трудов американского общества инженеров – механиков //Проблемы трения и смазки. – 1968. – № 3.
15. Шейнберг С.А., Жердь В.П., Шишеев М.Д. Опоры скольжения с газовой смазкой. – М.: Машиностроение, 1969.
16. Беляковский Н.Г. Конструктивная амортизация механизмов, приборов и аппаратуры на судах. – Л.: Судостроение, 1975.
17. Медведев В.В. Исследование методов снижения вибраций и улучшения эксплуатационных характеристик корабельных компрессорных машин. – Дисс. на соискание уч. степени канд. техн. наук.– Л.: ЛВВМИУ им. В.И. Ленина, 1978.
18. Лохматов А.А. Исследование и методы решения инженерных задач газовой смазки опор корабельных турбомашин и механизмов. – Диссертация на соискание уч. степени д-ра техн. наук. – Л.: ЛВВМИУ им. В.И. Ленина, 1975.
19. Князев В.С., Лохматов А.А. Газостатическая система амортизации корабельных механизмов и агрегатов (предварительные требования и результаты испытаний). – Отчет в/ч 27177 и ЛВВМИУ им. В.И. Ленина. – Л.,1974.
20. Лохматов А.А., Князев В.С., Васильев Б.В., Медведев В.В. и др. Амортизатор. Авт. св. на изобретение. СССР. № 116456, 23.07.1973.
21. Викторов Б.Г., Князев В.С., Лохматов А.А. Виброакустические испытания опытной машины ГТУ-6А на ГСА. – Отчет предприятия п/я М-5880. – Л., 1975.
22. Туркин И.И., Медведев В.В., Шуганов О.Ю. Результаты опытной эксплуатации газотурбогенераторов ГТГ-1250-1 на газостатических амортизаторах. – Межвуз. НТС «Повышение эффективности эксплуатации КЭУ». – Л.: ЛВВМИУ им. В.И. Ленина, 1992. – Вып. 5.
23. Андришин Н.В. Оценка виброакустических характеристик безрасходных низкочастотных металлопневматических амортизаторов в амортизирующих креплениях механизмов ПЛ. – Диссертация на соискание уч. степени канд.техн. наук. – СПб.: ВВМИУ им. В.И. Ленина, 1994.
24. Ключин И.И., Колесников А.Е. Акустические измерения в судостроении. – Л.: Судостроение, 1982.
25. Методика контроля и нормирования виброшумовых характеристик судовых машин, оборудования и арматуры на заводских стендах (МКШС-81). – ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова, арх. Л-61634 С, 1985.
26. Заключение СПМБМ «Малахит», ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова, в/ч 27177 и ВВМИУ им. В.И. Ленина по результатам выполнения 1-го этапа ОКР по созданию металлопневматических амортизаторов (тип АМП). – СПб., 1992.
27. Пневматический упругий элемент/ Авт. св. на изобретение. СССР. № 1747766 А1. 21.10.1992. ■

Как отмечалось в [1–2], существенную значимость в обеспечении надежности пропульсивных комплексов судов имеют судовые валопроводы, в связи с чем задачам их диагностирования уделяется особое внимание. Авторами данной статьи в их публикации [3] предложены концептуальные решения по структурно-функциональному проектированию автономного робототехнического комплекса, выполняющего дефектоскопическую диагностику внутренней поверхности судовых валопроводов, спорадически чередующих режим вращения на различных скоростях в различных направлениях с режимом останова. В данной статье рассматривается вариант технической реализации такого комплекса [4].

КОНСТРУКЦИЯ РОБОТОТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

Схема конструкции комплекса, состоящего из двух частей – основной и вспомогательной – показана на рис. 1, где принята следующая цветовая нотация подсистем: синим цветом отмечены узлы обеспечения функций перемещения, красным – узлы обеспечения функций торможения, зеленым – узлы обеспечения функций электропитания, фиолетовым – узлы обеспечения функций сбора, обработки и передачи информации.

На рис. 2, а и 2, б соответственно показаны 3D-модели колесной опоры и тормозной колодки.

Соединение основной и вспомогательной частей обеспечивается рамной конструкцией, оснащенной направляющими осями с линейными подшипниковыми узлами, позволяющими обеспечить точное угловое взаиморасположение обеих частей и минимизировать трение при перемещениях в осевом направлении (рис. 3).

Резьбовая втулка РВ приводится во вращение посредством сервомашини СМх с понижающей зубчатой передачей, исполненной в прямозубом варианте. Ведущее зубчатое колесо устанавливается на вал СМх посредством жесткой муфты. Ведомое колесо устанавливается на резьбовую втулку после установки оси в раму через подшипник, вращение колеса на оси ограничивается лысками на ее поверхности.

Внешний вид варианта технической реализации робототехнического комплекса проиллюстрирован рис. 4.

СХЕМОТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РОБОТОТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

Структурно-функциональная схема встраиваемой аппаратуры комплекса показана на рис. 5.

РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС СРЕДСТВ ДИАГНОСТИКИ ВНУТРЕННЕЙ ПОВЕРХНОСТИ СУДОВЫХ ВАЛОПРОВОДОВ

А.Е. Васильев, д-р техн. наук, зав. кафедрой ТСМ,
А.В. Вегнер, ст. преподаватель,
Д.Е. Голубева, ст. преподаватель,
В.А. Карпенко, ст. преподаватель,
В.Д. Ковалев, ассистент,
 СПбГМТУ,
 контакт. тел. (812) 713 8405

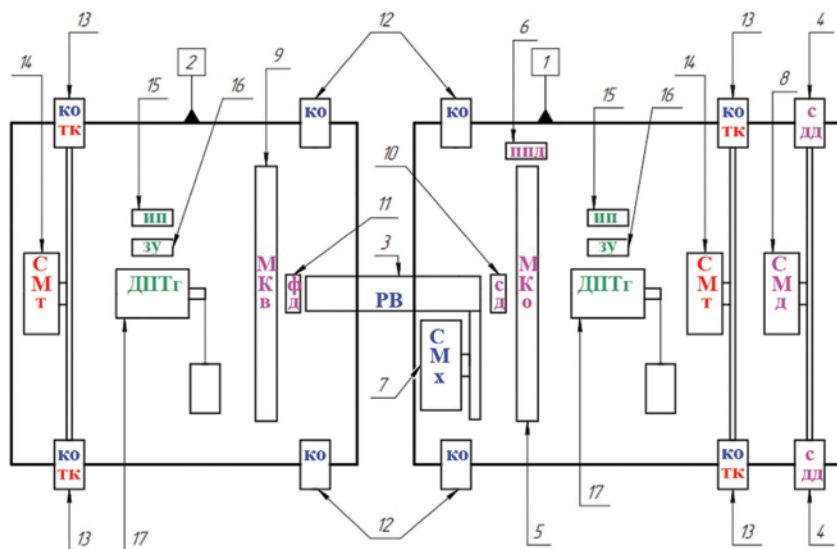


Рис. 1. Схема конструкции робототехнического диагностического комплекса 1 – основная часть, 2 – вспомогательная часть, 3 – резьбовая втулка (РВ), 4 – система диагностических датчиков (СДД), 5 – микроконтроллер основной (МКо), 6 – приемопередатчик данных (ППД), 7 – сервомашини ходовая (СМх) с зубчатой передачей, 8 – сервомашини блока датчиков (СМд), 9 – микроконтроллер вспомогательный (МКв), 10 – светодиод (СД), 11 – фотодиод (ФД), 12 – колесные опоры (КО), 13 – колесные опоры с тормозными колодками (КОТК), 14 – сервомашини тормозящая (СМт), 15 – источник питания (ИП), 16 – зарядное устройство (ЗУ), 17 – двигатель постоянного тока, включенный в режиме электрогенератора (ДПТг), с закрепленным на валу подвесом с грузом

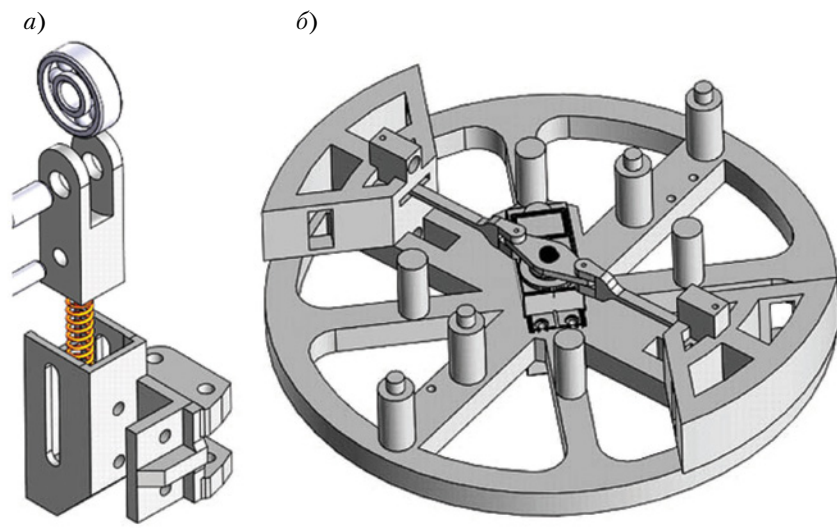


Рис. 2. 3D-модели колесной опоры (а) и тормозных колодок с тормозящей сервомашини (б)

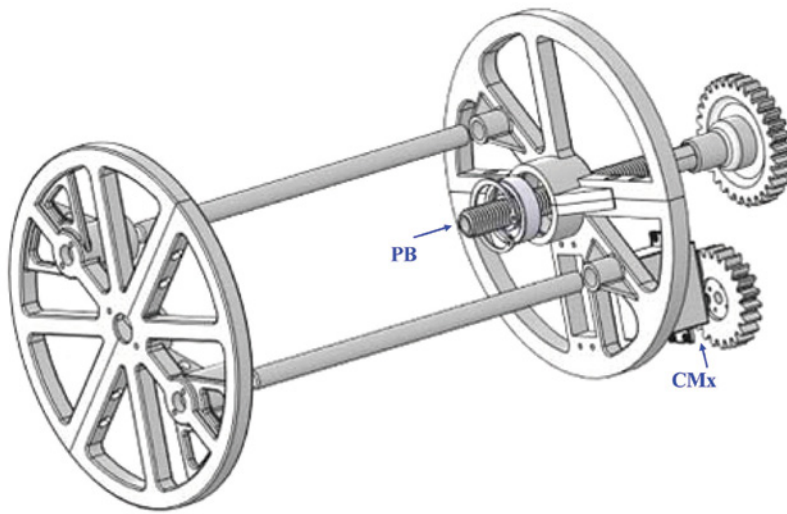


Рис. 3. 3D-модель соединения основной и вспомогательной частей

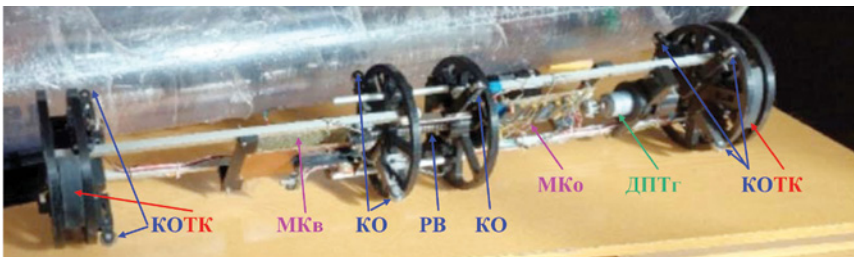


Рис. 4. Внешний вид варианта исполнения робототехнического комплекса

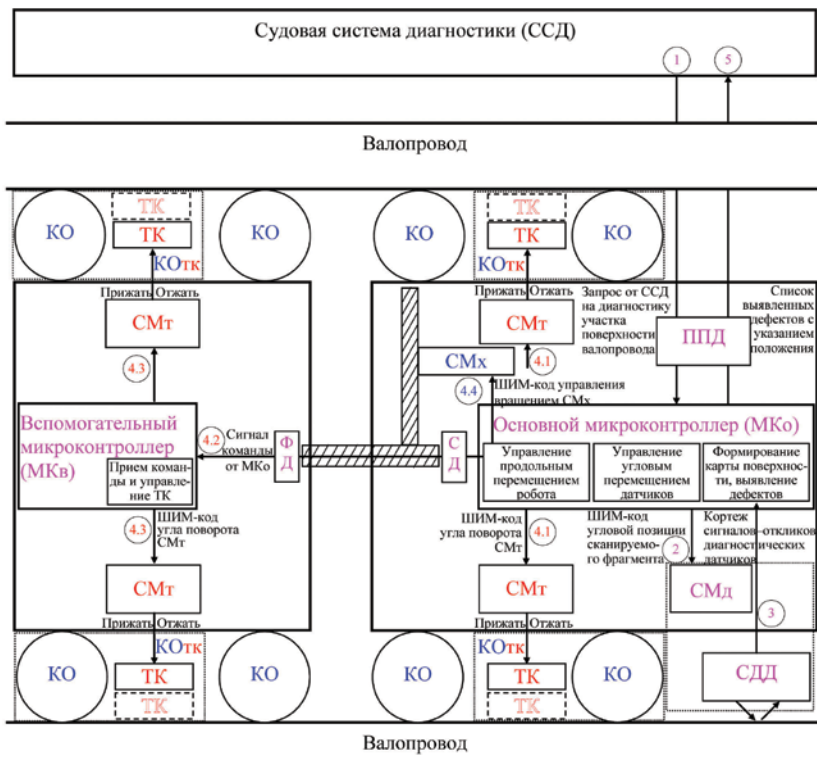


Рис. 5. Схема встраиваемой аппаратуры робототехнического комплекса

Основной микроконтроллер посредством приемопередатчика данных приняв от иерархической вышерасположенной судовой системы диагностики запрос (на рис. 5 данная стадия работы аппаратуры отмечена номером 1)

на сканирование и обработку участка заданной протяженности поверхности валопровода, позиционирует сервомашину блока диагностических датчиков в очередное угловое положение (стадия 2 на рис. 5), после чего фиксирует пос-

топающие с системы диагностических датчиков сигналы-отклики сканирования элементарного участка поверхности валопровода (стадия 3). По окончании полного оборота СМд в памяти основного микроконтроллера будет зарегистрирована карта поверхности кольцевого фрагмента валопровода.

Далее МКО управляет тормозными колодками основной части (стадия 4.1) и передает по каналу «светодиод-фотодиод» команду вспомогательному микроконтроллеру (стадия 4.2), что обеспечивает управление тормозными колодками вспомогательной части (стадия 4.3). В результате в зависимости от необходимого направления движения одна из частей оказывается застопоренной своими тормозными колодками, а вторая – разблокированной, после чего МКО приводит в движение ходовую сервомашину (стадия 4.4), которая вращает резьбовую втулку, соединяющую основную и вспомогательную части (одна из которых застопорена, а вторая – свободна). Таким образом, в зависимости от заданного МКО направления вращения вала СМх происходит либо взаимное сближение основной и вспомогательной частей, либо их взаимное отдаление, т. е. перемещение устройства относительно диагностируемой поверхности. Далее вновь происходит сканирование очередного кольцевого фрагмента, пополнение карты поверхности и перемещение комплекса.

По окончании продвижения робототехнического комплекса на всю заданную величину сканируемого продольного участка осуществляются поиск дефектов на собранной карте и передача информации о них на ССД (стадия 5 на рис. 5).

В качестве элементной базы в описываемом прототипе применены микроконтроллеры Infineon [5], сервомашины Parallax и Hitec, приемопередатчик данных Ixhop.

АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РОБОТОТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

Алгоритмическое обеспечение комплекса включает в свой состав алгоритмическое обеспечение основного и вспомогательного контроллеров; соответствующие графовые модели представлены на рис. 6.

Программная система основного микроконтроллера обеспечивает прием команды на диагностирование, выполняет сканирование кольцевых участков трубопровода посредством выдачи сигналов на сервомашину блока диагностических датчиков и приема сигналов датчиков, а также выполняет управление линейным перемещением робототехнического комплекса путем согласованного управления сервомашинами

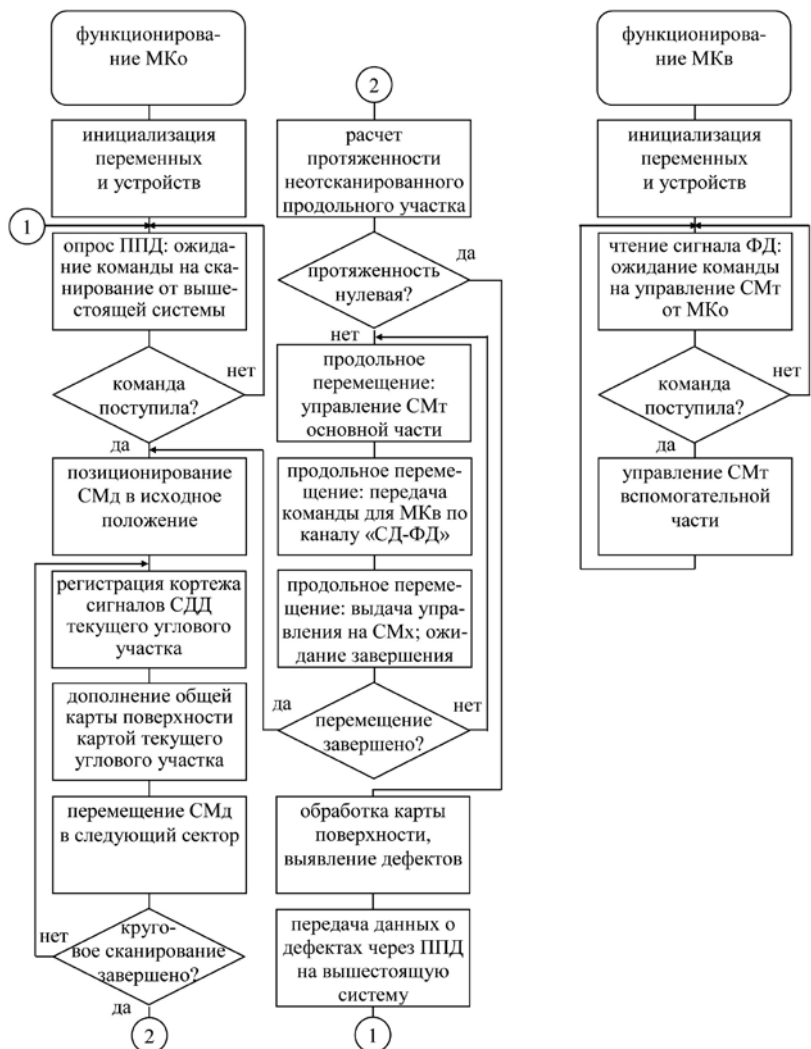


Рис. 6. Графовые модели алгоритмов функционирования микроконтроллеров: основного (а) и вспомогательного (б)

тормозных колодок основной и вспомогательной части и ходовой сервомашинной основной части.

Отметим, что в состав системы датчиков, сканирующих поверхность валопровода, могут входить ультразвуковые, оптические, контактные и прочие датчики, выполняющие дефектоскопическую диагностику. Программные средства МКо обеспечивают агрегацию информации, поступающей от системы диагностических датчиков различной природы, совмещение фрагментов сканируемых областей в единую карту, что повышает достоверность обнаружения дефектов поверхности, выполнение анализа карты для поиска дефектных участков и передачу информации о зонах расположения дефектов иерархически вышерасположенным системам мониторинга состояния судового оборудования.

Программная система вспомогательного микроконтроллера обеспечивает

прием команды МКо на управление тормозящей машиной вспомогательной части.

Согласованная последовательность действий основного и вспомогательно микроконтроллеров по управлению ходовой и тормозными сервомашинными позволяет осуществлять продольное перемещение робототехнического комплекса на задаваемый при настройке комплекса шаг перемещения. Эта последовательность действий включает пять стадий:

1. МКо передает МКв команду разблокировать тормозные колодки вспомогательной части. В результате основная часть остается застопоренной, вспомогательная – свободна.

2. МКо, управляя ходовой сервомашинной СМх, поворачивает резьбовую втулку РВ на заданное количество оборотов в заданном направлении, тем самым смещая корпус вспомога-

тельной части вдоль корпуса валопровода на необходимую дистанцию.

3. МКо освобождает тормозные колодки основной части и передает МКв команду заблокировать тормозные колодки вспомогательной части. В результате вспомогательная часть заблокирована, основная – свободна.

4. МКо, управляя СМх, обеспечивает поворот РВ на заданное количество оборотов в направлении, противоположном заданному в п. 2, тем самым смещая корпус основной части вдоль корпуса валопровода на необходимую дистанцию.

5. МКо стопорит тормозные колодки основной части. В результате механическая система робототехнического комплекса приведена в исходное состояние.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предлагаемый авторами вариант технической реализации робототехнического комплекса средств дефектоскопической диагностики внутренней поверхности судовых валопроводов дополняет существующие подходы к обеспечению надежности судовых валопроводов и пропульсивных комплексов в целом. Комплектование робототехнического устройства электрогенератором с закрепленным на его валу подвесом с грузом, зарядным устройством и заряжаемым источником питания позволяет преобразовывать механическую энергию вращения валопровода в электрическую энергию и накапливать ее, что обеспечивает энергонезависимость устройства и открывает возможность непрерывной диагностики.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кушнер Г.А., Мамонтов В.А., Волков Д.А. Анализ причин повреждений и отказов судовых валопроводов // Вестник Астраханского ГТУ – Сер: Морская техника и технология. – 2021. – № 3. – С. 3339.
2. Худяков С.А., Пальчик К.Б., Сюсюка Е.Н. Анализ дефектов валопроводов морских судов и методы их устранения // Эксплуатация морского транспорта. – 2019. – № 2 (91). – С. 89–92.
3. Прикладные аспекты разработки средств диагностики внутренней поверхности судовых валопроводов / Васильев А.Е., Везнер А.В., Голубева Д.Е., Карпенко В.А., Ковалев В.Д. // Морской вестник. – 2023. – № 3 (87). – С. 64–65.
4. Устройство для диагностики внутренней поверхности вращающихся трубопроводов / Васильев А.Е., Везнер А.В., Голубева Д.Е., Карпенко В.А., Ковалев В.Д. // Заявка на изобретение RU 2024112137 от 03.05.2024.
5. Васильев А.Е. Встраиваемые системы автоматики и вычислительной техники. Микроконтроллеры. – М.: Горячая линия – Телеком, 2018. – 590 с. ■

Условия боевого использования надводных кораблей (НК) и неатомных подводных лодок (НАПЛ) в современных условиях, с одной стороны, требуют обеспечения максимальной возможности применения имеющегося корабельного состава, с другой – диктуют необходимость сбережения ресурса технических средств и экономии горючих и смазочных материалов (ГСМ).

Зачастую техническая аварийность в ВМФ является следствием не только объективных факторов (старение корпусов кораблей, износ материальной части, превышение межремонтных и междоковых сроков), но и низкого уровня специальной подготовки личного состава.

Техническое диагностирование энергетической установки позволяет определять оптимальные сроки проведения технического обслуживания и ремонта в соответствии с фактическим состоянием технических средств и с учетом директивных ограничений, которые определяются нормами эксплуатации и ремонта подводных лодок, надводных кораблей и судов ВМФ. Данные как отечественных, так и зарубежных источников показывают, что если принять затраты на эксплуатацию в случае стратегии обслуживания по регламенту за 100%, то затраты на обслуживание при отказах будут составлять 130%, а по состоянию – 70% [6].

Имеющиеся на кораблях встроенные средства контроля технического состояния энергетического оборудования в большей степени направлены на предупреждение аварийных ситуаций и в меньшей на их диагностирование. Для проведения углубленного технического диагностирования на борту НК и НАПЛ целесообразно использовать переносные диагностические комплексы, построенные в соответствии с утвержденной методикой определения технического состояния, имеющие в своем составе необходимые измерительные приборы, датчики и программный комплекс для обработки собираемых данных. Программный комплекс должен иметь в своем составе базу данных для хранения диагностических параметров и базу знаний – аналитическую систему для определения текущего технического состояния и его прогноза. Собранные данные в дальнейшем позволяют обобщить опыт эксплуатации корабля и могут быть использованы для совершенствования аналитической системы с помощью методов анализа данных и машинного обучения.

Работы над созданием подобных программно-аппаратных комплексов проводились в Центральном научно-исследовательском и проектно-конструкторском институте морского

ПРИМЕНЕНИЕ ПЕРЕНОСНЫХ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ ДЛЯ ОБЪЕКТИВНОЙ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СУДОВОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

В.А. Одинаев, д-р техн. наук, гл. специалист по электроэнергетике
АО «ИК «НЕОТЕК МАРИН»,

И.И. Шигапов, канд. техн. наук,
начальник Управления кораблестроения ВМФ РФ,

В.А. Долгов, канд. техн. наук, гл. инженер,

К.Г. Саськов, зам. гл. инженера,
АО «ИК «НЕОТЕК МАРИН»,
контакт. тел. +7 (931) 290 9811

флота (ЦНИИМФ) под общим руководством Г.Ш. Розенберга [6]. В рамках этих работ была обоснована необходимость комплексного подхода к методике диагностики технического состояния -- представления энергетического оборудования как взаимосвязанного комплекса. В ЦНИИМФ была создана экспертная система «Вещун», реализующая данный подход на уровне программного обеспечения. Развитием этой системы является переносной диагностический комплекс (ПДК), который с 2005 г. успешно применяется на дизель-электрических ПЛ пр. 677 («Санкт-Петербург», «Кронштадт», «Великие Луки»), созданный творческим коллективом под руководством П.М. Гацака [7]. Помимо научного задела в ЦНИИМФ при реализации ПДК использовали научные результаты, достигнутые при техническом диагностировании морской техники и опубликованные в работах Г.Ш. Розенберга, П.М. Гацака, В.В. Рыбалко, Ю.Н. Мясникова, В.М. Темнова, Н.Н. Попова и многих других [1, 2, 6, 7, 15].

В настоящее время появляются новые методы диагностики сложного оборудования, основанные на применении систем искусственного интеллекта [8]. Прогресс в развитии методов машинного обучения, в частности, технологий искусственных нейронных сетей достиг в настоящее время уровня, когда аппаратно-программный комплекс практически полностью может заменить интеллектуальную деятельность человека. Основной проблемой использования методов искусственного интеллекта является необходимость наличия выборок данных достаточных объемов [9]. Сегодня в состав цифровой платформы «НЕО ПЛАТФОРМА» интегрируется модуль прогноза, использующий технологию искусственных нейронных сетей [14]. Для использования методов ин-

теллектуального анализа данных (Data Mining) в ПДК аккумулируются комплексные диагностические данные в привязке к эксплуатации энергетического оборудования и методам определения технического состояния (ТС), основанным на экспертных правилах. В дальнейшем анализ накопленных массивов данных позволит использовать методы машинного обучения, что существенно повысит возможности интеллектуальных алгоритмов комплекса.

В рамках разработки ПДК была создана, утверждена и используется методика диагностирования корабельного ДГ 28ДГ.

Процесс технического диагностирования делится на следующие этапы:

- сбор диагностических параметров и их первичная обработка;
- математическое моделирование объекта на основе собранных параметров;
- оценка технического состояния объекта;
- прогнозирование технического состояния объекта;
- формирование цифрового технического портрета объекта;
- выдача рекомендаций по эксплуатации объекта и необходимости проведения технического обслуживания и ремонта (ТО и Р).

Структурная схема методики представлена на рис. 1.

Собираемые параметры делятся на три группы:

- параметры рабочего режима объекта;
- параметры технического состояния объекта;
- параметры внешних условий (ВУ).

Сбор параметров проводится либо на основе показаний штатных приборов, либо с помощью диагностических приборов, датчиков и индикаторов, входящих в состав ПДК.



Рис. 1. Схема методики диагностирования

Сбор параметров осуществляется с заданными в системе маршрутами.

На основе собранных данных с помощью математической модели ДГ рассчитываются «эталонные» параметры, которые соответствуют работе исправного ДГ с учетом режима работы, влияния внешних условий, регулировки и технического состояния объекта.

Комплексная математическая модель ДГ представляется в виде комбинации математических моделей дизеля 8СН26/26 и синхронного генератора СБГД-12-1000 с установочным оборудованием.

Разработанная математическая модель ДГ позволяет на первом этапе (прямая задача диагностирования) выполнять оценку и категорирование ТС на основе анализа отклонений фактических значений диагностических параметров от «эталонных», приведенных к текущим параметрам режима и внешним условиям. На втором этапе (обратная задача) выполняется количественная оценка ТС дизель-генератора и его элементов и моделирование возможных неисправностей объекта диагностирования с целью последующего сравнения с собранными параметрами ТС и определения возможных причин отклонения от режима нормального функционирования.

На этапе определения ТС ДГ собранные параметры технического состояния и параметры, рассчитанные в результате моделирования, передаются в диагностическую систему.

Оценка ТС проводится интегрированной в ПДК экспертной системой, определяющей диагностические признаки неисправности на основе заложенных в систему правил с использованием следующих методов:

- оценка параметров ТС на соответствие нормам, установленным предприятием-изготовителем и нормативными документами;

- оценка степени отклонения наблюдаемых параметров ТС от параметров, рассчитанных с помощью математической модели (эталонного ДГ);
- анализ трендов, расчет коэффициента развития неисправностей.

В соответствии с рекомендациями Морского Регистра по комплексной оценке фактического ТС судна (САР) [НД № 2-039901-006] и методикой ЦНИИМФ для каждого из диагностируемых элементов определяется ТС (табл. 1).

- оценка степени отклонения наблюдаемых параметров ТС от параметров, рассчитанных с помощью математической модели (эталонного ДГ);
- оценка газоплотности цилиндров на работающем двигателе;
- визуальный осмотр (оценка) ТС клапанов, камеры сгорания, зеркала цилиндра;
- оценка качества смазочного масла дизеля;
- оценка содержания металла в масле для выявления интенсивных износов в элементах дизеля на ранней стадии их проявления;
- выявление расцентровки дизеля и

Таблица 1

Категории технического состояния

Категория ЦНИИ МФ	Градации по Регистру	Описание состояния
A	САР1	ХОРОШЕЕ – ДГ(элемент ДГ) только что введен в эксплуатацию и соответствует эталону
B	САР2	УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНОЕ – ДГ(элемент ДГ) пригоден для длительной эксплуатации
C	САР3	НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНОЕ – требуется ТО или ремонт. Продолжительность эксплуатации ограничена. Необходимо сокращать период между контролем ТС.
D	САР4	АВАРИЙНОЕ – эксплуатация небезопасна. Рекомендация: немедленный останов оборудования.

В системе предусмотрена подсистема прогнозирования ТС ДГ, основанная на построении экстраполяционного тренда диагностических параметров и проведении процедуры оценки ТС на основе полученного прогноза.

Разработанная методика утверждена (в том числе предприятиями-изготовителями) и используется в принятых на вооружение комплексах, что позволяет проводить анализ ТС дизеля и генераторной установки и решать следующие задачи:

- оценка качества регулировки отдельных цилиндров дизеля;
- оценка ТС газозоудного тракта по термогазодинамическим параметрам;
- оценка ТС отдельных цилиндров поршневой части дизеля и топлив-

генератора по параметрам вибрации на работающем ДГ;

- проверка качества центровки дизеля и генератора на неработающем ДГ;
- оценка ТС подшипников по параметрам вибрации (в том числе подшипника генератора).

Основными диагностическими задачами оценки ТС электрической части ДГ 28ДГ являются:

- оценка технического состояния генератора СБГД-12-1000;
- проверка состояния электрической изоляции;
- проверка отсутствия обрывов и замыканий в обмотках;
- оценка уравновешенности вращающихся частей;
- оценка степени загрязнения вентиляционных каналов, внутренних

- частей генератора и полостей охлаждения воздухоохладителя генератора;
- оценка ТС блока регулирования возбуждения БРВ-12;
- оценка ТС щита генераторного ЩГ 2305;
- оценка состояния автоматических выключателей;
- оценка степени износа механических частей автоматических выключателей;
- проверка состояния вентиля выпрямителя;
- проверка состояния контактных соединений;
- проверка состояния системы водяного охлаждения.

В результате оценки ТС ДГ и его прогноза выдается перечень возможных неисправностей и рекомендации по их устранению. На основе этих рекомендаций личному составу необходимо выбрать режим эксплуатации, периоды проведения контроля и сроки проведения ТО и Р. Тем самым реализуется возможность предотвращения преждевременного выхода из строя ДГ и его элементов.

Совокупность собранных диагностических параметров, результатов работы моделей, методов оценки ТС и прогнозирования образуют цифровой портрет ДГ (цифровой двойник ДГ на этапе эксплуатации). На основе созданного цифрового портрета возможна оценка тактических свойств НАПЛ: скрытности, автономности и дальности плавания. Обобщение данных с разных НАПЛ одного проекта позволяет оценить действия экипажа и грамотность эксплуатации энергетической установки.

Собранные данные сохраняются в интегрированной базе данных и знаний и могут использоваться для последующего анализа специалистами флота, промышленности и бюро-проектантов морской техники. Обратная связь с кораблестроительными, электромашиностроительными предприятиями и проектными организациями обеспечивает возможности совершенствования конструкций и внесения изменений в рабочую и конструкторскую документацию.

На основе данной методики создан переносной диагностический комплекс, состоящий из следующих элементов:

- переносная вычислительная платформа в защищенном исполнении;
 - специальное программное обеспечение диагностической системы (СПО);
 - набор контрольно-измерительных приборов, датчиков и индикаторов.
- В качестве вычислительной платформы используется защищенный

ноутбук, который может дополняться планшетом, монитором и дополнительным блоком аналого-цифрового преобразования (АЦП), для связи с датчиками.

СПО ПДК основана на современной цифровой платформе «НЕО ПЛАТ-ФОРМА», показавшей высокие результаты при использовании на различных проектах НК и НАПЛ ВМФ. Используемая цифровая платформа имеет открытую архитектуру и позволяет гибко настраивать и расширять функциональность работы ПДК с течением времени и в соответствии с поставленными задачами.

В ПДК входят следующие контрольно-измерительные приборы, датчики и индикаторы:

- блок согласующий БС-9234.01;
- датчики высокого давления МД-45-400;
- отметчик оборотов ВБИ-М18-86К-2111-3;
- вибропреобразователь АР2035-10;
- датчик низкого давления ДМР 330Н;
- датчик дифференциального давле-

ния DMD 331;

- портативная лаборатория анализа масла ПЛАМ-3;
- мини-лаборатория экспресс-оценки параметров смазочного масла ОА-5000;
- полугибкий технический управляемый эндоскоп ТЭУ02-150;
- лазерный центровщик Baltech SA-4600;
- многофункциональный прибор Fluke 190-062 ScopeMeter;
- мультиметр-мегаомметр типа Fluke 1587;
- тепловизор Testo 875-1;
- двухканальный цифровой вибронализатор СД-21.

Вся информация, полученная с помощью данных приборов, обрабатывается посредством специального программного обеспечения, установленного на защищенный ноутбук или планшетный компьютер, входящий в комплекс.

Программное обеспечение переносного диагностического комплекса (ПДК) включает в себя программные модули, перечисленные в табл. 2.

Таблица 2

Перечень программных модулей по оценке технического состояния дизеля

№	Наименование программного модуля
1	Программный модуль (ПМД1) оценки ТС отдельных цилиндров дизеля, топливной аппаратуры и элементов ГВТ с использованием диагностического комплекта (УВМ РАМЭК, комплект датчиков, блок согласующий БС-9234.01):
1.1	Оценка ТС отдельных цилиндров поршневой части дизеля 8ЧН 26/26 по параметрам индикаторных диаграмм
1.2	Оценка ТС отдельных цилиндров и топливной аппаратуры при совместном анализе внутрицилиндровых параметров и вибрационных параметров форсунки
1.3	Оценка ТС элементов ГВТ (компрессора, воздушной полости воздухоохладителя)
2	Программный комплекс параметрического диагностирования ТС газозвдушного тракта дизеля, оценки качества регулировки отдельных цилиндров, имитационного моделирования рабочих процессов дизеля 8ЧН 26/26, реализуемый в вычислительном модуле изделия ПДК, включающий в себя следующие программные модули:
2.1	Программный модуль (ПМД2) оценки качества регулировки отдельных цилиндров дизеля
2.1.1	Оперативная оценка качества регулировки отдельных цилиндров дизеля 8ЧН 26/26 с использованием планшетного компьютера и штатных средств контроля
2.1.2	Формирование базы эталонных параметров оценки качества регулировки отдельных цилиндров по данным ЗСИ и ЗХИ объекта. Анализ отклонений фактических параметров регулировки отдельных цилиндров от эталонных значений в условиях эксплуатации объекта.
2.2	Программный модуль (ПМД3) оценки ТС ГВТ (проточной части компрессора; воздушной полости охладителя; водяной полости охладителя; выпускного устройства)
2.2.1	Оперативная оценка технического состояния газозвдушного тракта дизеля 8ЧН 26/26 с использованием планшетного компьютера и штатных средств контроля
2.2.2	Формирование базы эталонных параметров оценки ТС ГВТ по данным ЗСИ и ЗХИ объекта. Анализ отклонений фактических параметров ГВТ от эталонных значений в условиях эксплуатации объекта
2.3	Программный модуль (ПМД4) имитационного моделирования рабочих процессов дизеля 8ЧН 26/26, предназначенный для оценки работоспособности моделей и алгоритмов параметрического диагностирования на основе совместного использования базовой математической модели дизеля и программного модуля ПМД3
3	Экспертный модуль (ЭМД1) оценки качества масла, реализуемый в вычислительном модуле изделия ПДК
4	Экспертный модуль (ЭМД2) оценки технического состояния электрической части генераторной установки

Программный модуль ПМД1 оценки ТС отдельных цилиндров поршневой части дизеля и топливной аппаратуры по результатам анализа индикаторных диаграмм обеспечивает:

- автоматическое распознавание отклонений от нормы параметров ТС и регулировки: общее уменьшение (увеличение) угла опережения подачи топлива; ухудшение качества газообмена двигателя в целом;
- распознавание неисправностей отдельных цилиндров: уменьшение (увеличение) угла опережения подачи топлива, недогрузка (перегрузка) цилиндров по цикловой подаче топлива, ухудшение качества распыла форсунки, зависание иглы форсунки; неисправность ТНВД, увеличенные утечки рабочего тела в цилиндре.

После первичной обработки параметров рабочего процесса определяются и выводятся по каждому цилиндру (кроме зарегистрированных индикаторных диаграмм) следующие параметры: угол опережения подачи топлива; угол начала горения; угол максимальной жесткости процесса нарастания давления; угол максимального давления в цилиндре; максимальная жесткость процесса нарастания давления; максимальное давление в цилиндре; среднее индикаторное давление; частота вращения коленчатого вала; индикаторная мощность отдельных цилиндров. При проведении диагностического анализа осуществляется оценка степени развития неисправности и выдача оператору рекомендации о необходимом объеме восстановительных работ и рекомендуемых мерах по техническому обслуживанию.

В состав программного модуля ПМД1 входят следующие прикладные программные модули:

- «Оценка технического состояния (ТС) отдельных цилиндров поршневой части дизеля 8ЧН 26/26 по параметрам индикаторных диаграмм»;
- «Оценка ТС отдельных цилиндров и топливной аппаратуры при совместном анализе внутрицилиндровых параметров и вибрационных параметров форсунки»;
- «Оценка ТС элементов газоздушного тракта (ГВТ) (компрессора, воздушной полости воздухоохладителя)».

Оценка качества рабочего процесса и регулировки дизеля осуществляется по результатам поочередного анализа индикаторных диаграмм и параметров работы каждого цилиндра.

Прикладное программное обеспечение включает в себя несколько модулей, которые решают следующие задачи:

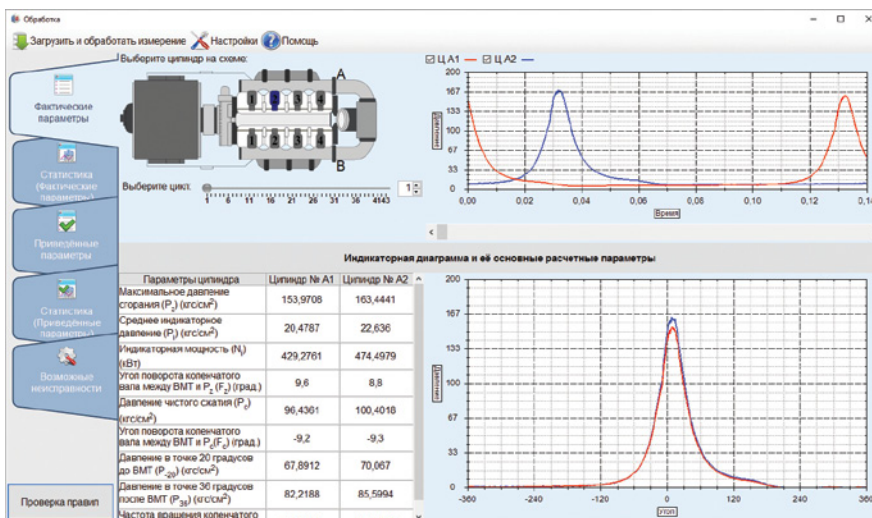


Рис. 2. Основной интерфейс программы

- обработка внутрицилиндровых параметров дизеля и их протоколирование;
- обработка вибрационных параметров форсунки и их протоколирование;
- регистрация параметров ГВТ и их протоколирование;
- индицирование отдельных цилиндров дизеля – расчет и графическая интерпретация индикаторных диаграмм.

Основной интерфейс программы обработки внутрицилиндровых параметров представлен на рис. 2.

Одним из основных используемых диагностических методов является построение и оценка индикаторных диаграмм пары цилиндров. На рис. 2 красным цветом обозначается индикаторная диаграмма цилиндра, на индикаторном кране которого стоит опорный преобразователь пьезоэлектрический динамического давления МД-45-400; синим цветом обозначается индикаторная диаграмма цилиндра, на индикаторном кране которого стоит переносной преобразователь пьезоэлектрический динамического давления МД-45-400.

К расчетным параметрам индикаторной диаграммы относятся (рис. 3):

- максимальное давление сгорания P_z ;
- давление в точке 20° до ВМТ P_{20} ;
- давление в точке 36° до ВМТ P_{36} ;
- угол поворота F_z коленчатого вала между ВМТ и P_z ;
- давление чистого сжатия P_c ;
- угол поворота F_c коленчатого вала между ВМТ и P_c ;
- среднее индикаторное давление P_i ;
- индикаторная мощность N_i ;
- частота вращения коленчатого вала $n_{кв}$;
- давление воздуха за компрессором P_k ;
- давление воздуха за воздухоохладителем $P_{кл}$;
- перепад давления воздуха на воздухоохладителе $\Delta P_{хв}$.

В целом при диагностировании дизеля решаются следующие задачи:

- обработка внутрицилиндровых параметров дизеля и их протоколирование;
- обработка вибрационных параметров форсунки и их протоколирование;
- регистрация параметров ГВТ и их протоколирование;
- индицирование отдельных цилиндров дизеля – расчет и графическая интерпретация индикаторных диаграмм.

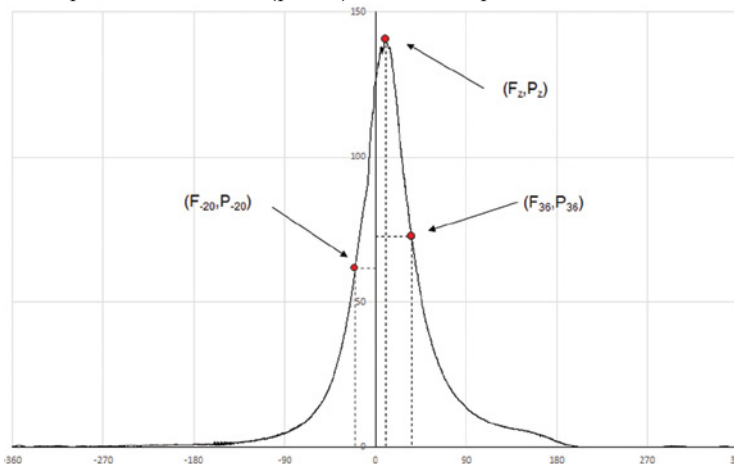


Рис. 3. Характерные точки индикаторной диаграммы

Экспертный модуль ЭМД2 «оценки технического состояния электрической части генераторной установки» согласован филиалом АО «Силовые машины» – «Электросила» и позволяет решать следующие задачи:

А. Формирование базы данных экспертной системы, которое включает в себя маршрутизацию измерений в соответствии с картами контроля генератора СБГД 12-1000, блока регулирования возбуждения БРВ 12, щита генератора ЩГ-2305; визуализацию точек замера с краткими инструкциями по проведению замера; заполнение электронных карт контроля генератора СБГД 12-1000, блока регулирования возбуждения БРВ 12, щита генератора ЩГ-2305 с помощью автоматического импорта параметров, измеряемыми переносными диагностическими приборами Fluke 190-062 ScoreMeter, Testo 875-1, Fluke 1587; заполнение электронной карты контроля «Диагностирование ГУ по виброакустическим показателям» путем ввода данных, измеряемых виброанализатором СД-21; визуализацию результатов измерений и предъявление их пользователю для экспресс-анализа (выявление и исключение явно некорректных измерений, подтверждение пользователем возможности использования корректных результатов измерений для последующей автоматической оценки технического состояния генераторной установки).

Б. Поддержка базы знаний экспертной системы, которая должна обеспечивать реализацию правил логического вывода (с использованием базы данных), обеспечивающих распознавание неисправностей; выдачу рекомендаций по локализации и устранению выявленных неисправностей.

В. Формирование отчетов, построение и анализ трендов диагностических параметров и параметров ТС.

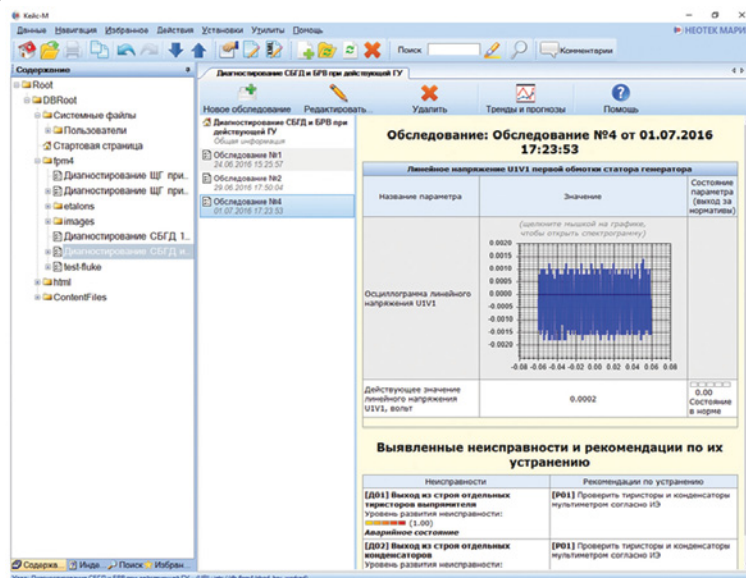
Программный модуль ЭМД2 (рис. 4) имеет следующие основные окна:

- 1) диагностирование СБГД-12-1000 и БРВ-12 при действующей генераторной установке (ГУ);
- 2) диагностирование СБГД 12-1000 при обесточенной ГУ;
- 3) диагностирование ЩГ-2305 при действующей ГУ;
- 4) диагностирование ЩГ-2305 при обесточенной ГУ;
- 5) диагностирование СБГД 12-1000 по результатам замера вибрации

Регистрация приборами диагностического комплекса проводится как в обесточенном состоянии ГУ, так и в одном из режимов функционирования по назначению.

Специальное программное обеспечение комплекса реализовано с помощью перспективной цифровой платформы «НЕО ПЛАТФОРМА» [7,13].

а)



б)

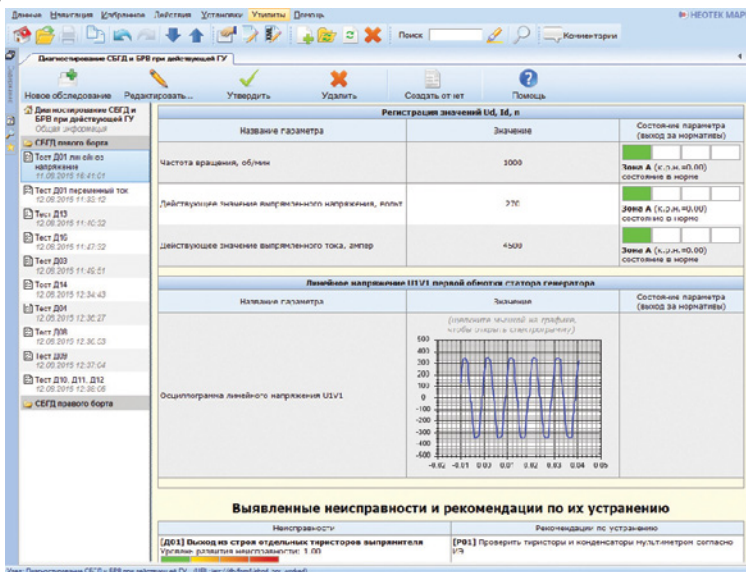


Рис. 4. Интерфейс экспертного модуля ЭМД2: а – главное окно, б – окно об следования генератора

Платформа представляет собой сложную информационную систему, обеспечивающую выполнение функций управления входящими в состав платформы программными модулями и вычислительными процессами. Цифровая платформа обеспечивает механизм работы с данными, стандартизирует и упрощает процесс разработки пользовательского интерфейса, вычислительных модулей, алгоритмов взаимодействия программных компонентов. Использование платформы позволяет повторно применять различные программные компоненты, что позволяет снижать финансовые и временные затраты на создание программно-аппаратных комплексов. Платформа открыта для расширения и может использоваться сторонними организациями, разработчиками приложений и комплексов, поставщиками и потребителями данных.

Применительно к разработке ПДК,

конфигурация платформы учитывает особенности использования комплекса, обеспечивает расширяемость за счет подключения дополнительных программных модулей, работу с интегрированной базой данных и знаний. Структура платформы, используемой в ПДК, приведена на рис. 5.

Функционирование программно-аппаратных комплексов на основе цифровой платформы формирует инфраструктуру для автоматизации процессов диагностики, последующего технического обслуживания и ремонта дизель-генератора. Структура специального программного обеспечения (СПО) цифровой платформы включает в себя следующие основные компоненты: модуль взаимодействия с пользователем, управляющий модуль, модуль сбора и обработки данных, модуль моделирования и расчетов, модуль формирования отчетов, модуль поддержки

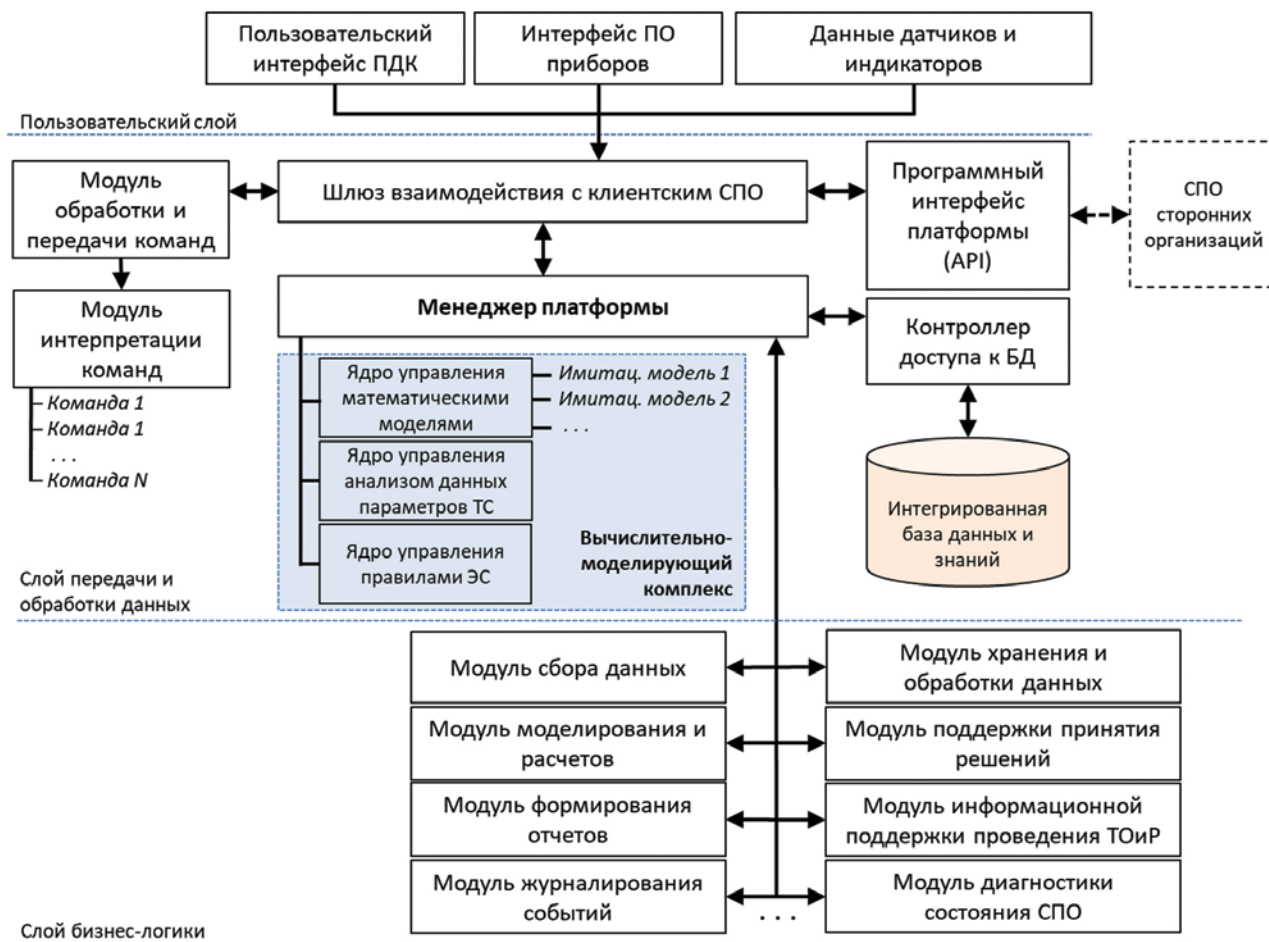


Рис. 5. Схема конфигурации цифровой платформы для решения задач ПДК

принятия решений и интегрированную базу данных и знаний (ИБДиЗ).

Использование единой информационной платформы для создания переносных диагностических комплексов, бортовых комплексов информационной поддержки эксплуатации, учебных комплексов специальной подготовки экипажа позволяет обогащать комплексы элементами друг друга и достигать синергетического эффекта. Например, агрегированная базовая математическая модель дизеля, с одной стороны, позволяет проводить точную диагностику, а с другой – моделировать неисправности технических средств с целью обучения и тренажа личного состава. Включение элементов диагностики в состав интерактивных электронных технических руководств (ИЭТР) позволяет при автоматизированном выявлении неисправности сразу переходить к описанию процедур по их устранению. Благодаря интеграции с системой поддержки проведения ТО и Р становится возможным планировать ТС и обслуживание по фактическому состоянию объектов.

Использование единой цифровой платформы позволяет обеспечить:

- единый методический и технологический подход для создания комплексов для различных проектов.

Функционирование ПДК на базе архитектуры цифровой платформы обеспечивает цельную программную инфраструктуру для создания и дальнейшего расширения диагностических комплексов;

- включать элементы диагностики в комплексы информационной поддержки эксплуатации, а элементы информационной поддержки в диагностические комплексы;
- необходимый уровень информационной поддержки на борту с целью диагностики возможных неисправностей, повышения качества эксплуатации оборудования, проведения учебных теоретических и практических занятий, отвечающих современным требованиям;
- переход на отечественное программное обеспечение, без потери накопленных информационных ресурсов.

Для приведения, существующего ПДК в соответствие требованиям по импортозамещению, помимо использования отечественного программного обеспечения, необходимо изменить состав аппаратной части.

Замена импортных приборов на отечественные аналоги – объемная задача, которая должна решаться в несколько этапов:

- поиск аналогичных приборов, удовлетворяющих требованиям ПДК, имеющим необходимую точность, память для сохранения измерений по маршруту и возможность передачи данных на компьютер;
 - выбор из найденных приборов устройств с наилучшими характеристиками и включенных в государственный реестр средств измерений;
 - модернизация шлюза сопряжения СПО для взаимодействия с новыми приборами, при необходимости доработка программного обеспечения (в том числе входящего в состав изделия) совместно с производителями устройств;
 - доработка базы данных и знаний ПДК с учетом специфики получаемых данных от новых приборов, а также дополнение методов их обработки и правил экспертной системы.
- Следующим направлением повышения эффективности использования ПДК является внесение изменений в конструктивные решения диагностируемого оборудования с целью обеспечения пригодности объектов энергетического комплекса корабля для контроля. В настоящий момент использование ПДК требует высокой квалификации персонала и соблюдения повышенных требований к безопасности проведе-

ния работ, что ограничивает возможности его применения. Дополнение конструкции энергетического оборудования специальными диагностическими клеммными разъемами позволит многократно облегчить использование комплекса и проводить работы по диагностированию технического состояния с меньшими затратами времени и большей частотой.

При накоплении опыта использования комплекса необходимо проанализировать полученные данные, в том числе выявленные неисправности, и на этой основе сформулировать предложения по следующим направлениям:

- корректировка методики определения ТС на основе опыта эксплуатации как оборудования, так и ПДК, совершенствование рекомендаций, выдаваемых комплексом в соответствии с опытом эксплуатации дг и ПДК;
- дополнение штатных средств контроля и диагностики энергетического оборудования параметрами технического состояния, вносящими наибольший вклад в диагностику, выполняемую с помощью ПДК;
- определение необходимых конструктивных изменений для повышения пригодности энергетического оборудования для контроля;
- расширение номенклатуры судового оборудования, диагностируемого ПДК.

Анализ накопленных во время эксплуатации комплекса данных позволит расширить программное обеспечение ПДК модулем искусственного интеллекта, благодаря чему можно будет принимать решения не только на основе экспертной системы, но и с помощью нейронных сетей или других методов, способных к самообучению.

Целесообразно проводить дальнейшую интеграцию диагностического комплекса и модуля информационной поддержки эксплуатации. В состав ПДК необходимо включить модуль оценки расхода топлива и ресурса, рекомендаций по эксплуатации энергетического оборудования с целью повышения эффективности его использования.

Анализ и сопоставление параметров ТС энергетического оборудования и тактических параметров НАПЛ – скрытности, автономности и дальности плавания – позволят решать задачу создания «цифрового портрета» НАПЛ, а отслеживание изменения его характеристик и их взаимосвязей – учитывать индивидуальные особенности кораблей при планировании их службы и прогнозировать их изменение.

Положительный опыт использования комплекса предполагает его адаптацию и использование на других проектах кораблей с дизельными энергетическими установками, в частности с ДЭУ на основе звездобразных двигателей, требующих особого внимания для предупреждению отказов и аварий.

Широкое применение ПДК в обеспечении безаварийной эксплуатации энергетических установок будет способствовать изменению подхода к оценке ТС кораблей на основе комплексной методики диагностирования, технического обслуживания и ремонта энергетического оборудования, включающую в себя несколько уровней:

- повседневная эксплуатация, наблюдение с помощью встроенных средств контроля и диагностики;
- периодическое диагностирование с использованием бортовых ПДК;
- углубленное диагностирование с помощью береговых ПДК;
- определение тактических характеристик корабля на основе собранных данных.

Использование предлагаемого подхода предполагает организацию сбора и анализа информации о техническом состоянии флота в едином центре с возможностью анализа и обобщения данных. Последнее, в свою очередь, позволит более обоснованно планировать боевую и повседневную деятельность флота на основе фактического технического состояния кораблей.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Половинкин В. Н., Никитин В. С., Барановский В. В.* Современное состояние и перспективы развития отечественных корабельных дизельных энергетических установок. – Тр. Крыловского государственного научного центра. – 2017. – № 2 (380). – С.72–95.
2. *Гацак П.М., Пыльнев Ю. В., Золотарёв С. И., Долгов В. А.* Современные бортовые переносные аппаратно-программные комплексы информационной поддержки, обучения и тренажа личного состава корабельных специалистов электромеханического профиля: Монография. – СПб.: ВМПИ, 2024 .
3. *Бурсук В.И. и др.* Организация продления межремонтных (междоковых) и назначенных сроков службы кораблей ВМФ в условиях дефицита финансовых средств на судоремонт // Вестник фонда «Кораблестроение», СПб., – 2006 . – № 2.
4. Положение ДВИЕ.360090.00 «Наводные корабли. Порядок продления межремонтных и полных сроков службы боевых НК, боевых катеров, кораблей специального назначения, морских су-

дов обеспечения, катеров и рейдовых судов обеспечения». – М., 2005 .

5. *Нестерец О. А.* Опыт АО «51 ЦКТИС» по продлению полных сроков службы кораблей и судов ВМФ // Морской вестник. – 2019. – №3(71).
6. *Розенберг Г. Ш., Мадорский Е. З., Голуб Е. С. и др.* Вибродиагностика / Под ред. Г. Ш. Розенберга. – СПб.: ПЭИПК, 2003.
7. *Золотарев С.И., Кирюхин И.А., Пыльнев Ю.В.* Методика создания программно-аппаратных комплексов информационной поддержки эксплуатации ЭУ и специальной (электромеханической) подготовки экипажей НК и ПЛ на основе архитектуры цифровой платформы. – Сб. тр. ВМПИ. – СПб.: ВМПИ, 2023.
8. *Логунов А. В., Береснев А. Л.* Применение нейросетевого подхода для диагностики двигателя внутреннего сгорания транспортных средств // Известия ЮФУ: Технические науки. – 2022. – №1 (225). (Ростов-на-Дону. Издательско-полиграфический комплекс КИБИ МЕДИА).
9. *Курвилль Аарон, Гудфеллоу Ян, Бенджо Иошуа.* Глубокое обучение . – ДМК Пресс. – 2018.
10. *Калинин И. М.* Компьютерная модель асинхронного гребного электродвигателя с тремя обмотками на статоре // Тр. Крыловского государственного научного центра. – 2021. – №1 (395). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kompyuternaya-model-asinhronnogo-grebnogo-elektroprivoda-s-tremya-obmotkami-na-statore> (дата обращения: 20.05.2024).
11. *Аткинсон Р., Бауэр Г., Кротерс Э.* Введение в математическую теорию обучения / Пер. с англ. – М.: Мир, 1969. – 488 с.
12. *Афанасьев П.П., Виттин В.Ф., Голубев И.С.* Оценка качества машиностроительной продукции. – М.: Изд. МАИ, 1995. – 15 с.
13. Отчет по НИР «Разработка единой информационно-технологической платформы по созданию компьютерных учебно-тренировочных средств для современных НК и ПЛ пр. 22350, 20380, 20386, 22160, 1155, 636.3». Шифр «НЕО ПЛАТФОРМА». – Ч. 1: Программный модуль информационной поддержки выбора допустимых и рациональных режимов использования ЭУ/Коллектив авторов, 2023, инв. № 26/500 с. – 110 с.
14. *Тумаева Е.В.* Математическая модель синхронного электропривода: монография. – Казань: Изд-во Казан. гос. технол. ун-та, 2007.
15. *Половинкин В.Н.* Теория и физические методы повышения надежности, живучести и безопасности корабельных дизелей. – Дисс. на соиск. уч. степени д-ра техн. наук, ВМА, СПб., 1992.
16. *Данеев А.В., Данеев Р.А., Сизых В.Н.* Математическая модель шестифазного магнитоэлектрического генератора с мостовым выпрямителем и активноиндуктивной нагрузкой на выходе // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2022 – №1 (73). ■

Поставка по низким ценам зарубежных образцов опреснительного оборудования привела к существенному отставанию отечественной промышленности в данной области. Это относится, в первую очередь, к осмотическим мембранам, насосному оборудованию и электронным компонентам. Введение санкций на поставку данных изделий для нужд морского флота потребовало от российской промышленности освоения продукции для поддержания в надлежащем техническом состоянии поставленного ранее западными компаниями оборудования и выпуска новых опреснительных установок. С этой целью предлагаются новые технические решения с использованием отечественных разработок и продукции.

В основу принципа действия установки заложен способ обессоливания морской воды методом обратного осмоса, использующим способность специальной, полупроницаемой мембраны при давлении, превышающем осмотическое, пропускать через свои поры молекулы чистой воды и задерживать молекулы растворенных в воде солей NaCl, KCl, CaSO₄, NaSO₄ и др. Для стандартной морской воды осмотическое давление составляет около 2,7 МПа (27 кгс/см²), рабочее давление в установке ПРО-5–6,0 ... 6,5 МПа (60 ... 65 кгс/см²), что обусловлено преодолением гидравлического сопротивления материала мембраны. Для обеспечения процесса опреснения применяются опреснительные элементы специальной конструкции, в которых полупроницаемая мембрана свернута в виде рулона. При этом поток морской воды под рабочим давлением двигается над поверхностью полупроницаемой мембраны, где и происходит разделение потока: опресненная вода в количестве около 10% отводится через мембрану, а соленая вода (рассол), – – остальные 90% потока – отводится на сброс.

С целью приведения кислотности опресненной воды (по водородному показателю pH) в соответствие с нормами на питьевую воду она после опреснительных элементов подвергается дополнительной обработке в фильтре корректировки pH.

Установка эксплуатируется в следующих режимах:

- *фильтрация*: исходная вода фильтруется сверху вниз и подается на выход в систему, при этом выход в дренаж закрыт;
- *промывка*: исходная вода проходит через фильтр сверху вниз и подается в дренаж, при этом выход воды в систему закрыт;
- *обратная промывка*: исходная вода проходит через фильтр снизу вверх

МОДЕРНИЗАЦИЯ СЕРИЙНОЙ УСТАНОВКИ ОПРЕСНЕНИЯ ВОДЫ ПРО-5 В ЦЕЛЯХ ЗАМЕНЫ ИМПОРТНЫХ КОМПЛЕКТУЮЩИХ ИЗДЕЛИЙ

А. Г. Мальцев, начальник сектора ЗАО «ЦНИИ СМ»,

А. Л. Смирнов, магистр,

Е. В. Русанова, канд. техн. наук, доцент,

кафедра «Водоснабжение, водоотведение и гидравлика»,

ФБГОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения»,

контакт. тел. +7 (931) 257 4771

и подается в дренаж, при этом в систему может поступать нефильТРованная исходная вода.

В нынешних условиях возникла необходимость усовершенствования установки с целью применения отечественных комплектующих или изделий, поставляемых производителями из дружественных стран. В настоящей статье рассмотрены элементы отечественного производства, обеспечивающие заданные характеристики.

НАСОСНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

В установке ПРО-5 использовался электронасосный агрегат объемного типа, 3-плунжерный, марки Caterpillar КТЗ производства США. Для установки предлагается использование аксиально-плунжерного насоса АПН-80 производства компании АО «Завод «Кризо», г. Гатчина, Ленинградская область (рис. 1).

Насос создан на базе российских технологий, обеспечивающих минимальный, противозадирный износ в морской воде. Данный насос не требует смазочных материалов, с одинаковой производительностью может работать на пресной и морской воде. Аксиально-плунжерный насос высокого давления соответствует исполнению ОМ категории 5 по ГОСТ 15150–69 для условий работы при температуре окружающей среды от +2 °С до + 50 °С и относительной влажности воздуха 98%, при кратковременном (до 2 часов) повышении температуры до +60 °С и относительной влажности воздуха до 100% с выпадением росы.

Насос обладает устойчивостью при воздействии механических ударов многократного действия: сохраняет работоспособность, несмотря на многократное действие с пиковым ударным ускорением



Рис. 1. Аксиально-плунжерный насос АПН-80

нием 295 м/с² (30 г) и длительностью от 5 мс до 15 мс. Насос сохраняет работоспособность и при воздействии качки и кратковременных наклонов (до 3 мин.) с максимальным углом наклона 30°, амплитудой ±45° и периодом от 7 с до 16 с; длительных наклонов (5 мин.) с максимальным углом наклона 15°.

МЕМБРАНЫ

В установке ПРО-5 ранее использовались элементы опреснительные ЭМО-М-100–1016. Для установки предлагается использование мембранных элементов типа КМ 4040-СМ (2GM), выбранных для получения пресной воды из заборной (морской) воды, используемой для технических, бытовых нужд и приготовления питьевой воды, а также мембранных элементов серии папо RO КС4040-С, выбранных для получения обессоленной воды из опресненной, используемой в качестве питательной воды главной энергетической установки производства компании АО «РМ Нанотех», г. Владимир, Владимирская обл. (рис. 2–4).

ХИМИЧЕСКАЯ ПРОМЫВКА МОДУЛЕЙ

Для приготовления химических растворов для восстановления производительности полупроницаемых мембран и увеличения срока их службы использовали 10%-ный раствор гексаметафосфата натрия NaH (РО 3)6, вещество, растворяющее соли жесткости, но не препятствующее их осаждению. Для эффективной работы мембраны требуется в морскую воду добавлять специальные вещества-антискаланты с целью уменьшения скорости осаждения на поверхности мембраны коллоидных частиц.

В настоящее время ряд производств начали выпуск отечественных антискалантов, например, торговой марки «ЛИККОР». Это смесь фосфоновых кислот и сложных эфиров. Их особенность – минимальная концентрация, не более 1–4ppm, и эффективное увеличение срока службы мембран до 30%. Современные установки с использованием системы введения антискаланта в исходную морскую воду позволяют увеличить интервал регенерации мем-

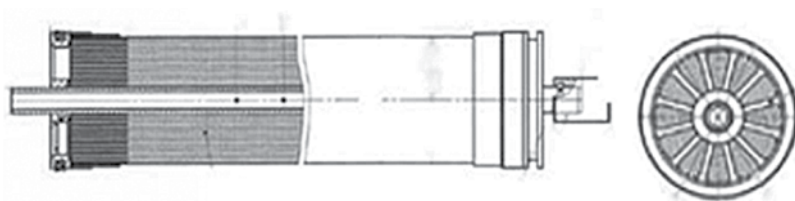


Рис. 2. Корабельный мембранный элемент КМ 4040-СМ(2GM)



Рис. 3. Разрез мембраны

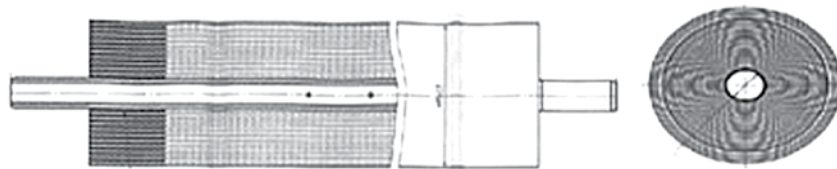


Рис. 4. Расположение мембранных пакетов перед намоткой в рулон

бран, являющихся неотъемлемой частью современных опреснительных установок.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для модернизации установки ПРО-5 необходимо разместить в существующих габаритах:

- насос высокого давления АПН-80;
- высокоселективные обратноосмотические мембраны отечественной разработки компании АО «РМ Нанотех»;
- систему ввода антискаланта для увеличения межремонтного периода.

Эффективность подобной модернизации позволяет увеличить производительность данной установки не менее чем на 15% и время ее непрерывной работы по опреснению морской воды с солесодержанием до 40 гр/л индексом SDI не более 3.

ЛИТЕРАТУРА

1. Предложение по организации серийного производства: Пояснительная записка РМ004.00.00.ТХ.ПЗ.
2. Корабельный мембранный элемент КМЭ 4040-С: Конструкторская документация АГПД 003.03.00.00 СБ.
3. Корабельный мембранный элемент для второй ступени КМЭД 4040-С:

Конструкторская документация АГПД 003.02.00.00 СБ.

4. Установка опреснительная обратноосмотическая ПРО-5: Руководство по эксплуатации ЛИКА.066138.001Э.
5. Технические характеристики аксиально-плунжерного насоса высокого давления АПН-80.
6. Водоподготовка: Справ./Под ред. д-ра техн. наук, действительного члена Академии промышленной экологии С.Е. Беликова. – М.: Аква-Терм, 2007. – 240 с.
7. *Веселов Ю. С., Герасимов А. В., Завирухо В. Д.* Становление и развитие специализации «Судовая водоподготовка» в ЦНИИ судового машиностроения. – Судовое машиностроение: науч.-техн. сб. – СПб.: ЗАО «ЦНИИ СМ», 2000.
8. Блок фильтров грубой очистки заборной воды/Петров Н. М., Герасимов А. В., Веселов Ю. С. Болтенков В. В., Ткач Д. Б., Бень Е. А. – Судовое машиностроение: науч.-техн. сб. – СПб.: ЗАО «ЦНИИ СМ», 2006.
9. *Русанова Е. В., Веприяк И. А.* Выбор технологической схемы очистки воды из подземного источника с повышенным содержанием железа/Комплексные технологии в механике и транспортном строительстве: Мат-лы II Всеросс. науч.-практ. конфер., посвященной памяти проф. Г. Н. Гаврилова, 14 декабря 2023 г. – Петергоф: Военная академия мат.-техн. обеспечения им. генерала армии А. В. Хрулева, 2023, с 214–222. – EDN DFWAAN. ■

Модульные передающие фазированные антенные решетки (ФАР) в КВ диапазоне – сравнительно новое направление в радиотехнике. Совокупность излучающего элемента (антенны) с усилителем мощности является унифицированным модулем таких решеток. Система возбуждения ФАР, состоящая из устройства формирования фаз и типовых возбуждателей, объединяет унифицированные модули в единую систему, допускающую их групповое использование при возможном индивидуальном использовании. Формирование передающих радиочастотных центров на основе модульных ФАР позволяет достичь высоких технических и эксплуатационных характеристик радиочастотных центров. Так, с увеличением количества модулей мощность излучения увеличивается пропорционально квадрату количества модулей, а потребляемая модульным радиочастотным центром мощность – всего лишь пропорционально количеству модулей. Разработанная АО НТИ «Радиосвязь» модульная 4-элементная ФАР в режиме пространственного сложения мощности дает 16-кратное увеличение излучаемой мощности, а потребление электроэнергии увеличивается только в 4 раза. Это дает возможность увеличивать и перераспределять мощность излучения между обслуживаемыми радиолиниями без увеличения потребляемой мощности. Вторым и наиболее важным достоинством модульных ФАР является гибкость в управлении характеристикой направленности. Управление главным лепестком характеристики направленности является частотно независимым и безынерционным. Это позволяет обеспечивать бесперебойную радиосвязь с подвижными объектами или одновременно обслуживать несколько радиолиний (например, в системах пакетной радиосвязи, а также в системах РЭБ). Новизна антенных систем отражается в терминологии и в методах расчета [1, 2]. Так, наряду с таким важным параметром, как коэффициент усиления (КУ), к модульным ФАР применяют параметр «эквивалентная изотропно-излучаемая мощность» (ЭИИМ), т.е. мощность, излучаемая в сторону корреспондента и равная произведению КУ антенной системы и подводимой к ней мощности.

В режиме пространственного сложения мощности модулей при равноамплитудном распределении и без учета взаимодействия излучателей в решетке ЭИИМ = $P_1 \cdot G_1 \cdot N^2$, где P_1 и G_1 – мощность модуля и коэффициент усиления излучателя, соответственно, N – количество модулей.

Для расчета характеристик модульных ФАР целесообразно использовать

МОДУЛЬНАЯ ПЕРЕДАЮЩАЯ ФАЗИРОВАННАЯ АНТЕННАЯ РЕШЕТКА

С.В. Русин, канд. техн. наук, вед. науч. сотрудник отдела перспективных исследований и разработок,
В.Д. Пашкевич, начальник отдела перспективных исследований и разработок, АО «НТИ «Радиосвязь»,
В.А. Казначеев, специалист по системам радиосвязи,
Я.А. Демидов, специалист по системам радиосвязи,
А.М. Шанин, канд. техн. наук, зам. начальника отдела, ФГБУ «16 ЦНИИИ» Минобороны России,
 контакт. тел. 8 (962) 680-86-07, pashkevich_vd@ntiradio.ru

матричный аппарат, который обладает достаточной наглядностью анализа. В соответствии с матричным анализом излучающую систему модульной ФАР заменяют рассеивающим многополюсником, осуществляющим связь направленных волн в питающих линиях с полем излучения. Входы многополюсника соответствуют физическим входам антенной решетки, а выходы – парциальным характеристикам направленности. Матричное описание в базисе характеристических мод [3] дает полное представление о входных и внешних характеристиках модульных ФАР с взаимодействующими широкополосными излучателями. Для учета омических потерь рассеивающий многополюсник может быть представлен каскадным или последовательным соединением нескольких многополюсников.

МАТРИЧНОЕ ОПИСАНИЕ АНТЕННЫХ РЕШЕТОК В БАЗИСЕ ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКИХ МОД

В соответствии с методом характеристических мод для решения задачи о распределении тока в АР в качестве базисных функций используются токи собственных колебаний излучателей [2, 3], так называемые характеристические токи (ХТ), или «моды» [2, 3] излучателей. Разложение функции распределения тока в базисе характеристических токов находят из системы линейных алгебраических уравнений

$$V = [i]_L' \mathbf{I} \mathbf{Z} \mathbf{I} [i]_L = \text{diag}(1 + j\tilde{\lambda}_l) J \quad (1)$$

где J – искомые коэффициенты разложения, \mathbf{I} – блочно-диагональная матрица, блоки которой являются матрицы $[i]_L$ из L_n учитываемых ХТ n -го ($1 < n < N$) изолированного излучателя, \mathbf{Z} – матрица импедансов сегментных диполей, $\tilde{\lambda}_l$ – l -е собственное значение матрицы $\mathbf{R} \cdot \mathbf{X}$, \mathbf{R} и \mathbf{X} – эрмитовы части матрицы импедансов сегментных диполей излучателя.

Совокупность характеристических полей n -го излучателя определяется выражением [3]

$$\vec{e}_n(\theta, \varphi) = [i]_L' \vec{f}_n(\theta, \varphi),$$

где $\vec{f}_n(\theta, \varphi)$ – вектор-столбец, составленный из нормированных характеристик направленности (ХН) сегментных диполей

$$\vec{f}_n(\theta, \varphi) = \sqrt{\frac{g_n r_{nn}}{4\pi}} \times \frac{e^{-jkr}}{r} \times \vec{F}_n^0(\theta, \varphi),$$

Здесь g_n и r_{nn} – коэффициент усиления и нормированное сопротивление сегмента с номером n , $\vec{F}_n^0(\theta, \varphi)$ – его нормированная характеристика направленности в общей системе координат антенной системы.

По характеристическим полям отдельных излучателей $\vec{e}(\theta, \varphi)$ и собственным векторам обобщенной матрицы импедансов характеристические поля антенной решетки определяются выражением

$$\vec{e}(\theta, \varphi) = [\mathbf{a}]' \vec{e}_n(\theta, \varphi),$$

где $[\mathbf{a}]$ – матрица собственных векторов матрицы $\mathbf{I} \mathbf{Z} \mathbf{I}$, определяет связь ХТ изолированных излучателей с L первыми ХТ антенной решетки в целом:

$$[\mathbf{a}] \approx [i]_L.$$

Выражение для коэффициента усиления в базисе характеристических токов имеет вид

$$G_N(\theta, \varphi) = 4\pi \left| \langle J * \vec{e}(\theta, \varphi) \rangle \right|^2 / (\langle [i]_L' \mathbf{R} [i]_L J \rangle).$$

Для анализа и синтеза антенных решеток используется матричное описание [1] в соответствие с которым АР представляется эквивалентным многополюсником (рис. 1). Связь модальных входов (сечение α – α) с волнами в пространстве (входы β – β) характеризуется матрицей рассеяния \mathbf{S} .

Матрица рассеяния излучающей системы связывает падающие и отраженные волны на модальных входах излучающей системы:

$$\begin{bmatrix} b_\alpha \\ b_\beta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{S}_{\alpha\alpha} & \mathbf{S}_{\alpha\beta} \\ \mathbf{S}_{\beta\alpha} & \mathbf{S}_{\beta\beta} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_\alpha \\ a_\beta \end{bmatrix}.$$

Блоки матрицы рассеяния определяют в соответствии с работами [1, 7]:

$$\mathbf{S}_{\alpha\alpha} = ([\tilde{z}] - \mathbf{E})([\tilde{z}] + \mathbf{E})^{-1};$$

$$\mathbf{S}_{\beta\alpha} = 2[\mathbf{a}]^{-1}([\tilde{z}] + \mathbf{E})^{-1} = [\mathbf{a}]^{-1}(\mathbf{E} - \mathbf{S}_{\alpha\alpha});$$

$$\mathbf{S}_{\alpha\beta} = 2([\tilde{z}] + \mathbf{E})^{-1}([\mathbf{a}]^{-1})' = (\mathbf{E} - \mathbf{S}_{\alpha\alpha})([\mathbf{a}]^{-1})';$$

$$\mathbf{S}_{\beta\beta} = -[\mathbf{a}]'([\tilde{z}] - \mathbf{E})([\tilde{z}] + \mathbf{E})^{-1}([\mathbf{a}]^{-1}) =$$

$$= \text{diag} \left(\frac{1-j\lambda}{1+j\lambda} \right)_L.$$

Характеристики АР также полностью описываются их матричными параметрами в терминах матрицы рассеяния.

Падающая волна в сечении α - α определяется выражением

$$a_\alpha = \frac{1}{2} [I^{-1} Z I + E] [a] J,$$

где J определяют из (1).

Отраженная волна в сечении β - β будет иметь величину

$$b_\beta = S_{\beta\alpha} a_\alpha.$$

Суммарная интенсивность излучения составит

$$\varepsilon_N(\theta, \varphi) = \langle b_\beta^* e(\theta, \varphi) \rangle \exp(-jkR) / R$$

при подводимой мощности

$$P_{\text{подв}} = \langle a_\alpha^* a_\alpha \rangle.$$

Отсюда следует выражение для коэффициента усиления

$$G_N(\theta, \varphi) = 4\pi \langle b_\beta^* \bar{e}(\theta, \varphi) \rangle^2 / \langle a_\alpha^* a_\alpha \rangle.$$

Выходная мощность или мощность излучения составит

$$P_\Sigma = \langle b_\beta^* b_\beta \rangle,$$

а коэффициент полезного действия имеет величину

$$\eta = P_\Sigma / P_{\text{подв}} = \langle b_\beta^* b_\beta \rangle / \langle a_\alpha^* a_\alpha \rangle.$$

Таким образом, матричное описание антенных решеток в базисе характеристических мод позволяет получить простые выражения для анализа их входных и внешних характеристик:

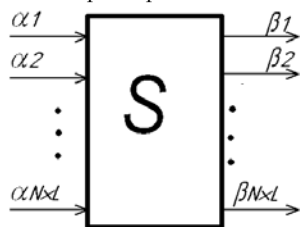


Рис. 1.

ПРОВЕРКА АДЕКВАТНОСТИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ НА ИЗВЕСТНЫХ ПРИМЕРАХ

Рассмотрим без учета омических потерь энергетические характеристики двухэлементной модульной ФАР с двумя одинаковыми излучателями, возбуждаемыми отдельными генераторами [3]. Из выражения для КУ вытекает

$$G_2 = \frac{4\pi \left| \bar{i}_1 \bar{f}_1 + \bar{i}_2 \bar{f}_2 \right|}{\langle i_1^* i_2^* r(i_1, i_2) \rangle}.$$

При синфазном равноамплитудном возбуждении идентичных излучателей с одинаковыми (ХН) $f_1 = f_2$ в силу ортогональности токов и диаграмм элементов это выражение упрощается:

$$G_2 = \frac{4\pi \left| 2 \bar{i} \bar{f} \right|^2}{2 \left| \bar{i} \right|^2 (r_{11} + r_{12})}.$$

Учитывая определение ненормированной ХН и доля G_2 на КУ одного излучателя, находим КУ системы из двух элементов:

$$g_2 = \frac{2r_{11}}{r_{11} + r_{12}} \cdot F_1^2(\theta, \varphi).$$

Если взаимное сопротивление $r_{12} = 0$, то относительный КУ (точнее КНД, поскольку рассматривается система без потерь) равняется двум. Это значит, что при отсутствии взаимной связи между излучателями двухэлементная модульная ФАР будет иметь в 2 раза большее поле, чем при одном излучателе, за счет увеличения вдвое КНД и мощности возбуждения при двух генераторах.

Из рассмотренного примера следует, что при проектировании антенных решеток необходимо уменьшить, насколько это возможно, взаимные связи между излучателями. И тем более исключить попадание излучателя в индуктивную зону соседних излучателей. В целях уменьшения взаимного сопротивления противовес каждого излучателя должен быть изолирован от противовесов других излучателей и, естественно, изолирован от земли. Для этого излучатели антенных решеток оборудуют радиальными противовесами из изолированных проводников. Для уменьшения потерь в почве стационарные антенные решетки устанавливают на оборудованные площадки со слоем слабо проводящего материала (гравия).

Адекватность модели проверена на известных результатах испытаний модульных ФАР [9, 10]. При моделировании ФАР из штыревых излучателей достаточно учета одной моды тока, а при использовании веерных излучателей необходим учет трех возбуждаемых мод. В решетке с малой базой из согласованных (в отсутствии остальных излучателей) одноמודовых (штыревых) излучателей, расположенных в углах квадрата стороной 7,5 м в большей части коротковолнового диапазона, не может формироваться ДН антенной решетки. Она остается той же, что для одиночной штыревой антенны, и повышение энергopotенциала радиолинии осуществляется только за счет линейного сложения мощностей. На частотах от 3 до 10 МГц при определенных углах фазирования коэффициент отражения на входах одного-двух излучателей увеличивается до 0,8. То есть из-за малой базы взаимное влияние элементов АР настолько сильное, что часть излучателей вместе с генераторами становятся потребителями энергии излучения других излучателей. При изменении направления фазирования эти излучатели меняются местами: потребители энергии становились ее источниками и, наоборот, источники энергии – потребителями. В этих условиях может происходить заметное снижение общей мощности излучения [10].

Характеристика направленности малоэлементной ФАР из-за взаимного влияния излучателей искажается существенно, особенно, если фазовое распределение токов излучателей соответствует требуемому.

Особый интерес представляют исследования КВ модульных ФАР в Академии связи [9]. В антенной решетке с расстоянием между элементами 7,5 м во всем рабочем диапазоне величина наведенных в соседние антенны токов не превышала 10% от значений, развиваемых собственными усилителями. Такие наводки не искажают фазовое распределение, но проявляются в виде расстройки излучателей. В наихудших случаях величина КБВ уменьшалась от 0,9 до 0,2–0,3.

Проверка работы модульной антенной системы одновременно на различных частотах показала [9], что при частотном разбросе 5 кГц становились заметны наводки на частотах соседних модулей. Однако при этом изменения амплитудно-фазового распределения ФАР не наблюдалось. Сделан вывод о допустимой величине частотного разброса равном полюсе, занимаемой спектром передаваемого сигнала.

КРИТЕРИИ ВЫБОРА БАЗЫ ПЕРЕДАЮЩЕЙ ФАР

В сантиметровом и дециметровом диапазонах волн оптимальное расстояние между излучателями равно половине средней длины волны рабочего диапазона частот. Антенные решетки с таким шагом антенных элементов имеют коэффициент перекрытия не более 1,5. Для ФАР коротких волн такой выбор не может быть оправдан, так как в коэффициент перекрытия частотного диапазона должен быть значительно больше.

Выбор базы передающей ФАР зависит от нескольких факторов. Межэлементное расстояние в квадратной АР должно быть достаточным, чтобы на всех рабочих частотах обеспечивался требуемый уровень согласования и формировалось направленное излучение. В то же время ширина главного лепестка АР должна удовлетворять эксплуатационным требованиям. Главный лепесток должен охватывать все возможные углы выхода лучей, достигающих места приема, а при работе в радиосети или с подвижными объектами – охватывать вероятные направления на корреспондентов.

Вопрос о том, до каких пределов можно сузить ДН в горизонтальной плоскости, не вызывая при этом значительного увеличения продолжительности времени непрохождения сигнала вследствие девиации, к настоящему времени нельзя считать окончательно выясненным. Полагают достаточной ширину диаграммы 4–8° по уровню половинной мощности [11].

В связи с изложенным выше для построения КВ ФАР целесообразно выбрать большую базу, близкую к половине длины максимальной волны, позволяющую реализовать преимущества антенной решетки, особенно в длинноволновой части диапазона, где по

условиям распространения радиоволн всегда имеет место напряженное положение с энергетическим потенциалом на радиолиниях. Однако применение большой базы приводит к появлению нежелательных интерференционных лепестков и сужению главного лепестка диаграммы направленности. Очевидно, для решения этой проблемы надо найти компромисс для сохранения тех преимуществ, которые дает ФАР.

В диапазоне от 6 до 30 МГц достаточно разнести излучатели по углам квадрата стороной 25 м. При этом на частоте 30 МГц ширина лепестка составляет 12°, что вполне приемлемо для большинства практических задач. Для дискретного управления характеристикой направленности с шагом 12° достаточно пятиразрядной управляемой линии задержки.

Для увеличения ширины главного лепестка на верхних частотах целесообразно применить совмещенную ФАР из двух антенных решеток, работающих в смежных поддиапазонах с одинаковым коэффициентом перекрытия.

МОДУЛЬНАЯ ФАР В СОСТАВЕ МОБИЛЬНОЙ АППАРАТНОЙ

Модульная ФАР, разработанная АО НТИ «Радиосвязь», является основным элементом автоматизированного мобильного передающего радиопередатчика. В ее основу заложены общие для комплексов связи принципы и в полной мере использован положительный опыт разработки и изготовления модульных центров радиосвязи, накопленный в ряде научно-производственных предприятий за годы конверсии оборонной промышленности России [10, 12–15]. Она предназначена для обеспечения морской, воздушной и наземной связи на радиолиниях малой и средней протяженности.

Фазирование сигналов проводится на рабочей частоте возбуждителей. Такое решение не требует доработки серийных возбуждителей и усилителей мощности передатчиков. Фазирование на рабочей частоте возбуждителя основано на том, что фазовые регуляторы включаются между выходом общего возбуждителя и входами усилителей мощности. В качестве фазовращателей используется четырехтрактовая пятиразрядная управляемая линия задержки. Изменение фазы (задержки) сигнала рабочей частоты приводит к изменению фазы (задержки) сигнала на выходе усилителя мощности. Такой способ фазирования обеспечивает частотно независимое положение главного лепестка характеристики направленности и не требует разработки и применения специальных вычислителей для расчета необходимых фазовых сдвигов на каждой из рабочих частот, что является достоинством и основой для его предпочтения по сравнению с другими.

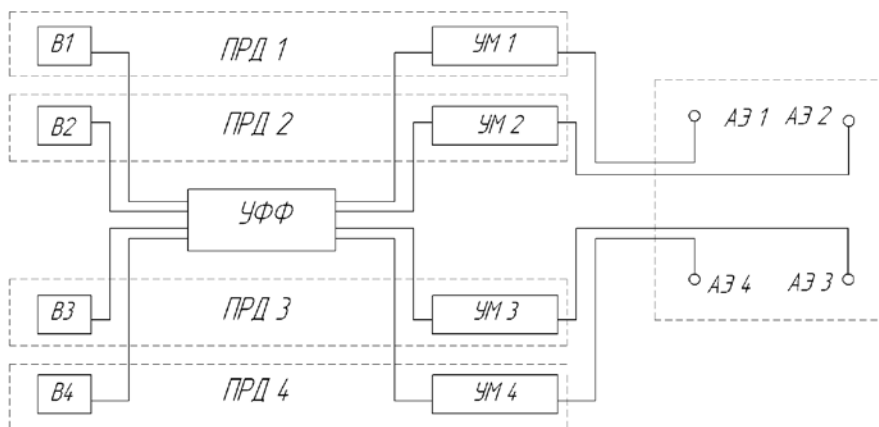


Рис. 2.

Большое внимание при разработке уделено совершенствованию систем автоматизированного дистанционного управления и контроля и решены следующие наиболее важные задачи:

- реализована возможность необслуживаемого режима работы с возможностью дистанционного управления;
- уменьшены эксплуатационные расходы за счет сокращения штата;
- повышена устойчивость связи;
- уменьшена потребляемая мощность.

На рис. 2 изображена упрощенная схема мобильной радиопередающей аппаратуры (РПДА). В высокочастотные цепи четырех передатчиков (ПРД1...4) типа Р-161-5ПРД включено устройство формирования фаз (УФФ), которое предназначено для усиления и распределения с требуемыми задержками сигнала одного из возбуждителей (В1...В4) на входы четырех усилителей мощности (УМ1...УМ4). Нагрузкой УМ1...УМ4 является квадратная антенная решетка с антенными элементами (АЭ1...АЭ4) типа К-667-001МБ.

Внешний вид мобильной РПДА с модульной ФАР и внутренний вид кузова – контейнера РПДА показаны на рис. 3 и рис. 4, соответственно. Оборудование аппаратуры размещено в кузове-контейнере КК6.2 на автошасси УРАЛ-532361-0311. Кроме четырех радиопередатчиков и УФФ, в кузове установлены: комплекс технических средств (КТС) для реализации местного или дистанционного управления, линейный коммутатор информационных каналов, антенный коммутатор 6×4, система жизнеобеспечения, датчики пожаро-



Рис. 3. Внешний вид мобильной РПДА с модульной ФАР

тушения. В комплект антенно-фидерных устройств кроме четырех типовых передающих антенн К-667-001 МБ (в составе ФАР) входит одна К-674-5Б, которая обеспечивает связь на радиолиниях малой протяженности за счет наклонной установки.

Автоматизированное дистанционное управление РПДА осуществляется с удаленного АРМ (находящегося в радиобюро или на приемном радиопункте) по линиям привязки: кабельным, радиорелейным или ВОЛС через аппаратную привязки и управления (АПУ).

РПДА предназначена для обеспечения круглосуточной работы без постоянного присутствия обслуживающего персонала. Режим «местного» управления обеспечивается средствами КТС от встроенной ПЭВМ, местного микрофона в режиме ТФ и телеграфного ключа в режиме ТГ. Предусмотрены автоматический встроенный самоконтроль и местная сигнализация об отказах с их индикацией на передней панели блоков.

РЕЗУЛЬТАТЫ ТРАССОВЫХ ИСПЫТАНИЙ

Модульная ФАР испытана в условиях радиопункта при работе поверхностной и ионосферной волнами. Проверено сложение излучения и управление характеристикой направленности. Испытания показали увеличение мощности излучения в 16 раз на частотах от 10 МГц при сложении полей как вдоль осей антенной решетки, так и вдоль диагоналей.

Диаграмма направленности (ДН) в горизонтальной плоскости, передающей модульной ФАР на частоте 10 МГц, при



Рис. 4. Внутренний вид кузова – контейнера РПДА

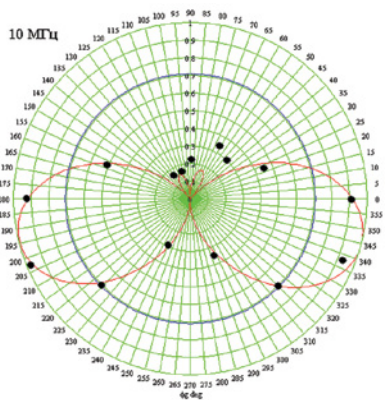


Рис. 5. ДН в горизонтальной плоскости, передающей модульной ФАР. Измеренные величины обозначены точками

фокусировке в направлении 195° показан на рис. 5. Измеренные величины обозначены точками.

В целях минимизации взаимного влияния передающих трактов модульной ФАР и потерь в земле противовесы излучателей выполнены из изолированных проводников. В результате КБВ в передающих трактах изменяется незначительно как при изменении рабочей частоты, так и направления фазирования. На рис. 6 показана зависимость КБВ на выходе передатчика модульной ФАР при одиночной работе (пунктирная синяя линия КО4) и при совместной работе в составе решетки (сплошная красная линия Кв4).

Проведены трассовые испытания на радиолинии ионосферных волн Москва – Санкт-Петербург. Эффективность пространственного сложения мощности оценивалась по улучшению отношения сигнал/шум в пункте приема при замене одного модуля ФАР (антенна К-667-001 МБ и усилитель мощности Р-631 мощностью 5 кВт) на четыре модуля со сложением мощности в пространстве.

Для работы было предоставлено восемь частот от 6,004 до 20,064 МГц. Передатчики работали в режиме передачи телеграфного сигнала вида «точки» и «нажатие». На приемном пункте сигналы принимались на штыревую активную антенну К-625 приемником с отключенной системой автоматической регулировки усиления. Были измерены мощность сигнала и шумов и телеграфные искажения. Уровни сигнала и шумов измерялись в тракте промежуточной частоты приемника селективным измерителем уровня напряжений с полосой пропускания 0,1 кГц. Телеграфные искажения измерялись на выходе приемника прибором контроля телеграфных искажений ПКТИ. Измерения проводились по программе одноминутных сеансов (не менее 100 сеансов) в каждом из видов сигнала.

При обработке результатов измерений уровня сигнала во внимание принимались те сеансы, в которых мощность сигнала от одного модуля не менее чем

на 10 дБ превышала мощность «помехи + шум». Обработка измерений телеграфных искажений проводилась по всем сеансам.

Трассовые испытания показали увеличение отношения сигнал/шум в пункте приема на 12 дБ (в 16 раз) в режиме пространственного сложения мощности. Относительное уменьшение телеграфных искажений в режиме пространственного сложения мощности составило от 2 до 5 раз и более в зависимости от уровня внешних шумов в радиоканале. На частотах, где мощности помех имели значительный уровень (отношение сигнал/шум составлял не более 10 дБ), преимущества режима ПСМ оказывались наиболее очевидными.

Результаты испытаний модульной ФАР при работе поверхностной и ионосферной волной подтверждают возможность увеличения энергетического потенциала радиолиний за счет пространственного сложения мощностей пропорционально квадрату числа модулей ФАР.

Возможность индивидуального использования каждого из передатчиков, входящих в состав ФАР, позволяет строить антенные поля в виде антенных решеток с большой базой не только для мобильных, но и для стационарных магистральных радиоцентров. При этом появляется дополнительная возможность управления диаграммой направленности ФАР в соответствии с новыми задачами по связи, оперативно возникающими в процессе работы радиоцентра и имеющими приоритетный характер.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Потенциальные резервы улучшения надежности радиосвязи за счет создания и применения модульных ФАР чрезвычайно велики. Тем не менее реализация этих возможностей оказывается весьма непростой задачей, приводит к сложным и дорогостоящим техническим решениям, основанным на использовании самой передовой схемотехнической и элементной базы, новейших конструктивно-тех-

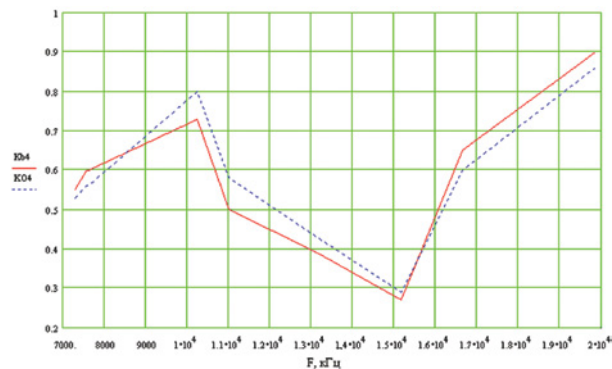


Рис. 6. КБВ на выходе передатчика при одиночной работе (пунктирная синяя линия КО4) и при совместной работе в составе решетки (сплошная красная линия Кв4)

нологических достижений, требует значительного времени. Соответствующие работы уже привели к ряду результатов, полезных для повышения надежности систем связи.

Применение модульных ФАР решает задачу оперативного управления энергетическим потенциалом передающего радиоцентра, перераспределения мощности излучения передатчиков между направлениями связи и, кроме того, экономической выгодно. Увеличение излучаемой мощности происходит пропорционально квадрату числа используемых передающих модулей, а потребление мощности увеличивается линейно.

На основе модульных ФАР может быть построен компактный автоматизированный модульный передающий радиоцентр, по существу заменяющий достаточно большой радиоцентр. Затраты полностью окупаются благодаря возможности реализации самых совершенных методов антенной обработки сигналов, повышающей надежность КВ радиосвязи, в том числе при сопровождении быстро движущихся объектов.

Основные аппаратно-технические средства, применяемые для комплексирования радиоцентра (антенно-фидерные устройства, коммутаторы, устройства сопряжения, автоматизированные рабочие места операторов и др.), являются собственными разработками АО НТИ «Радиосвязь».

Научно-технический опыт специалистов ОАО НТИ «Радиосвязь», полученный при выполнении цикла проектных, монтажных и пусконаладочных работ на передающих и приемных радиоцентрах, позволяет создавать, испытывать и сдавать в эксплуатацию новейшие автоматизированные радиоцентры модульной архитектуры, обеспечивающие круглосуточную работу по многим радионаправлениям одновременно.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сазонов Д.М. Матричная теория антенных решеток. – РТИ, 1975.
2. Фитенко Н.Г. Анализ и синтез модульных антенн. – СПб: Изд. ВАС, 1990. – 141 с.
3. Harrington R.F., Moutz J.R. Theory of char-

- acteristic modes for conducting bodies. // IEEE Trans. on Antennas and Propagation. – 1971. – Vol. AP -19. – № 5. – P 622–628.
4. *Никольский В.В., Никольская Т.И.* Электродинамика и распространение радиоволн. – М.: Наука, 1989. 544 с.
 5. *Harrington R.F.* Field computation by moment methods. – N.Y, 1968.
 6. Вычислительные методы в электродинамике / Под ред. Р. Митры. – М.: Мир, 1977. – 485 с.
 7. *Сазонов Д.М., Гридин А.Н., Мишустин Б.А.* Устройства СВЧ. – М.: Высшая школа, 1981. – 295 с.
 8. *Амтей Н., Галиндо В., Ву Ч.* Теория и анализ фазированных антенных решеток. – М.: Мир, 1974. – 455 с.
 9. *Фитенко Н.Г.* Результаты исследований модульной фазированной антенной ре-

- шетки коротковолнового диапазона. Вопросы расчета радиолиний и антенных устройств (Технические и научно-методические материалы) / Под ред. В.П. Серкова. – СПб.: Изд. ВАС, 1981, с. 60–66.
10. *Дьяков В.В.* Построение антенных систем для магистральных радиолиний коротковолнового диапазона // Актуальные вопросы исследований распространения радиоволн, электромагнитной совместимости, антенно-фидерных устройств средств радиосвязи и радиовещания. Учеб. пособие / Под ред. Г. И. Трошина. – М.: САЙНС-ПРЕСС, ИПРЖР, 2002. – С. 32–39.
11. Коротковолновые антенны / Г.З. Айзенберг, С.П. Белоусов, Э.М. Журбенко и др. Под ред. Г.З. Айзенберга. – 2-е перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1985. – 536 с.
12. *Каплин Е.А., Кузьмин Б.И., Феофанов В.А.*

- Модульные автоматизированные радиоцентры для обслуживания международных авиамаршрутов // Электросвязь. – 2005. – № 5.
13. *Вознюк М.А., Кузьмин Б.И.* Мобильная радиосвязь специального назначения: Тематическая подборка статей // Электросвязь. – 1999. – № 3.
 14. *Каплин Е.А., Кузьмин Б.И., Скляр А.К., Феофанов В.А.* Береговые автоматизированные радиоцентры модульного типа // Электросвязь. – 1998. – № 8.
 15. *Фитенко Н.Г.* Унифицированный передающий модульный узел связи. – Труды всероссийской практической конференции // Инновационная деятельность в Вооруженных силах Российской Федерации: 18-19 ноября 2004 г. – СПб.: Изд. ВАС, 2004. – 397 с. ■

Связь через ионосферный канал – одна из самых сложных с точки зрения распространения радиоволн. До 150–200 км распространение происходит поверхностной волной. Затем возможно наличие мертвой зоны, когда поверхностная волна полностью затухает, а распространение отражением от ионосферы еще невозможно из-за того, что угол распространения (рис. 1) меньше критического, определяемого формулой [1, 2]:

$$\gamma_{кр} = \arcsin\left(\sqrt{1 - 80,8 \frac{N_0}{f^2}}\right),$$

где N_0 – концентрация свободных электронов в ионосфере, f – частота радиоволны.

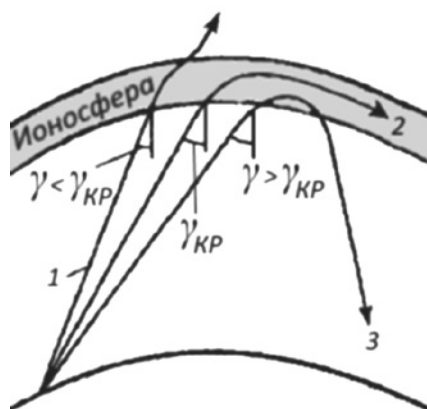


Рис. 1. Угол распространения и критический угол

При увеличении дальности (в зависимости от условий) от 500–800 до 3000–4000 км осуществляется связь через первый ионосферный скачок. Также возможно многоскачковое распространение, несколькими переотражениями от поверхности Земли и ионосферы. Кроме того, возможен сложный многоскачковый путь с переотражениями от разных слоев ионосферы.

Ионосфера имеет сложную структуру, состоящую из нескольких слоев. В большей степени на ионосферу влияет солнечная активность. Поэтому условия распространения отраженной волны будут зависеть от времени суток (день/ночь), сезона (зима/лето), многолетнего солнечного цикла (период цикла Швабе – около 11 лет) и от случайной сол-

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ИМИТАТОРА ИОНОСФЕРНОГО КАНАЛА СВЯЗИ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИ ВАТТЕРСОНА

Е.В. Галузов, руководитель группы – вед. инженер FPGA, отдел внедрения аппаратных платформ,
И.В. Галуц, начальник отдела разработки комплексов связи,
К.В. Гольдибаев, зам. ген. директора – гл. конструктор,
Е.И. Глушанков, д-р. техн. наук, проф., вед. специалист НТИ ИКС НК,
Е.А. Рылов, канд. техн. наук, ген. директор,
А.В. Сорокин, начальник отдела внедрения аппаратных платформ, АО «Проектно-конструкторское бюро «РИО»,
 контакт. тел. +7(965) 095 6202, +7 (981) 171 6404, +7(961) 810 6003

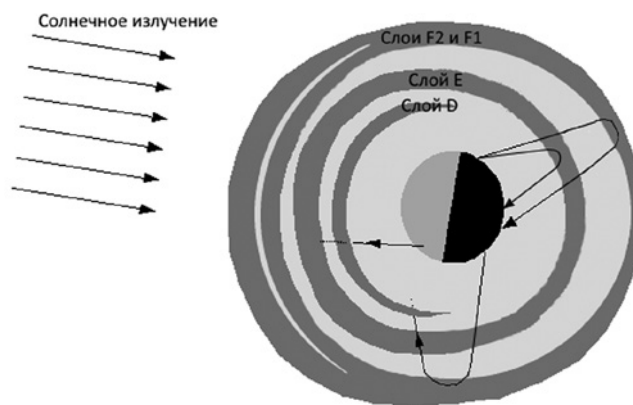


Рис. 2. Структура слоев ионосферы

нечной активности [1, 2]. Структура слоев ионосферы приведена на рис. 2.

Слой F2 (~300...450 км) – верхний из ионизированных слоев ионосферы. Концентрация слоя определяет максимальную применимую частоту. Слой F1 (~150...250 км) существует только днем, ночью сливается со слоем F2. Слой E (~100...120 км) – отражающий слой, наименее подвержен солнечной активности. Слой D (~60...80 км) – нижний и единственный поглощающий слой для радиоволн КВ диапазона. Существует только днем, ночью исчезает.

Так, днем лучше распространяются волны меньшей длины волны, а ночью – большей [3].

Наличие наименьшей применимой частоты (НПЧ) и уве-

личение значения НПЧ днем обусловлено тем, что затухание в слое D сильнее для низких частот и менее выражено для высоких частот. Соответственно днем концентрация слоя D максимальна. Данная зависимость (рис. 3) наглядно представлена в статье, опубликованной в 2000 г. на сайте Службы прогнозирования ионосферы радио и космической службы Австралийского бюро метеорологии (Ionospheric Prediction Services Radio and Space Services of the Australian Bureau of Meteorology (<http://www.ips.gov.au/papers/richard/hfreport/webrep.html>), см. рис. 3).

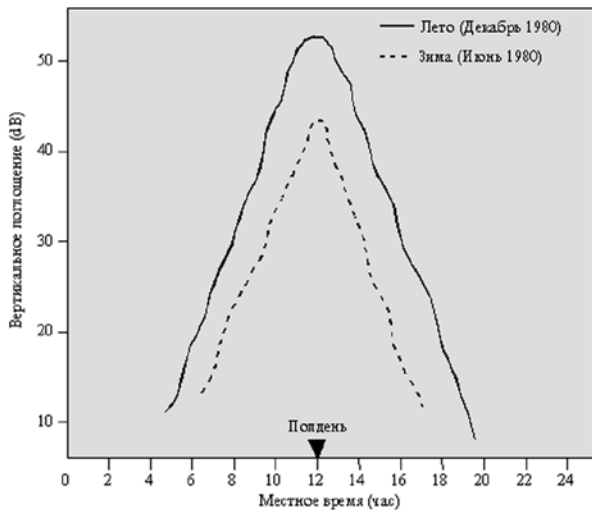


Рис. 3. Зависимость поглощения ионосферы от времени суток (г. Сидней, частота 2,2 МГц)

Значение НПЧ может зависеть от характера радиотрассы. Например, передатчик с круговой диаграммой направленности антенны (рис. 4) находится в точке заката (или рассвета). Приемник Б находится на солнечной стороне Земли, а приемник А – на теневой стороне. Соответственно поглощающий слой D на стороне приемника Б больше, а на стороне приемника А меньше или вовсе отсутствует. Соответственно $\text{НПЧ}_Б > \text{НПЧ}_А$.

Уменьшение максимальной применимой частоты (МПЧ) ночью обуславливается уменьшением концентрации свободных электронов в ионосфере ночью, что, в свою очередь, приводит к исчезновению слоя F1 и утоньшению слоя F2. Таким образом, критический угол отражения увеличивается, и сигнал (близкий к МПЧ), который днем отражался от верхних слоев ионосферы, перестает отражаться и преломляется в космическое пространство.

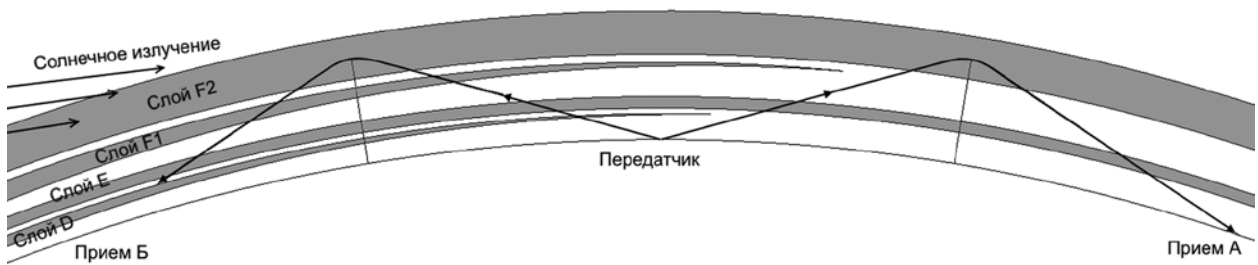


Рис. 4. Зависимость НПЧ от разных радиотрасс

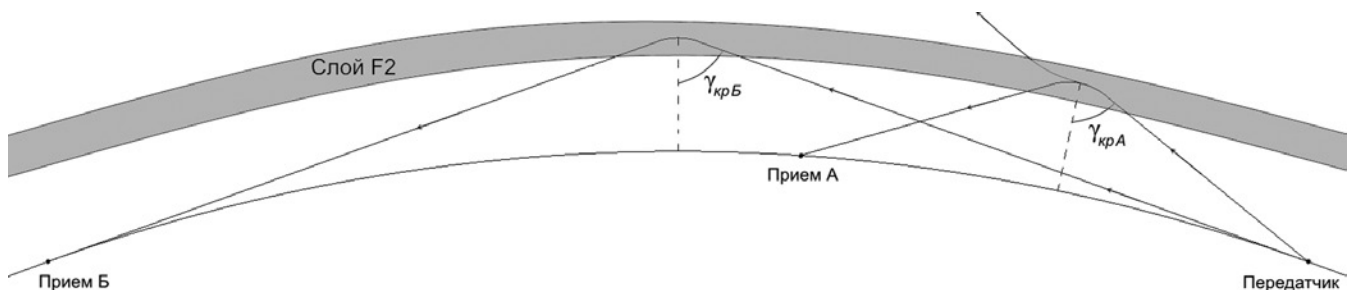


Рис. 5. Зависимость МПЧ от разных радиотрасс

Кроме того, стоит отметить, что понятие МПЧ применимо к конкретной радиотрассе. Если мы передаем сигнал из одной и той же точки, то для разных точек приема будет разный критический угол $\gamma_{кр}$ и, соответственно, разное значение МПЧ. Так, например, при работе на радиотрассе Б (рис. 5) по сравнению с радиотрассой А $\gamma_{крБ} > \gamma_{крА}$, т.е. $\text{МПЧ}_Б > \text{МПЧ}_А$. Попытка передать сигнал в точку А на частоте $\text{МПЧ}_Б$ приведет к преломлению сигнала в ионосфере и распространению его в космическое пространство.

В 2013 г. предприятием АО «ПКБ «РИО» была завершена опытно-конструкторская работа по адаптивной радиосвязи КВ-диапазона и запущена опытная эксплуатация изделия Р-778М, обеспечивающего радиочастотный мониторинг КВ-диапазона на заданных радионаправлениях. В результате для реальных КВ-радиотрасс были получены суточные зависимости по максимально применимым и минимально применимым частотам (рис. 6).



Рис. 6. Зависимость МПЧ и НПЧ от времени суток

Существует достаточно много моделей ионосферного канала, среди которых наиболее известны модели Ваттерсона, Яу, Воглера и Хоффмайера, модели В.Э.Герма, Н.Н.Зернова и Стрэйнджвэйса [5]. Все модели имеют определенные преимущества и недостатки.

Наиболее распространенная и рекомендованная к применению Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) – модель Ваттерсона. Схема этой модели приведена на рис. 7 [6].

Ионосферный канал моделируется следующим образом: входной сигнал подается на линию задержки. С линии берутся отводы, каждый последующий из которых задержан на время Δt относительно предыдущего. Каждый сигнал модулирует-

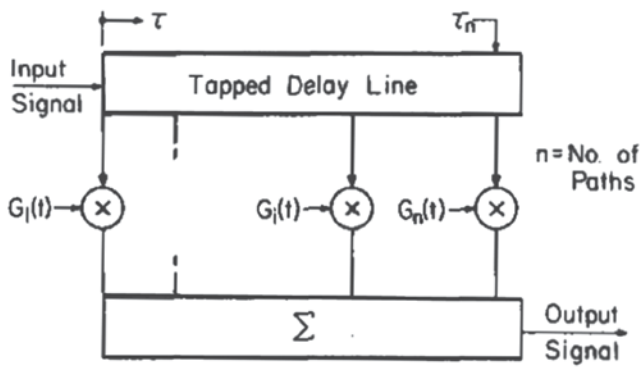


Рис. 7. Схема модели Ваттерсона

случайной комплексной функции времени $G_i(t)$, которая определяется следующим образом:

$$G_i(t) = G_{ia}(t) \exp(j2\pi f_{ia}t) + G_{ib}(t) \exp(j2\pi f_{ib}t).$$

Составляющие a и b обозначают компоненты двух лучей магнитоионного расщепления для сигнала i -го отвода. $G_{ia}(t)$ и $G_{ib}(t)$ представляют два комплексных независимых гауссовых эргодических случайных процесса с нулевым математическим ожиданием, каждый из которых имеет независимые действительную и мнимые части, которые вызывают рэлеевские замирания. Множители $\exp(j2\pi f_{ia}t)$ и $\exp(j2\pi f_{ib}t)$ обеспечивают частотный сдвиг f_{ia} и f_{ib} для двух компонент в спектре. Оба коэффициента $G_{ia}(t)$ и $G_{ib}(t)$ имеют спектр, представляющий сумму двух магнитоионных компонент, каждая из которых представляет собой гауссовскую функцию частоты

$$H(f) = \frac{1}{A_{ia}\sqrt{2\pi\sigma_{ia}}} \exp\left(-\frac{(f-f_{ia})^2}{2\sigma_{ia}^2}\right) + \frac{1}{A_{ib}\sqrt{2\pi\sigma_{ib}}} \exp\left(-\frac{(f-f_{ib})^2}{2\sigma_{ib}^2}\right). \quad (1)$$

Спектр комплексной функции рассеяния Ваттерсона $G_i(t)$ представляет собой независимое двумерное гауссово распределение (рис. 8). Известно, что модуль комплексной переменной независимого двумерного гауссового случайного процесса имеет распределение Рэля. Таким образом, в каждом i -луче формируются хорошо известные рэлеевские замирания, характерные для коротковолновых волн, распространяющихся через ионосферный канал.

Для моделирования такой функции используются два независимых генератора белого шума с равномерной плотностью распределения вероятности, после чего сигналы от них проходят через полосовые фильтры с гауссовой характеристикой. Таким образом получается случайный процесс с гауссовым распределением по времени и частоте.

Спектр коэффициента передачи i -луча

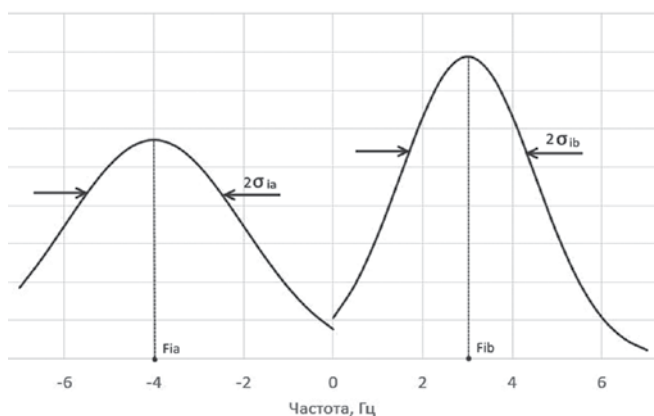


Рис. 8. Комплексная функция передачи i -го луча

В работе Ваттерсона [6] были описаны приведенные выражения. Однако там не были указаны конкретные значения параметров f_{ia} и f_{ib} , σ_{ia} и σ_{ib} , а также величины времен в линии задержки. Рекомендуемые значения данных параметров были даны Международным консультативным радиокomiteетом (CCIR), который позже был переименован в Международный телекоммуникационный союз (ITU-R) [7, 8]. Данные рекомендации приведены в таблице.

Таблица

Рекомендации параметров для различных условий

Канал (Условия)	Частотное уширение, Гц	Задержки, мс
Хороший	0,1	0,5
Средний	0,5	1,0
Плохой	1,0	2,0
Высокоширотный средний	10,0	3,0
Высокоширотный возмущенный	30,0	7,0

Данная модель была реализована в пакете Matlab с применением утилиты Simulink. Для проверки модели использовались различные радиочастотные сигналы. На рис. 9 приведен вид действительной и мнимой огибающей после прохождения немодулированной несущей $F_0 = 3$ МГц через имитатор с параметрами для плохого канала. Хорошо видны рэлеевские замирания, возникающие ввиду многолучевого распространения сигнала.

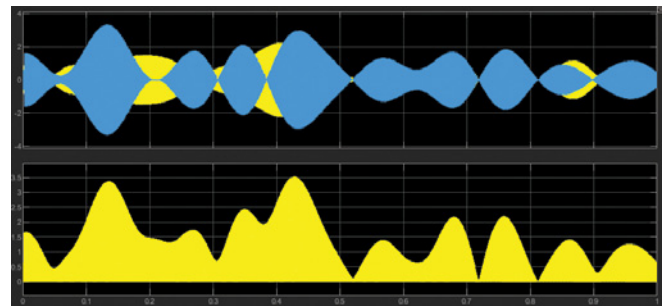


Рис. 9. Картина многолучевого распространения сигнала. Сверху – действительная (желтый) и мнимая (синий) компоненты огибающей.

Снизу – вещественная огибающая

Основной недостаток модели Ваттерсона – это хорошее моделирование канала со временем работы до 10 минут и плохое соответствие реальному каналу при длительной работе. Долговременные изменения ионосферных слоев не учитываются.

Коэффициенты затухания A_{ia} и A_{ib} в формуле (1) модели Ваттерсона имеют значения, не зависящие от частоты. На основании зависимостей, полученных при практическом проведении радиочастотных мониторингов КВ-радиолиний, показанных на рис. 3, мы ввели матрицу затуханий, зависящую по одной оси от времени суток, а по другой оси – от частоты сигнала.

Таким образом, при моделировании можно указать желаемое время суток моделирования. Для сигналов, соответствующих оптимальной рабочей частоте, результат моделирования совпадает с результатом классической модели Ваттерсона. А при отклонении частоты от оптимальной будет применяться затухание (увеличение коэффициента A_i в спектре i -луча), которое в сторону уменьшения частоты обуславливается увеличением затухания более низких частот в слое D ионосферы, а в сторону увеличения частоты будет определяться увеличением критического угла отражения от слоя F2 и соответственно ограничением МПЧ. График суточной матрицы частотно-селективных затуханий приведен на рис. 10.

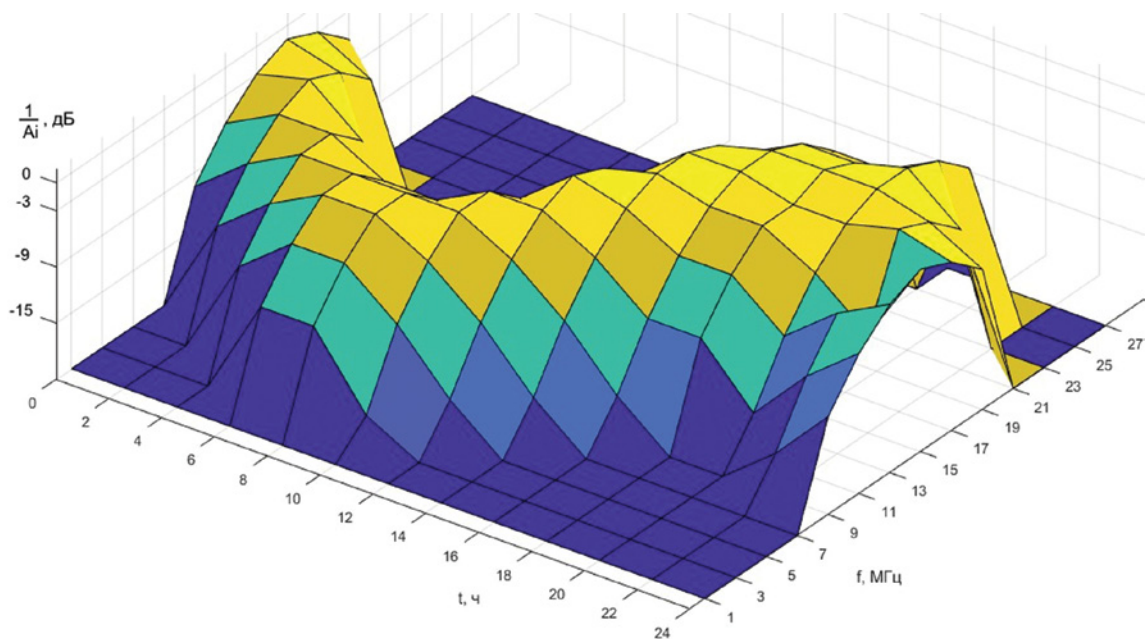


Рис. 10. Суточная матрица затуханий

Пример прохождения тестовых сигналов на разных частотах через доработанную модель приведен на рис. 11. Входным сигналом для всех случаев являются гармонические сигналы одинаковой амплитуды на частотах 6, 8, 12, 16, 18 МГц, выбранных из расчета времени моделирования в 12 ч дня. На все сигналы воздействует аддитивный белый гауссовский шум одинакового уровня. Параметры модели Ваттерсона выбраны для среднего канала (см. таблицу). На графиках представлены квадратурные составляющие выходного сигнала. Видно, что на оптимальной рабочей частоте (12 МГц) амплитуда полезного сигнала максимальна, а при приближении к МПЧ и НПЧ сильно уменьшается. На рисунке видны рэлеевские замирания, формируемые коэффициентами $G_{ia}(t)$ и $G_{ib}(t)$, независимыми для двух квадратурных компонентов выходного

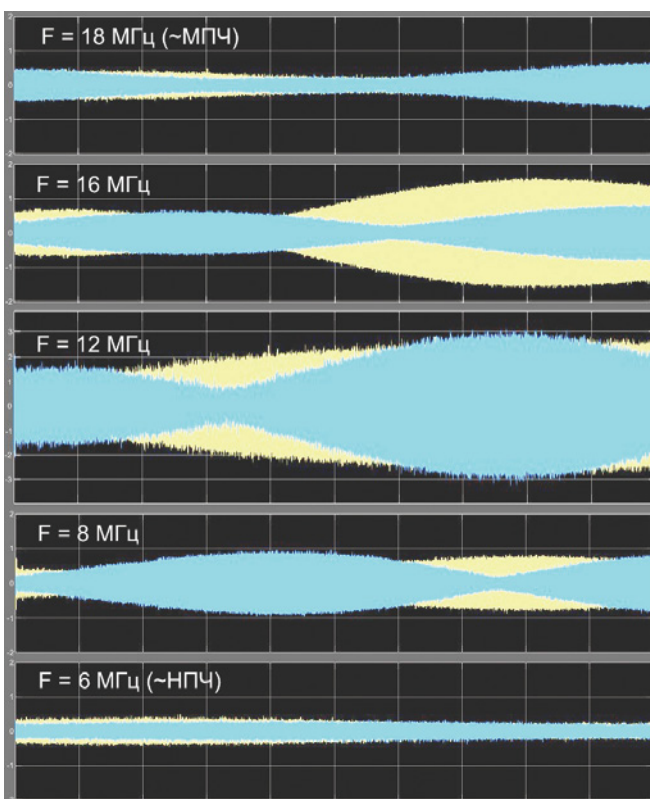


Рис. 11. Действительная (желтый) и мнимая (синий) компоненты выходных сигналов доработанной модели при различных входных гармонических сигналах

сигнала, моделирующие магнитоионное расщепление i -луча на две компоненты.

Наиболее сложной и дорогой частью испытаний при разработке радиоаппаратуры КВ-диапазона являются трассовые испытания на реальных радиолиниях. Это требует наличия высококвалифицированных сотрудников на значительно удаленных объектах и обеспечение их независимым каналом связи между объектами для проведения встречных настроек радиоаппаратуры, что не всегда возможно.

Упростить трассовые испытания можно только проведением полноценных испытаний на стенде предприятия-изготовителя при наличии качественного имитатора КВ-канала, для этого требуются точные математические модели. При наличии качественной математической модели канала построение полноценного имитатора канала связи становится рядовой инженерной задачей.

На основе указанных выше улучшений математической модели Ваттерсона разработан программный имитатор ионосферного КВ канала связи в средах Matlab и Simulink, и в дальнейшем модель планируется к практическому внедрению в аппаратный имитатор КВ-канала для стенда АО «ПКБ «РИО».

ЛИТЕРАТУРА

1. Долуханов М.П. Распространение радиоволн. – М.: Связь, 1972.
2. Нефедов В.И. Основы радиоэлектроники и связи: Учеб. пособие. – М.: Высш. школа, 2002.
3. Калишин А.И., Черенкова Е.Л. Распространение радиоволн и работа радиолиний. – М.: Связь, 1971.
4. Johnson Eric E., Koski Erik, Furman William N., Jorgenson Mark and Nieto John. Third-Generation and Wideband HF Radio Communications. – Norwood, NJ: Artech House, 2012.
5. Викторов М.А. Современные имитационные модели каналов радиосвязи декаметрового диапазона. – Инструменты, механизмы и технологии современного инновационного развития: Сб. ст.Международ. науч.-практич. конфер. 25 февраля 2020 г. – Пермь: Науч.-изд. центр «АЭТЕРНА». – 2020. – С. 9–14.
6. Watterson C., Juroshek J., Bensema W. // IEEE Trans. Commun. Techn. – 1970. – Vol. 18. – № 6. – P. 792.
7. CCIR Recommendation 520-1 19821 «Use of High Frequency Ionospheric Channel Simulators». – Geneva: Int. Telecom. Union, 1995.
8. ITU-R Rec. F1487 «Testing of HF Modems with Bandwidth of up to about 12 kHz Using Ionospheric Channel Simulator». – Geneva: Int. Telecom. Union, 2000.
9. Метелев С. А. Модификация модели Ваттерсона ионосферного канала коротковолновой радиосвязи для адаптивного пространственно разнесенного приема // Изв.вузов: Радиофизика. – 2012. – Т. 55. – № 4. – С. 266–279.
10. <http://www.ips.gov.au/papers/richard/hfreport/webrep.html> ■

В 2024 г. страна отмечает 65-ю годовщину атомного ледокольного флота. История отечественного атомного ледокольного флота берет свое начало 3 декабря 1959 г. В этот день был принят в эксплуатацию первый в мире атомный ледокол «Ленин» пр. 92 (рис. 1).

Только с появлением атомного ледокольного флота Северный морской путь (СМП) начал играть роль транспортной артерии в Арктике.

Россия является единственной страной в мире, обладающей атомным ледокольным флотом, что объясняется ее стратегическими интересами в Арктике. В Морской доктрине РФ к числу долгосрочных задач относится строительство и обновление атомного ледокольного флота [1]. Необходимость создания новых атомных ледоколов разных типов связана с возрастающей ролью СМП, включая обеспечение круглогодичной транзитной перевозки грузов, освоение газовых месторождений Ямала, шельфовых месторождений.

В условиях Арктики только атомный ледокол способен выполнять поставленные задачи – обеспечение судоходства по СМП и всех научно-исследовательских работ, связанных с изучением континентального шельфа и обоснованием принадлежности России шельфовых территорий в арктических морях, осуществление северного завоза, освоение богатств Арктического шельфа [2].

В период с июня 1971 г. по октябрь 1992 г. на Балтийском заводе в Ленинграде были построены атомные ледоколы второго поколения – «Арктика» (рис. 2), «Сибирь» (оба – пр. 1052), «Россия», «Советский Союз» и «Ямал» пр. 10521 (рис. 3).

Их сооружение и эксплуатация на десятилетия предопределили технологические преимущества нашей страны в атомном судостроении. Ввод в эксплуатацию атомного ледокола «Арктика» (1975 г.) позволил открыть круглогодичную навигацию в западном секторе этого региона.

В 1984–1988 гг. на Керченском заводе «Залив» был построен и введен в эксплуатацию атомный лихтеровоз «Севморпуть» (рис. 4) – ледокольно-транспортное судно с атомной силовой установкой типа КЛТ-40. «Севморпуть» – самое большое из когда-либо построенных невоенных торговых судов с ядерной энергетической установкой, крупнейший по водоизмещению лихтеровоз. Назван в честь СМП, для которого он и строился. Это единственное судно, построенное по пр. 10081 и предназначенное для транспортировки грузов в лихтерах и контейнерах в отдаленные северные районы и способное самостоятельно следовать во льдах толщиной до 1 м.

В 1989–1990 гг. были приняты в эксплуатацию мелкосидящие атомные (с осадкой менее 11 м) ледоколы третьего поколения «Таймыр» и «Вайгач» пр. 10580

К 65-Й ГОДОВЩИНЕ АТОМНОГО ЛЕДОКОЛЬНОГО ФЛОТА РОССИИ

В.Е. Мартышенков, зам. гл. конструктора,
Е.А. Кудрявцев, канд. техн. наук, гл. конструктор КСУ,
АО «Концерн «НПО «Аврора»,
контакт. тел. (812) 610 1173



Рис. 1. Атомный ледокол «Ленин» (www.atomic-energy.ru)



Рис. 2. Атомный ледокол «Арктика» (www.rosatomflot.ru)



Рис. 3. Атомный ледокол «Ямал» (www.rosatomflot.ru)



Рис. 4. Атомный лихтеровоз-контейнеровоз «Севморпуть» (www.atomic-energy.ru)



Рис. 5. Атомный ледокол «Вайгач» (www.rosatomflot.ru)



Рис. 6. Атомный ледокол «50 лет Победы» (www.rosatomflot.ru)



Рис. 7. Универсальный атомный ледокол «Арктика» (www.atomic-energy.ru)

(рис. 5), построенные специально для работы на мелководье и в устьях сибирских рек.

В марте 2007 г., после пятнадцатилетнего перерыва, на Балтийском заводе в Санкт-Петербурге был достроен и введен в эксплуатацию ледокол «50 лет Победы» (рис. 6) мощностью 75 тыс. л. с., последний из серии ледоколов типа «Арктика» пр. 10521. Он оснащен первой в истории атомного флота России комплексной цифровой системой управления техническими средствами.

В связи с выработкой ресурса реакторных установок происходит последовательный вывод из эксплуатации атомных ледоколов, построенных в конце XX в.

В настоящее время для обеспечения круглогодичной навигации в Арктике на Балтийском заводе в Санкт-Петербурге осуществляется строительство шести двухосадочных универсальных атомных ледоколов (УАЛ) пр. 22220, первые три из которых уже введены в эксплуатацию: головной УАЛ «Арктика» (рис. 7) – период строительства 2013–2020 гг., «Сибирь» – период строительства 2015–2022 гг., «Урал» – период строительства 2016–2022 гг.

26 мая 2020 г. заложен, 22 ноября 2022 г. спущен на воду и достраивается у причала Балтийского завода УАЛ «Якутия» этого же проекта. Планируемый ввод в эксплуатацию – декабрь 2024 г. 16 декабря 2020 г. на одном из стапелей заложен УАЛ «Чукотка». Планируемый ввод в эксплуатацию – декабрь 2026 г. 26 января 2024 г. на стапеле Балтийского завода заложен шестой УАЛ «Ленинград». Все они предназначены для работы не только на трассе Севморпути, но и на мелководных участках арктического шельфа и в устьях сибирских рек.

Для обеспечения круглогодичной навигации на всей трассе СМП и лидерования при высокоширотных проходах крупнотоннажных транспортных судов АО «ЦКБ «Айсберг» разработан технический проект ледокола-лидера (пр. 10510) (рис. 8) и развернуты работы по его строительству, которое ведет ООО «ССК «Звезда» в г. Большой Камень Приморского края. Атомный ледокол-лидер будет оснащен двумя реакторами РИТМ-400 тепловой мощностью 315 МВт каждый. Ледокол позволит обеспечить круглогодичную поставку углеводородов газозамами типа «Кристоф де Маржери» с месторождений полуострова Ямал в страны Азиатско-Тихоокеанского региона.

Планируется построить серию из трех ледоколов пр. 10510. Строительство первого ледокола началось 6 июля 2020 г. – в этот день на ССК «Звезда» состоялась первая резка металла для строительства атомного ледокола пр. 10510 «Лидер». Закладка атомохода состоялась 5 июля 2021 г. Госкорпорация «Росатом» поддержала инициативу ФГУП «Атомфлот» о присвоении атомному ледоколу-лидеру названия «Россия» [3]. Срок ввода в эксплуатацию головного

ледокола назначен на конец 2027 г. Планируемый срок ввода в эксплуатацию следующих двух ледоколов серии – до конца 2033 г.

Современное развитие ледокольного флота России и ядерной энергетики, осуществляемое в рамках федеральных целевых программ, вызвано приоритетными задачами энергетического обеспечения удаленных прибрежных районов России, обеспечения северного завоза, освоения шельфа и разработки Павловского месторождения на Новой Земле, добычи и транспортировки жидких углеводородов Арктики, развертывания военных группировок в этом регионе, восстановления инфраструктуры аэродромов и портов Новосибирских островов, Земли Франца Иосифа и других районов Крайнего Севера.

В этой связи в соответствии с федеральной целевой программой «Безопасность и развитие ядерной энергетики» осуществлены строительство и ввод в эксплуатацию в г. Певек Чукотского автономного округа плавучего атомного энергоблока «Академик Ломоносов» пр. 20870 (рис. 9) с ядерными реакторами КЛТ-40 С. В настоящее время ведется разработка и проектирование модернизированного плавучего атомного энергоблока (МПЭБ) пр. 20871 с ядерными реакторами РИТМ-200 С, предназначенного для обеспечения энергией Баймского медно-порфирирового бассейна; оптимизированного плавучего атомного энергоблока (ОПЭБ) пр. 23870 с ядерными реакторами РИТМ-200 М для работы в регионах с жарким климатом; плавучего атомного энергоблока пр. 20873 с ядерными реакторами РИТМ-400 М для работы в арктическом регионе России.

До 2008 г. эксплуатация атомных ледоколов осуществлялась Мурманским морским пароходством. В 2008 г. было организовано ФГУП «Атомфлот» – предприятие, входящее в госкорпорацию «Росатом». ФГУП «Атомфлот» является единственным в стране и в мире предприятием, осуществляющим эксплуатацию атомных ледоколов и судов атомно-технологического обслуживания.

Создание атомного флота Советского Союза, а затем и Российской Федерации неразрывно связано с автоматизацией технологических процессов, происходящих в ЯЭУ, ПТУ, ЭЭС, ОСС атомных судов и кораблей.

Все основные боевые корабли ВМФ России (как с атомными установками, так и с энергоустановками на органическом топливе), все атомные ледоколы и свыше 300 судов гражданского флота оборудованы комплексами автоматизированных систем управления, разработанными и изготовленными в АО «Концерн «НПО «Аврора». Системы управления, созданные на предприятии, успешно эксплуатируются на объектах промышленной энергетики, нефтедобычи и газодобычи.



Рис. 8. Атомный ледокол проекта «Лидер» (www.atomic-energy.ru)



Рис. 9. Плавучий атомный энергоблок «Академик Ломоносов» (www.atomic-energy.ru)

В технических решениях организации управления как собственно реакторными установками, так и другими технологическими комплексами судов с ядерными энергетическими установками, реализованных АО «Концерн «НПО «Аврора», обеспечение ядерной безопасности было поставлено во главу угла. За 54-летнюю историю в АО «Концерн «НПО «Аврора» созданы и сданы в эксплуатацию комплексные системы управления техническими средствами (КСУ ТС) и автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУ ТП) для атомных ледоколов «Ленин» (в том числе его модернизированной ЯЭУ), «Арктика», «Сибирь», «Россия», «Советский Союз», «Ямал» (КСУ ТС «Север»), «Таймыр», «Вайгач» (КСУ ТС «Север-80»), «50 лет Победы» (КСУ ТС «Север-М1»), атомного лихтеровоза «Севморпуть» (КСУ ТС «Север-81»), плавучего атомного энергоблока «Академик Ломоносов» с ядерными реакторами КЛТ-40 (АСУ ТП ПЭБ «Лагуна»); УАЛ «Арктика», «Сибирь», «Урал» с ядерными реакторами РИТМ-200 (КСУ ТС «Котлин-220»).

В настоящее время ведется изготовление систем управления для серийных УАЛ «Якутия», «Чукотка»; разработка и проектирование систем управления для атомного ледокола-лидера пр. 10510 (ИАСУ ТП «Лидер-10510»), модернизированного плавучего атомного энергоблока пр. 20871 (АСУ ТП «Лиман»), оптимизированного плавучего атомного энергоблока пр. 23870 (АСУ ТП «Лагу-

на-23870»), плавучего атомного энергоблока пр. 20873 (АСУ ТП «Аян»).

В рамках реализации этих проектов накоплен уникальный опыт создания аппаратуры управления и защиты реакторов, управления технологическими процессами паропроизводящих и паротурбинных установок, электростанций, общесудовых систем, а также аппаратуры централизованного контроля и бесперебойного питания.

В течение многолетней эксплуатации ледоколов установленные на них системы управления и контроля, созданные в НПО «Аврора», подтвердили высокую надежность и назначенные ресурсные показатели.

В АО «Концерн «НПО «Аврора» пройден путь от разработки и изготовления отдельных локальных устройств управления и регулирования до интегрированных многосвязных систем управления, используемых на объектах отечественного атомного флота. Достигнутый к настоящему времени уровень, а также перспективные направления развития позволяют концерну занимать ведущие позиции в автоматизации атомных судов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Морская доктрина Российской Федерации. Утв. Указом Президента Российской Федерации от 31.07.2022 № 512.
2. Кашка М.М., Мантула Н.В., Пономаренко А.В. Опыт и перспективы эксплуатации в Арктике атомного ледокольного флота России // Арктика: экология и экономика. – 2012. – № 3 (7). (Изд. ФГБУ науки «Институт проблем безопасного развития атомной энергетики» РАН, Москва).
3. <http://www.rosatomflot.ru> ■

Развитие систем радиосвязи идет по пути создания программно-определяемого (SDR) радио- и когнитивных (CRS) систем [1]. CRS определяется [2] как «радиосистема, использующая технологию, позволяющую ей получать знания о своей среде эксплуатации и географической среде, об установившихся правилах и о своем внутреннем состоянии, динамически и автономно корректировать эксплуатационные параметры и протоколы согласно полученным знаниям для достижения заранее поставленных целей и обучаться на основе полученных результатов». В настоящей статье делается попытка предложить вариант реализации построения CRS применительно к задаче взаимодействия радиосредств различной ведомственной принадлежности. Потребность во взаимодействии между радиосредствами различных систем связи возникает довольно часто при совместной работе представителей различных ведомств и организаций, особенно в чрезвычайных ситуациях. Вместе с тем выпускаемые промышленностью радиосредства для одних ведомств и организаций не имеют каналов общения с радиосредствами других ведомств. Однако анализ [3, 4] показывает, что современные радиосредства обладают несколькими внешними интерфейсами для подключения внешних устройств. Такими интерфейсами чаще всего являются USB, Ethernet, RS 232 и др. В качестве внешних устройств используются ноутбук, внешняя память, пульта дистанционного управления и т. п. Поэтому перечень подключаемых к радиостанции внешних устройств может быть дополнен модулем взаимодействия с радиосредствами других систем связи (МВРДС). Требуется только определить содержательную часть информации, содержащейся в МВРДС. Цель настоящей работы – определить возможные алгоритмы и протоколы взаимодействия между радиосредствами различной ведомственной принадлежности.

ФОРМАЛИЗАЦИЯ ПРОЦЕДУРЫ РАДИООБМЕНА

Однако прежде чем обсуждать возможные протоколы взаимодействия, надо решить вопрос о частотном ресурсе межведомственного обмена информацией. Известны частоты, которые широко используются в свободном доступе. К таким частотам относятся 27 МГц, 433 МГц, 2.4 ГГц. Кроме того, в ряде радиостанций предусмотрены частоты спасения 121,5 МГц, 243,0 МГц. Так как частота межведомственного общения законодательно не определена, будем предполагать, что она существует и ее

ПУТИ ОРГАНИЗАЦИИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ РАДИОСРЕДСТВ РАЗЛИЧНЫХ СИСТЕМ СВЯЗИ

*А.С. Батурин, руководитель СКБ – гл. конструктор ТЗУ,
Б.П. Верба, начальник отдела разработки схемотехники,
Р.А. Тратанов, вед. инженер-конструктор,
СКБ АО «НПО «Завод «Волна», г. Саранул,
контакт. тел. (812) 252 0914*

выделяют ведомства, заинтересованные в межведомственном общении из собственных ресурсов.

Пусть X_A – активное средство связи, которое стремится установить связь с радиосредствами других систем связи X_{B_i} , где $i = 1, 2, \dots, m$ – количество радиосредств. Схема взаимодействия представлена на рис. 1.

Предполагаем, что каждое радиосредство располагает МВРДС, который может быть реализован как встроенным программно-аппаратным средством, так и в виде внешнего модуля, подключаемого к радиостанции посредством интерфейса Ethernet.

Каждое радиосредство обладает набором параметров, необходимых для установления. Пример набора таких параметров представлен в табл. 1.

Целесообразно параметры представлять в виде номеров из некоторого перечня, который записывается в память МВРДС. Возможно некоторое специальное кодирование.

Для того чтобы радиосредство X_A могло организовать обмен информацией с любым радиосредством X_{B_i} необходимо, чтобы все их параметры совпадали: $F_A = F_{B_i}$, $M_A = M_{B_i}$, $K_A = K_{B_i}$, $Y_A = Y_{B_i}$, $Z_A = Z_{B_i}$.

Выполнение этих условий может быть достигнуто несколькими путями. Во-первых, в памяти радиосредства X_A может храниться вся информация о значениях параметров радиосредств, с которыми планируется устанавливать взаимодействие. Во-вторых, можно организовать обмен информацией между радиосредством X_A и любым из радиосредств X_{B_i} по специальному защищенному служебному каналу связи. В результате обмена служебной информацией каждое из радиосредств будет готово к информационному обмену. В-третьих, можно организовать единый информационный канал для межведомственного взаимодействия. В этом случае во всех радиосредствах разных ведомств должен быть предусмотрен специальный режим и все параметры для его организации должны быть одинаковыми:

$$F_A = F_{B_1} = \dots = F_{B_m}; M_A = M_{B_1} = \dots = M_{B_m};$$

$$K_A = K_{B_1} = \dots = K_{B_m};$$

$$Y_A = Y_{B_1} = \dots = Y_{B_m}; Z_A = Z_{B_1} = \dots = Z_{B_m}.$$

Проанализируем возможности способов реализации межведомственного взаимодействия. Первый вариант с хранением информации представляется весьма привлекательным, так как не требует дополнительных временных и информационных ресурсов для его реализа-

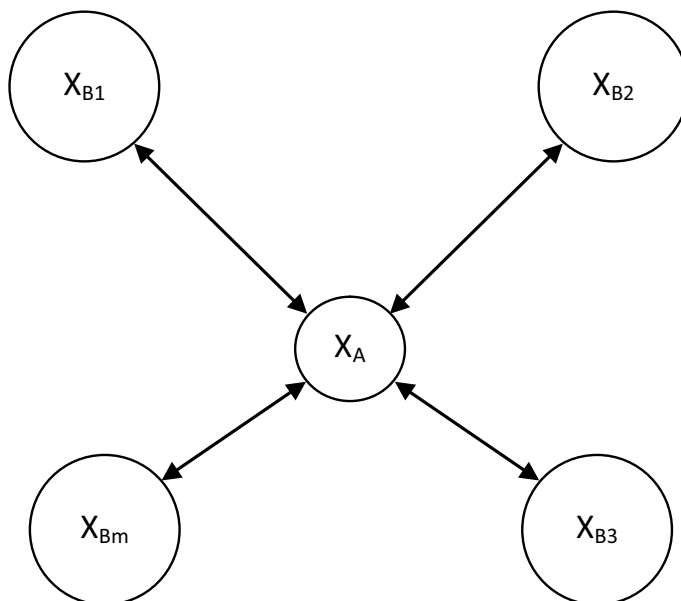


Рис. 1. Схема взаимодействия

Набор параметров радиосредств

Радиосредство	Частота	Вид модуляции	Тип помехоустойчивого кодирования	Вид	Защита
X_{B1}	F_{B1}	M_{B1}	K_{B1}	Y_{B1}	Z_{B1}
X_{B2}	F_{B2}	M_{B2}	K_{B2}	Y_{B2}	Z_{B2}
...
X_{Bm}	F_{Bm}	M_{Bm}	K_{Bm}	Y_{Bm}	Z_{Bm}
X_A	F_A	M_A	K_A	Y_A	Z_A

ции. Однако анализ радиосредств, используемых в различных ведомствах, показывает, что доступ ко всему набору параметров организации радиосвязи весьма ограничен. Особенно это касается параметров услуг и защиты информации. Поэтому реализация этого способа межвидового взаимодействия сталкивается прежде всего с проблемами организационно-технического характера. Такие проблемы преодолеваются чрезвычайно трудно. Реализация подобного способа в настоящее время возможна только частично, при условии, что разработчики средств связи и службы эксплуатации нескольких, наиболее заинтересованных ведомств обмениваются соответствующей информацией. Кроме того, необходимо проведение дополнительных опытно-конструкторских работ по стыковке радиосредств в одном из выбранных режимов. Наиболее легко реализуемым режимом при этом является открытый аналоговый речевой обмен информацией. Такой режим может удовлетворить службы эксплуатации разных ведомств только как режим «последней надежды», что является, как правило, недостаточным. Третий вариант предполагает введение стандарта межвидового информационного канала, с учетом которого должны быть выделены частоты нескольких диапазонов, определены виды модуляции и прочие параметры на уровне государственной комиссии по радиочастотам. Отдельный стандарт межвидового информационного канала позволит избежать проблем с ограниченным набором параметров различных организаций, услуг и защиты информации, позволяя проводить обмен информацией со всеми ведомствами в зоне действия радиосредства. Однако работа межвидового информационного канала возможна лишь при условии разработки новых радиосредств и наличии в техническом задании требования к его наличию.

Второй вариант предусматривает обмен специальной служебной информацией между радиосредствами различных систем связи. Для организации такого обмена необходимо всем средствам радиосвязи выделить от двух до пяти частот и предусмотреть специальный режим связи. Специальный режим межвидового взаимодействия определяется типом и видом передаваемой информации и протоколом установления связи. Рассмотрим простейший протокол установления связи. Пусть абонент X_A посылает запрос одному или нескольким абонентам X_{B1} . Запрос должен содержать идентификатор абонента X_A , его статус, определяющий доступ к межвидовому взаимодействию. На основании результатов анализа содержания запроса абонент X_{B1} посылает абоненту X_A под-

тверждение о готовности к взаимодействию, в котором сообщается, на какой частоте и в каких режимах возможен обмен информацией. Схема обмена информацией представлена на рис. 2.

Предположим, что служебный канал организован на принципах доступа в временном разделении каналов. В основу организации служебного канала положим положения стандарта DECT [5]. Однако для решаемой задачи стандарт избыточен. Поэтому, оставив основу, проведем некоторую модернизацию с целью упрощения процедур. Разделим временной интервал на отдельные кадры по 10 мс. Каждый кадр разделим на 12 временных слотов: 6 слотов для приема информации и 6 слотов для передачи. Структура кадра представлена на рис. 3.

Одна из основных проблем для организации межвидового взаимодействия в системах радиосвязи – обеспечение защиты от несанкционированного доступа. Для решения этой проблемы при формировании сигнала запроса вырабатывается случайное число (64 бита). Радиосредства X_A и X_{B1} на основании этого числа и ключа аутентификации по заданному алгоритму вычисляют аутентификационный ответ (32 бита), который радиосредством X_A передается на X_{B1} . Радиосредство X_{B1} сравнивает вычисленный аутентификационный ответ с принятым и при их совпадении разре-

шает подключение радиосредства X_A к радиообмену. Аутентификационный код хранится в памяти радиостанций X_A и X_{B1} . Запись в память осуществляется с внешнего устройства, представляющего Flash-память. Совместно с аутентификационным кодом может быть использован персональный идентификатор пользователя длиной 32–64 бита, который вводится вручную.

Таким образом, для организации межвидового взаимодействия необходимо определить несколько структур информационного кадра (ИК). Согласно описанной последовательности обмена информацией необходимо пять структур:

- (ИК-1) «запрос»;
- ИК-2 «аутентификация»;
- ИК-3 «готовность к радиообмену»;
- ИК-4 «радиообмен»;
- ИК-5 «отбой».

Структура информационная кадра ИК-1 «запрос» представлена в табл. 2. Передается от радиосредства X_A в сторону X_{B1} .

Структура информационного кадра ИК-2 «аутентификация» представлена в табл. 3. Передается в направлении от X_{B1} в сторону X_A .

Структура информационного кадра ИК-3 «готовность к радиообмену» представлена в табл. 4. Передается в направлении от X_A в сторону X_{B1} .



Рис. 2. Схема обмена информацией

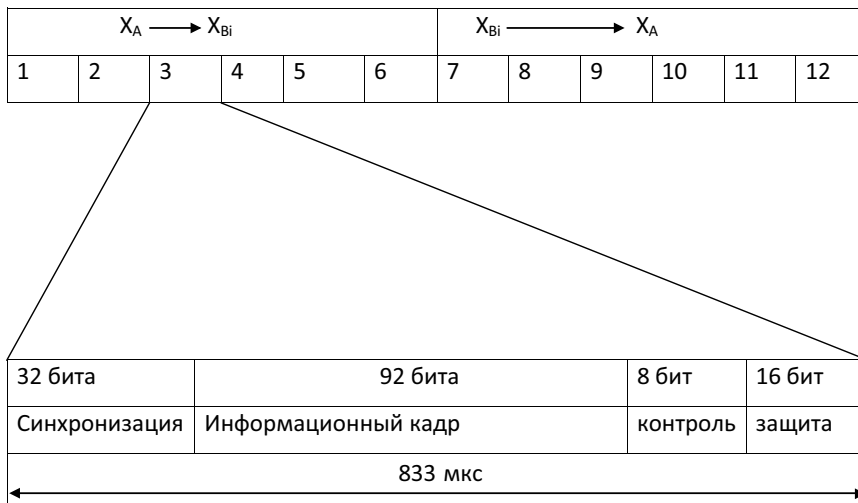


Рис. 3. Структура кадра

Таблица 2

Структура ИК «запрос»

T_k	F_A	M_A	K_A	Y_A	Z_A	R_A	$Z_{\text{и}}$
4 бит	4 бит	4 бит	4 бит	4 бит	4 бит	64 бит	4 бит

Здесь T_k – тип кадра, R_A – случайное число, генерируемое радиосредством X_A для процедуры аутентификации, $Z_{\text{и}}$ – защитный интервал.

Таблица 3

Структура ИК «аутентификация»

T_k	AO_{B_i}	F_{B_i}	M_{B_i}	K_{B_i}	Y_{B_i}	Z_{B_i}	P	$Z_{\text{и}}$
4 бит	32 бит	4 бит	4 бит	4 бит	4 бит	4 бит	32 бит	4 бит

Здесь AO_{B_i} – аутентификационный ответ радиоустройства X_{B_i} , P – резерв.

Таблица 4

Структура ИК «готовность к радиообмену»

T_k	AO_A	F_A	M_A	K_A	Y_A	Z_A	P	$Z_{\text{и}}$
4 бит	32 бит	4 бит	4 бит	4 бит	4 бит	4 бит	32 бит	4 бит

Здесь AO_A – аутентификационный ответ радиоустройства X_A .

Таблица 5

Структура ИК «радиообмен»

T_k	Информация	$Z_{\text{и}}$
4 бит	84 бит	4 бит

Информационный кадр ИК-5 «отбой» имеет структуру, представленную в табл. 6. Кадр передается от X_{B_i} в сторону X_A .

Таблица 6

Структура ИК «отбой»

T_k	Отбой	F_d	P	$Z_{\text{и}}$
4 бит	4 бит	4 бит	76 бит	4 бит

Здесь F_d – дежурная частота для установления межвидового взаимодействия.

Структура информационного кадра ИК-4 «радиообмен», который передается как от X_{B_i} в сторону X_A , так и от X_A в сторону X_{B_i} , представлена в табл. 5. Параметры радиоканала в этом случае определяются предыдущим информационным кадром ИК-3: F_A , M_A , K_A , Y_A , Z_A .

Таким образом сформирован проект протокола межвидового взаимодействия различных радиосредств в предположении, что для целей установления связи выделена дежурная частота и все средства связи регулярно прослушивают эту частоту. Однако возможны ситуации,

когда средство связи, с которым необходимо установить связь, прослушивает дежурную частоту нерегулярно. В этом случае на команду «запрос» (ИК-1) ответ не будет получен. Время ожидания ответа должно быть зафиксировано, например, $T_{\text{ож}} = 30$ с. После истечения этого времени возможны следующие варианты:

- запрос прекращается;
- запрос посылается на запасной дежурной частоте;
- запрос периодически повторяется до тех пор, пока не будет получен ответ.

Следовательно, процесс установления связи носит вероятностный характер. Поэтому требуется оценить вероятностные характеристики установления связи между радиосредствами разной ведомственной принадлежности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе работы были предложены варианты протоколов взаимодействия радиосредств разной ведомственной принадлежности. Определены структуры информационных кадров, а также рассмотрены варианты защиты передаваемой информации. Впоследствии необходимо провести имитационное моделирование предложенных протоколов и оценить распределение ресурса системы связи. На основании результатов моделирования будут определены количественные характеристики используемых ресурсов гетерогенной системы связи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Громаков Ю.А., Снопков К.А. Принципы построения систем когнитивного радио в приложении к сотовой связи//Электросвязь. – 2018. – № 1. – С. 42–50.
2. Report INU-R SM/2152 Definition of Software Defined Radio (SDR) and Cognitive Radio System (CRS). – ITU, 2009.
3. Полин Д.Ю., Бояришинов М.А., Хворенков В.В. Пути построения аппаратно-программных комплексов связи//Вестник ИжГТУ им. М.Т. Калашникова. – 2013. – № 1. – С. 108–111.
4. Хворенков В.В., Серяков А.Г., Копысов А.Н. Применение комплекса КВ, УКВ радиосвязи в Арктике. – Развитие Арктики и полярных регионов. – Сб. мат-лов Всеросс. науч.-практ. конфер. – 2014. – С. 194–197.
5. Шахнович И.В. Современные технологии беспроводной связи. – М.: Техносфера. – 2006. – 288 с.
6. Корнышев Ю.Н., Пшеничников А.П., Харкевич А.Д. Теория телетрафика: Учебник для вузов. – М.: Радио и связь. – 1996. – 272 с.
7. Кучерявый Е.А., Самуйлов К.Е. Методология распределения ресурсов в гетерогенных сетях//Электросвязь. – 2018. – № 4. – С. 34–40.
8. Шишаков К.В., Бояришинов М.А., Караваев П.В., Батурич А.С., Савельев А.В. Методика расчета радиолиний между двумя антеннами//Интеллектуальные системы в производстве. – 2016. – № 3. – С. 64–67.
9. Верба Б.П., Мосунов Д.Г., Шишаков К.В. Способы построения согласующих антенных устройств. – Приборостроение в XXI веке. 2016. Интеграция науки, образования и производства: Сб. мат-лов XII Международ. науч.-техн. конфер., 2017, с. 43–50.
10. Хворенков В.В., Караваев П.В., Савельев А.В. Решение задачи управления ресурсами в цифровой радиосистеме с использованием теоретико-игрового подхода//Интеллектуальные системы в производстве. – 2016. – № 2 (29). – С. 76–80. ■

Несмотря на активное развитие спутниковой связи на флоте, системам радиосвязи промежуточных (ПВ) и коротких волн (КВ) по-прежнему отводится важная роль в организации информационного трафика между судами и береговыми службами [1–6]. Так, в соответствии с Российским морским регистром судостроения и гл. IV СОЛАС–74 каждое судно, находящееся в районе А1–А3, оснащается радиоустановками, работающими в диапазоне ПВ/КВ [5]. Причем в соответствии с указаниями международной системы Глобальной морской системы связи при бедствии (ГМССБ) каждое судно должно иметь две различные и независимые друг от друга системы радиосвязи для обеспечения аварийного оповещения [2,3,7].

Таким образом, на системы радиосвязи диапазона ПВ/КВ возложены ответственные задачи по обеспечению устойчивой связи. Поскольку именно от технических возможностей радиостанций диапазона ПВ/КВ во многом зависит своевременное оповещение о терпящих бедствия судах. Поэтому вопросы повышения достоверности приема в диапазоне ПВ/КВ являются актуальными для системы морской радиосвязи.

В настоящей статье представлены результаты повышения достоверности приема сигналов, кодированных международным телеграфным кодом №2, за счет уточнения величины порога принятия решения, используемого в демодуляторе сигналов BPSK.

АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ ТЕЛЕГРАФНЫХ КОДОВ

Телеграфные коды, несмотря на их относительно низкую скорость, все еще находят применение, в том числе и на линиях морской радиосвязи [8–10].

В настоящее время основой для телеграфных сообщений являются различные версии кодов ASCII (англ. American Standard Code for Information Interchange), которые представляют собой стандарт кодировки символов для электронных коммуникаций [11].

Коды ASCII представляют текст в компьютерах, телекоммуникационном оборудовании и других устройствах приема-передачи информации. Указанная система кодов позволяет кодировать 128 кодовых слов, из которых только 95 относятся к печатным символам. Поэтому применение таких кодов обосновано при наличии высокоскоростных каналов. В связи с этим в морской радиосвязи иногда используют для обмена информацией международный телеграфный код № 2 (англ. International Telegraph Alphabet No. 2 – ITA2) [12,13].

В отличие от 7-элементного кода ASCII, код ITA2 является 5-битовым. При этом он обеспечивает отражение 86 символов, из которых 31 буква русского алфавита, 10 арабских цифр, 8 управляющих символов, 11 знаков препинания и 26 букв латинского алфавита.

Аргументом возвращения к кодировке ITA2 явилось отсутствие в большинстве случаев необходимости использования всей раскладки, обеспечиваемой современной клавиатурой ЭВМ.

В качестве модуляционного формата для передачи сообщений, кодированных кодом ITA2, традиционно выбирают двойную фазовую манипуляцию (англ. Binary Phase Shift Keying – BPSK) [14, 15]. Следовательно, достоверность приема телеграфных передач определяется помехоустойчивыми свойствами сигналов BPSK).

ПОВЫШЕНИЕ ДОСТОВЕРНОСТИ ПРИЕМА СИГНАЛОВ МОРСКОЙ РАДИОСВЯЗИ ПВ/КВ ДИАПАЗОНА ЗА СЧЕТ УТОЧНЕНИЯ ПОРОГА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ В ДЕМОДУЛЯТОРЕ

А.А. Погорелов, канд. техн. наук, доцент,
А.В. Селезнёв, канд. техн. наук, доцент,
 начальник редакционно-издательского отдела, ВАС им. С.М. Будённого,
С.С. Дворников, канд. техн. наук,
К.Е. Копысова, аспирант, ГУАП,
А.Ю. Федосов, аспирант, СПбГУТ,
С.В. Дворников, д-р техн. наук, проф.,
 ГУАП и ВАС им. С.М. Будённого,
 контакт. тел. (812) 247 9400

АНАЛИЗ СИГНАЛОВ BPSK

Сигналы BPSK относят к простым видам цифровой модуляции, в которой в качестве кодируемого параметра выступает начальное значение фазы, поэтому аналитическое выражение для сигналов BPSK можно представить в следующем виде [16, 17]:

$$s_n(t) = \sqrt{\frac{2E_b}{T_b}} \cos(2\pi ft + \pi(1-n)), \quad n = 0, 1. \quad (1)$$

Здесь E_b – энергия, приходящаяся на символ; T_b – длительность символа.

Выражение (1) позволяет формировать две структуры сигнального символа, что обеспечивает их кодирование, соответственно, информационным «0»:

$$s_0(t) = \sqrt{\frac{2E_b}{T_b}} \cos(2\pi ft + \pi) = -\sqrt{\frac{2E_b}{T_b}} \cos(2\pi ft), \quad (2)$$

и информационной «1»

$$s_1(t) = \sqrt{\frac{2E_b}{T_b}} \cos(2\pi ft). \quad (3)$$

Здесь f – частота несущего колебания.

Временная структура для сигналов BPSK, описываемых (2) и (3) представлена на рис. 1 и рис. 2.

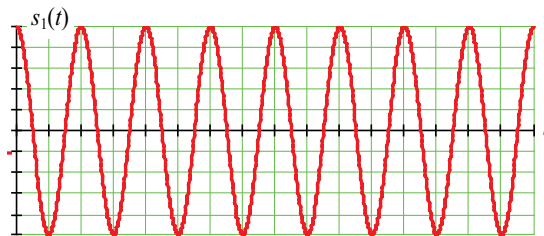


Рис. 1. Временное представление символа сигнала BPSK, соответствующего информационному «1»

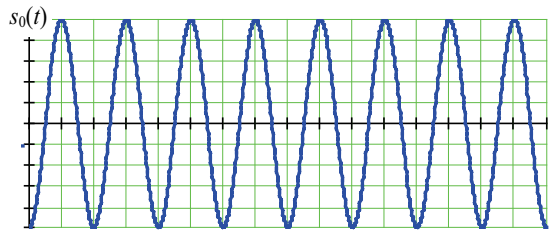


Рис. 2. Временное представление символа сигнала BPSK, соответствующего информационному «0»

Поскольку кодировка сигнальных символов осуществляется бинарным кодом, то пространство существования сигналов BPSK может быть представлено базисной функцией вида

$$\psi(t) = \sqrt{\frac{2}{T_b}} \cos(2\pi ft). \quad (4)$$

Это позволяет информационную «1» рассматривать как результат произведения базисной функции $\psi(t)$ на положительную величину амплитуды $A = \sqrt{E}$, а информационный «0», соответственно, как отрицательную, т.е. $A = -\sqrt{E}$.

Тогда помехоустойчивость приема сигналов BPSK можно рассмотреть с позиций частоты проявления ошибочного решения, обусловленного наличием канальных шумов и помех [18, 19]. Для канала с аддитивным белым гауссовым шумом (АБГШ), характерным для прямого (не ионосферного) распространения радиоволн, вероятность битовой ошибки может быть рассчитана посредством следующего выражения:

$$p_b = Q\left(\sqrt{\frac{2E}{N_0}}\right), \quad (5)$$

где $Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^\infty \exp\left(-\frac{u^2}{2}\right) du$ – представляет функцию «хвостового» распределения стандартного нормального распределения. То есть функция $Q(x)$ определяет вероятность того, что нормальная (гауссова) величина получит значение большее, чем x стандартные отклонения.

Для удобства моделирования воспользуемся связью функции $Q(x)$ с функцией ошибки для нормально распределенной величины erf , которую определяет канала с АБГШ [20]:

$$Q(x) = \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \text{erf}\left(\frac{x}{\sqrt{2}}\right). \quad (6)$$

Переходя к выражению (5) и используя равенство $\text{erfc}(x) = 1 - \text{erf}(x)$, получаем

$$p_b = \frac{1}{2} \text{erfc}\left(\sqrt{\frac{E}{N_0}}\right) = \frac{1}{2} \text{erfc}\left(\sqrt{h_0^2}\right). \quad (7)$$

В (7) h_0^2 – отношение сигнал/шум (ОСШ).

На рис. 3 представлен график зависимости вероятности битовой ошибки от ОСШ в канале АБГШ для сигналов BPSK.

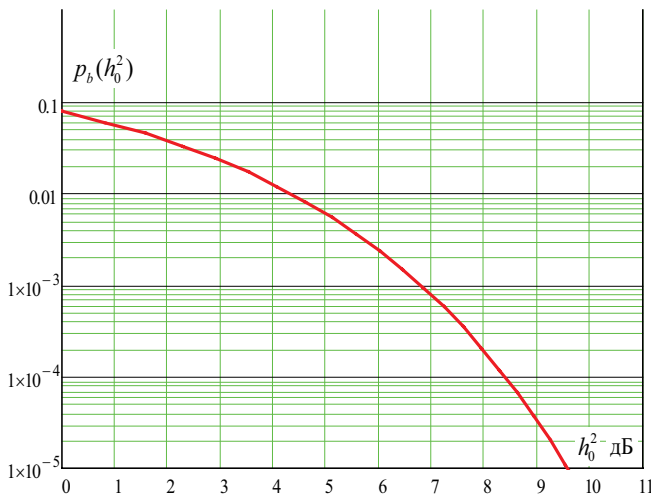


Рис. 3. Вероятность битовой ошибки при приеме сигнала BPSK в канале АБГШ

Выбор сигналов BPSK обусловлен тем, что они относятся к классу противоположных сигналов, обладающих наибольшей помехоустойчивостью приема [19]. Вместе с тем указанная помехоустойчивость обеспечивается только при условии обработки рандомизированного потока, параметры которого, в свою очередь, зависят от типа используемого кода. В рассматриваемом случае – от кода ИТА2.

АНАЛИЗ ЧАСТОТЫ ПРОЯВЛЕНИЯ «0» И «1» ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ КОДА ИТА2

В ИТА2 символы выражаются с помощью пяти битов, для чего используется два подмножества кода: «сдвиг букв» (англ. letter shift – LTR) и «сдвиг цифр» (англ. figure shift – FIGS) [12].

При этом комбинация FIGS (11011) сигнализирует о том, что следующие символы должны интерпретироваться как соответствующие набору FIGS.

Поскольку международным языком общения является английский, то, соответственно, появление тех или иных букв алфавита определяется частотой их проявления в языке (см. табл. 1). Так, согласно табл. 1, вероятность проявления букв a, d, e, h, l, n, j, r, s, t, u составляет 80% от всего алфавита.

Таблица 1

Частота появления букв английского алфавита

Буква	Частота встречаемости, %	Буква	Частота встречаемости, %
Aa	8,17	Bb	1,49
Cc	2,78	Dd	4,25
Ee	12,70	Ff	2,23
Gg	2,02	Hh	6,09
Ii	6,97	Jj	0,15
Kk	0,77	Ll	4,03
Mm	2,41	Nn	6,75
Oo	7,51	Pp	1,93
Qq	0,10	Rr	5,99
Ss	6,33	Tt	9,06
Uu	2,76	Vv	0,98
Ww	2,36	Xx	0,15
Yy	1,97	Zz	0,07
Всего	100,02 *		

В свою очередь кодировка наиболее часто встречаемых букв в английском алфавите совместно с непечатаемыми символами возврат каретки, перевод строки и пробел в случае применения кода ИТА2 использует 49 информационных «0» и 26 информационных «1» (табл. 2).

Таблица 2

Частота появления букв английского алфавита

Буква	Код ИТА2	Буква	Код ИТА2
Aa	00011	Dd	01001
Ee	00001	Hh	10100
Ii	00110	Ll	10010
Oo	11000	Rr	01010
Ss	00101	Tt	10000
Uu	00111	Vv	01000
Пробел	00100	ПС	00010
Всего	100,02 %*		

Следовательно, можно с вероятностью 0,8 полагать, что при обмене данными на английском языке с использованием кода ИТА2 частота проявления информационного «0» составит 65,3%, а информационной «1» – всего лишь 34,7%.

Таким образом, вероятность ошибок в передаваемых сообщениях не будет соответствовать условию, определяемому выражением (7). Поэтому необходим поиск технических решений, обеспечивающих оптимальный прием сообщений при соотношении частоты проявления «0» и «1», равного 1,88.

ОБОСНОВАНИЕ ПОРОГА ДЕМОДУЛЯТОРА СИГНАЛОВ BPSK ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ КОДА ITA2

Поскольку длительность символа лежит в интервале $0 \leq t \leq T$, то прием сигналов BPSK в демодуляторе можно рассматривать с позиций принятия гипотезы H_1 о наличии сигнала $s_1(t)$ или H_2 – о наличии сигнала $s_2(t)$ [21, 22]:

$$\begin{cases} H_1 : s_1(t), & 0 \leq t \leq T; \\ H_2 : s_2(t), & 0 \leq t \leq T. \end{cases} \quad (8)$$

При этом энергия каждого из сигналов $s_1(t)$ и $s_2(t)$ может быть получена в результате интегрирования входной реализации на интервале $[0; T]$:

$$E_{1,2} = \int_0^T s_{1,2}^2(t) dt. \quad (9)$$

Учитывая, что сигналы BPSK являются противоположными, коэффициент их взаимной корреляции

$$\rho_{1,2} = \rho_{2,1} = \frac{1}{\sqrt{E_1 E_2}} \int_0^T s_1(t) s_2(t) dt. \quad (10)$$

Тогда входную реализацию $z(t)$, содержащую полезный сигнал и шум $x(t)$, можно описать как

$$z(t) = s_i(t) + x(t), \quad i=1,2; \quad 0 \leq t \leq T, \quad (11)$$

где $s_i(t)$ – один из двух альтернативных сигналов «1» или «0».

Тогда отношение правдоподобия для оптимального байесовского обнаружителя в канале с аддитивным белым гауссовым шумом (АБГШ) может быть записано как отношение условных вероятностей проявления гипотез H_1 и H_2 :

$$\ln(\Lambda[z(t)]) = -\frac{1}{N_0} \sum_{i=1}^2 (z_i - s_{i1})^2 + \frac{1}{N_0} \sum_{i=1}^2 (z_i - s_{i2})^2 \leq \ln\left(\frac{p_2}{p_1}\right), \quad (12)$$

где p_1 – вероятность проявления гипотезы H_1 ; p_2 – вероятность проявления гипотезы H_2 ; s_1 и s_2 усредненные значения принятых сигналов, соответствующих «1» или «0».

Учитывая, что каждая сумма в (12) есть квадрат разности векторов z , s_1 и s_2 , то выражение можно преобразовать к виду

$$\ln(\Lambda[z(t)]) = -\frac{1}{N_0} |z - s_1|^2 + \frac{1}{N_0} |z - s_2|^2 \leq \ln(\eta), \quad (13)$$

где $\ln \eta = \frac{p_2}{p_1}$ или

$$z^T (s_1 - s_2) \leq \frac{N_0}{2} \ln(\eta) + \frac{1}{2} (|s_1|^2 - |s_2|^2) = \gamma. \quad (14)$$

Здесь и далее (*)^T – знак трансформирования.

Левая часть критерия (14) характеризует результаты достаточной статистики, а правая – определяет порог [19, 23].

Условие (14) удобнее рассматривать с позиций

$$\gamma = \frac{N_0}{2} \ln(\eta) + \frac{1}{2} (E_1 - E_2). \quad (15)$$

Выражение (15) позволяет синтезировать демодулятор с двумя корреляторами (рис. 4).

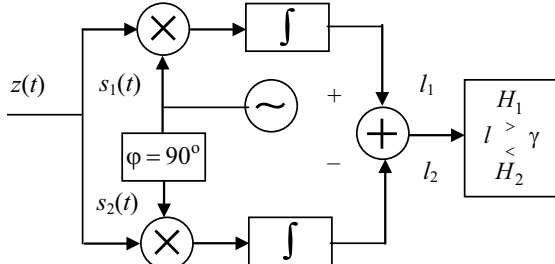


Рис. 4. Структурная схема демодулятора сигналов BPSK

При наличии амплитудного ограничителя в тракте приема можно полагать равенство энергий $E_1 = E_2$, что позволяет упростить (15):

$$\gamma = \frac{N_0}{2} \ln(\eta) = \frac{N_0}{2} \ln\left(\frac{p_2}{p_1}\right). \quad (16)$$

Согласно (16) величина порога принятия решения определяется уровнем спектральной плотности канального шума и отношением проявления гипотез H_1 и H_2 . Для рандомизированного потока при равенстве вероятности проявления «1» и «0», имеем $\gamma = 0$ [24].

Однако для потока сообщения, кодированного кодом ITA2, $\eta = 1,88$, следовательно, $\ln(\eta) = 0,63$. Тогда величина порога $\gamma = 0,32N_0$.

ОЦЕНКА ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ ПРИЕМА СИГНАЛОВ BPSK ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ КОДА ITA2

Полученная оценка порога неудобна с позиций ее теоретической интерпретации, поскольку значение порога в (16) связано только со спектральной плотностью мощности шума.

Поэтому рассмотрим вероятность проявления битовой ошибки с позиций условных вероятностей проявления информационных «0» и «1».

Так, обобщенное выражение вероятности ошибки, согласно [24], может быть представлено в виде

$$p_b = p(0|1)p_1 + p(1|0)p_2, \quad (17)$$

где $p(0|1)$ – условная вероятность проявления информационного «0» при условии того, что принято решение о приеме «1»; $p(1|0)$ – условная вероятность проявления информационного «1» при условии того, что принято решение о приеме «0».

Поскольку условные вероятности рассчитываются как

$$p(0|1) = 0,5 \operatorname{erfc}\left(\frac{A-\gamma}{\sqrt{N_0/T_b}}\right), \quad p(1|0) = 0,5 \operatorname{erfc}\left(\frac{A+\gamma}{\sqrt{N_0/T_b}}\right), \quad (18)$$

то выражение (17) можно преобразовать к виду

$$p_b = 0,5 \operatorname{erfc}\left(\frac{A-\gamma}{\sqrt{N_0/T_b}}\right) p_1 + 0,5 \operatorname{erfc}\left(\frac{A+\gamma}{\sqrt{N_0/T_b}}\right) p_0. \quad (19)$$

Учитывая, что средняя энергия сигнала $E = A^2 T_b$, где A – амплитуда сигнала, то с учетом проведенных расчетов выражение расчета вероятности битовой ошибки в канале при приеме сигналов BPSK, кодированных кодом ITA2, будет иметь следующий вид:

$$p_b = 0,174 \left(\operatorname{erfc}\left(\sqrt{h_0^2} - 0,32\right) + \operatorname{erfc}\left(\sqrt{h_0^2} + 0,32\right) \right) 1,88. \quad (20)$$

На рис. 5 показаны графики помехоустойчивости приема сигналов BPSK, кодированных кодом ITA2, с учетом p_1 и без учета выбора порога p_2 .

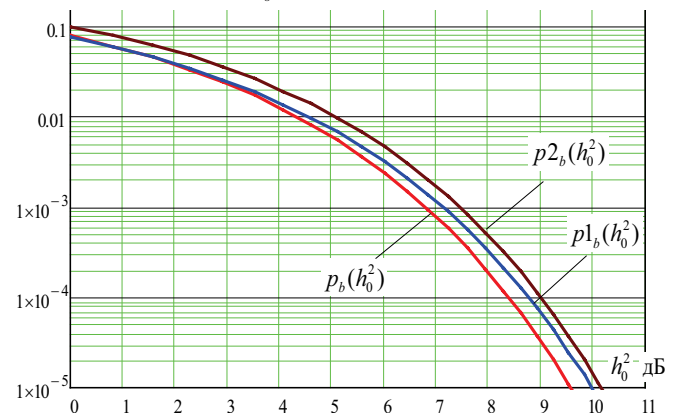


Рис. 5. Вероятность битовой ошибки при приеме сигнала BPSK, кодированного кодом ITA2 в канале АБГШ

Результаты моделирования показали, что учет указанных особенностей с выбором порога позволит улучшить помехо-

устойчивость приема всего на 0,25 дБ. Однако, несмотря на такую маленькую величину, вероятность проявления ошибок при ОСШ 9 дБ возрастет на 30%.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы. В морской радиосвязи радиостанции, работающие в диапазоне ПВ/КВ, играют важную роль в инфокоммуникационном взаимодействии между судами.

Несмотря на активное внедрение различных версий кодов ASCII, применение в узкополосных низкоскоростных каналах кода ITA2 видится предпочтительным.

Вместе с тем анализ структуры кода ITA2 показал, что символы информационных «0» и «1» в нем размещены неравномерно, поэтому применение демодуляторов сигналов BPSK, рассчитанных на обработку рандомизированных потоков, приведет к снижению помехоустойчивости приема примерно на 0,25 дБ, в результате число ошибок возрастет на 30%.

В дальнейшем исследовании авторы планируют рассмотреть возможность повышения помехоустойчивости передач сигналов ПВ/КВ диапазонов с использованием методов совместной обработки сигналов [21, 22].

ЛИТЕРАТУРА

1. Оценка характеристик канала радиосвязи в морской среде / *Лукин А. Ф., Томлин А. К., Гульков А. Н., Кремс К. А.* // Журнал технической физики. – 2022. – Т. 92. – № 9. – С. 1425–1429. – DOI 10.21883/JTF.2022.09.52935.43-22.
2. Анализ ЭМС на береговом объекте ГМССБ и СУДС в диапазоне ОВЧ / *Проценко М. Б., Громоздин В. В., Козуб М. С., Новикова Т. В.* // Тр. Научно-исследовательского института радио. – 2023. – № 3–4. – С. 76–82. – DOI 10.34832/NIIR.2023.14.3.007.
3. Методика проведения натурных испытаний береговых объектов ГМССБ МР А1 / *Громоздин В. В., Коваленко В. И., Иевлев К. В., Козуб М. С.* // Электросвязь. – 2022. – № 3. – С. 30–34. – DOI 10.34832/ELSV.2022.28.3.005.
4. Анализ помехоустойчивости передач морской радиосвязи ПВ/КВ диапазона / *Дворников С. С., Дворников С. В., Бибарсов М. Р., Москалец Г. Н.* // Морской вестник. – 2024. – № 1(89). – С. 93–97. – EDN NGTIZX.
5. Приказ Министерства транспорта Российской Федерации от 09.12.2022 № 486 «Об утверждении Правил радиосвязи морской подвижной службы и морской подвижной спутниковой службы» (Зарегистр. 30.12.2022 № 71938). Номер опубл. 0001202212300073. Дата опубл. 30.12.2022.
6. *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.
7. Стенд для проведения натурных испытаний береговых объектов ГМССБ и СУДС в диапазоне ОВЧ / *Козуб М. С., Васильев В. Д., Козуб М. С., Громоздин В. В.* // Современные проблемы радиоэлектроники и телекоммуникаций. – 2022. – № 5. – С. 130. – EDN BZANBL.
8. *Кулинич А.И.* Основные направления по увеличению скорости телеграфии морской высокочастотной радиосвязи рыбопромысловых судов // Вестник Камчатского ГТУ. – 2014. – № 27. – С. 5–8. – EDN RZTKNZ.
9. Основные направления модернизации морской ВЧ радиосвязи / *Кулинич А.И., Маринич А.Н., Припотнюк А.В., Устинов Ю.М.* // Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства. – 2012. – № 35. – С. 136–141. – EDN PYOVEV.
10. *Антонюк Н. Ю., Боков Г.В.* История морской радиосвязи. Тенденции дальнейшего развития // Современные проблемы радиоэлектроники и телекоммуникаций. – 2022. – № 5. – С. 214. – EDN

KMEDTT.

11. ASCII (англ.). the Cambridge English Dictionary. – dictionary.cambridge.org. Дата обращения: 9 апреля 2018. Архивировано 27 сентября 2017 г.
12. *Ralston, Anthony; Reilly, Edwin D., eds.* Baudot Code. – Encyclopedia of Computer Science. – Third ed. – New York: IEEE Press/Van Nostrand Reinhold, 1993. ISBN 0-442-27679-6
13. Теория и техника передачи данных и телеграфия / *Пуртов Л.П., Замрий А.С., Захаров А. И., Иванов Н. И., Охорзин В. М.* – Л.: Изд. ВАС, 1973. – 482 с.
14. *Дворников С.В., Овчинников Г.Р., Балыков А.А.* Программный симулятор ионосферного радиоканала декаметрового диапазона // Информация и космос. – 2019. – № 3. – С. 6–12. – EDN CGVGJ.
15. *Карась Б.Г., Шуваев А.В.* Использование мультиполяризованного сигнала для повышения энергоэффективности и помехоустойчивости при передаче данных BPSK // Радиотехника. – 2020. – Т. 84. – № 6(12). – С. 116–120. – DOI 10.18127/j00338486-202006(12)-18. – EDN WQPQUV.
16. *Михайлова О. К., Корогодин И.В.* Обработка сигналов с цифровой поднесущей двумя традиционными каналами коррелятора // Радиотехника. – 2021. – Т. 85. – № 9. – С. 5–17. – DOI 10.18127/j00338486-202109-01. – EDN NOKLBW.
17. *Дворников С.В., Марко Е.В., Маноши Э.А.* Повышение помехозащищенности передач декаметровых радиоканалов в условиях непреднамеренных помех // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2021. – Т. 15. – № 6. – С. 4–9. – DOI 10.36724/2072-8735-2021-15-6-4-9. – EDN KHPWMU.
18. *Дворников С.В.* Цифровой синтез спектрально-эффективных сигналов телевидения // Вопросы радиоэлектроники. – Сер. Техника телевидения. – 2015. – № 6. – С. 168–173. – EDN VMBFIR.
19. *Звонарев В.В., Карабельников И. А., Попов А.С.* Вероятность ошибки приема BPSK-сигнала в присутствии подобной помехи // Вопросы радиоэлектроники. – 2019. – № 3. – С. 5559. – EDN YZDZMD.
20. Оценка имитостойкости каналов управления с частотной модуляцией / *Дворников С.В., Погорелов А.А., Вознюк М. А., Иванов Р.В.* // Информация и космос. – 2016. – № 1. – С. 32–35. – EDN VPQCFE.
21. *Мартиросов В.Е., Алексеев Г.А.* Квазикогерентный демодулятор BPSK-сигнала на основе системы синхронизации GLSS // Электросвязь. – 2016. – № 7. – С. 60–64. – EDN WDLEWR.
22. *Дворников С.В.* Метод обнаружения сигналов диапазона ВЧ на основе двухэтапного алгоритма принятия решения // Научное приборостроение. – 2005. – Т. 15. – № 3. – С. 114–119. – EDN GYLXGA.
23. *Дворников С.С., Дворников С.В.* Формирование сигналов с непрерывной фазой для передачи дискретной информации // Информационные технологии. – 2016. – Т. 22. – № 6. – С. 435–440. – EDN WCBXGZ.
24. Цифровая связь : теоретические основы и практическое применение / *Скляр Б., Гроза Е.Г. и др.* / Пер. с англ. – 2-е изд. – М.: Вильямс, 2016. – 1099 с.
25. *Дворников С. В., Крячко А. Ф., Пшеничников А. В.* Моделирование радиотехнических систем в конфликтных ситуациях когнитивного характера. – Волновая электроника и инфокоммуникационные системы: Сб. ст. XXII Международ. науч. конфер. 3–7 июня 2019 г. – Санкт-Петербург. – В 2-х ч. – СПб.: Санкт-Петербургский гос. ун-тет аэрокосмического приборостроения, 2019. – С. 84–89. – EDN GLQVYA.
26. *Дворников С.В., Дворников С.С., Пшеничников А.В.* Аппарат анализа частотного ресурса для режима псевдослучайной перестройки рабочей частоты // Билинейные распределения с пониженным уровнем интерференционного фона в частотно-временном пространстве (продолжение обзора) // Тр. учебных заведений связи. – 2018. – Т. 4. – № 2. – С. 69–81. – EDN XRVQDR.
28. *Дворников С. В., Дворников С. С., Марков Е. В.* Модифицированные импульсные последовательности на основе кодов Баркера // Тр. учебных заведений связи. – 2022. – Т. 8. – № 1. – С. 8–14. – DOI 10.31854/1813-324X-2022-8-1-8-14. – EDN JXQZTD. ■

В настоящее время различные производственные предприятия все чаще внедряют цифровые инструменты в свою деятельность. Это позволяет им повысить качество предпринимаемых решений. В повышении эффективности разработки и отладки новых решений важную роль играют методы на базе промышленного интернета вещей и аналитики больших данных с помощью машинного обучения. Они позволяют собирать информацию о физических показателях тех или иных объектов и преобразовывать ее в данные для дальнейшей обработки.

Однако, когда речь идет об объектах критической инфраструктуры, на такие системы накладываются определенные ограничения. В этом случае требуется, чтобы алгоритмы машинного обучения применялись непосредственно на конечных устройствах. Таким образом, возникает необходимость в наборе инструментов машинного обучения, способных работать во встраиваемых системах в среде исполнения операционной системы реального времени «Нейтрино» [1].

МАШИННОЕ ОБУЧЕНИЕ ВО ВСТРАИВАЕМЫХ СИСТЕМАХ

Классический подход к использованию нейронных сетей обычно основывается на нескольких этапах: сбор и подготовка данных, обучение нейронной сети, сбор данных на конечной системе в процессе эксплуатации и их анализ на сервере.

Для решения задач динамического анализа активности информационной системы такой подход не годится, поскольку требуется, чтобы все процессы происходили на встраиваемой системе. Это обусловлено несколькими факторами: во-первых, безопасностью, поскольку информация об управляющих взаимодействиях не должна покидать пределы устройства; во-вторых, скоростью реакции и возможностью принимать управляющие решения непосредственно на встраиваемой системе; в-третьих, необходимостью корректировки поведения нейросети в процессе работы. Из этого следует еще один важный вывод – в силу ограниченного количества ресурсов встраиваемых систем алгоритмы машинного обучения должны быть высокопроизводительными и адаптированными под конкретную систему [2].

В настоящий момент применение машинного обучения во встраиваемых системах в парадигме edge-computing (когда данные обрабатываются не на серверах, а непосредственно на встраиваемых устройствах) весьма ограничено. Чаще всего предлагаются закрытые решения для конкретного набора оборудования, что существенно ограничивает их

ВСТРАИВАЕМАЯ ПЛАТФОРМА ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ АНОМАЛИЙ В РАБОТЕ СИСТЕМ

*Н. А. Бабич, вед. инженер-программист, ООО «СВД ВС»,
А. М. Чуманов, директор НПК, гл. конструктор
АО «Концерн «Графит-Электрон»,
контакт. тел. (812) 2714585*

применимость. Кроме того, речь идет чаще всего только о применении обученной нейросети для анализа данных (инференс) на встраиваемых системах, но не про обучение нейронной сети (это все равно выносится за пределы этих устройств).

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ПЛАТФОРМА «СИНАПТИКА»

Интеллектуальная платформа «Синаптика» – это универсальный инструмент для построения систем сбора и обработки данных с помощью технологий машинного обучения в среде защищенной операционной системы (ОС) реального времени «Нейтрино». Синаптика позволяет сократить влияние человеческого фактора при работе с системами ответственного назначения, а также повысить безопасность и отказоустойчивость их работы. Она может быть использована для решения различных задач: выявление аномалий в наборе данных (например, осуществлять мониторинг аномальной активности процессов в ОС «Нейтрино» [3]), распознавание образов, построение адаптивных систем управления.

Благодаря различным модулям, Синаптика предоставляет возможности для

взаимодействия с различными источниками данных (датчики, устройства фото- и видеозахвата, различные сетевые каналы связи, и др.), а также имеет программный пользовательский интерфейс для взаимодействия с клиентскими приложениями. Схематичное представление архитектуры платформы изображено на рис. 1.

Как видно из схемы, платформа «Синаптика» сочетает в себе различные фреймворки машинного обучения, которые были портированы для исполнения в среде ОС «Нейтрино» (например, библиотека машинного обучения Interference, реализующая интерференционную модель нейронной сети [4, 5]). Некоторые из этих фреймворков позволяют проводить обучение и дообучение нейронных сетей непосредственно в процессе эксплуатации системы. Это обеспечивает возможность корректировать работу платформы «на лету».

ПРИМЕНЕНИЕ ПЛАТФОРМЫ «СИНАПТИКА» ДЛЯ ЗАДАЧ ДИНАМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ И ПОИСКА АНОМАЛИЙ

На базе платформы «Синаптика» был реализован программный комплекс мониторинга аномальных процессов

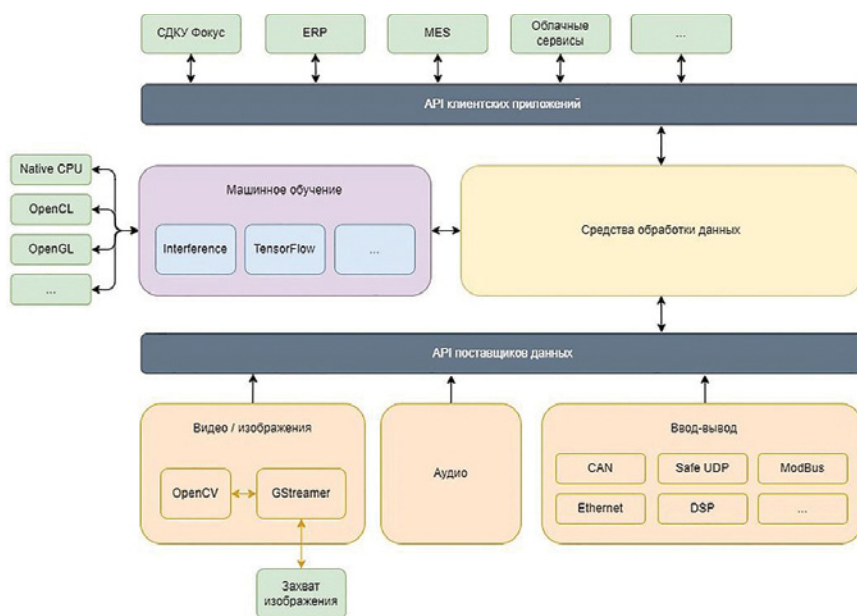


Рис. 1. Схематичное представление архитектуры платформы «Синаптика»

(ПК МАП). Он позволяет выполнять сбор и динамический анализ изменений указанных параметров в некоторой среде, выявлять аномалии в этих изменениях и предоставлять различные метрики активности. Например, может анализироваться информация об активности процессов в ОС (по умолчанию) или данные с различных датчиков. Модульная архитектура программного комплекса позволяет адаптировать его для решения конкретных задач.

Типовой сценарий использования ПК МАП схематично показан на рис. 2. Он состоит из нескольких этапов.

Для начала необходимо однократно выполнять обучение нейронной сети на эталонной системе в течение некоторого времени. Обучение является ответственным процессом и напрямую влияет на эффективность выявления аномалий, поэтому следует убедиться, что активность в это время является доверенной (та активность, которая является штатной для данной системы).

После окончания обучения комплекс можно переключить в режим анализа активности. При обнаружении аномальной активности информация о ней будет сохранена в журнале и может быть прочитана различными способами, например, с помощью программного интерфейса (API) или консольной утилиты `amonctl`. На рис. 3 показан внешний вид консольной утилиты `amonctl` для просмотра списка анализируемых объектов.

Если обнаруженная активность на самом деле не является аномальной, оператор может дообучить нейронную сеть и принять эту активность как доверенную без переобучения всей сети. Также поддерживается автоматическое выполнение сценариев при обнаружении аномальной активности.



Рис. 2. Сценарий использования ПК МАП

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, программный комплекс мониторинга аномальных процессов, реализованный на базе интеллектуальной платформы «Синаптика» в среде защищенной операционной системы реального времени «Нейтрино», позволяет собирать, анализировать и выявлять аномалии в работе различных систем. Модульность и гибкость в настройке комплекса позволяет адаптировать его

под решение конкретных задач. Обучение нейронных сетей и анализ данных происходит непосредственно на встраиваемых системах. Это обеспечивает высокую скорость реакции программного комплекса по сравнению с классическими подходами, а также требуемую защищенность от утечек данных.

ЛИТЕРАТУРА

1. Официальная страница защищенной операционной системы реального времени Нейтрино. – URL: <https://www.kpda.ru/products/kpda10964/> (дата обращения: 20.05.2024).
2. Хьюен Ч. Проектирование систем машинного обучения. – Астана: Изд-во Фолиант, 2023. – 368 с.
3. Мониторинг аномальной активности в операционной системе Нейтрино. – URL: https://habr.com/ru/companies/swd_articles/articles/713690/ (дата обращения: 20.05.2024).
4. Бабич Н.А., Останин М.Л. Распознавание объектов на изображениях высокого разрешения с помощью интерференционной нейронной сети // Молодёжь. Техника. Космос: труды XI Общеросс. молодежной науч.-техн. конфер. – Т. 1. – СПб.: БГТУ «Военмех», 2019. – 485 с.
5. Бабич Н.А. О применении интерференционной нейронной сети для динамического анализа данных в реальном времени // Автоматизация в промышленности. – 2020. – № 4. – С. 19–21. ■

```

=====
ID      Object name      Class name      Status      Trust value
397340  bin/login        kernel         ANALYZING  100.00    0.00000
307227  bin/login        kernel         ANALYZING  100.00    0.00000
307226  bin/login        kernel         ANALYZING  100.00    0.00000
307224  bin/login        kernel         ANALYZING  100.00    0.00000
1572942 bin/sh           kernel         ANALYZING  100.00    0.00000
4804654 bin/sh           kernel         ANALYZING  100.00    0.00000
647212  bin/sh           kernel         ANALYZING  100.00    0.00000
643113  bin/sh           kernel         ANALYZING  100.00    0.00000
180243  proc/boot/audit logger2-ksz kernel         ANALYZING  100.00    0.00000
8200    proc/boot/devb-eide kernel         ANALYZING  99.99    0.00075
4103    proc/boot/devc-con-hid kernel         ANALYZING  100.00    0.00000
126993  proc/boot/emun-usb kernel         ANALYZING  100.00    0.00000
4102    proc/boot/lo-hid  kernel         ANALYZING  100.00    0.00000
159760  proc/boot/lo-pkt-u4-hc-ksz kernel         ANALYZING  100.00    0.00000
4101    proc/boot/lo-usb  kernel         ANALYZING  100.00    0.00000
4100    proc/boot/pci-bios kernel         ANALYZING  100.00    0.00000
8201    proc/boot/pipe    kernel         ANALYZING  100.00    0.00000
3       proc/boot/slogger kernel         ANALYZING  100.00    0.00000
180244  sbin/devc-pty     kernel         ANALYZING  100.00    0.00000
81934   sbin/emun-devices kernel         ANALYZING  100.00    0.00000
143375  sbin/lo-display  kernel         ANALYZING  100.00    0.00001
28682  sbin/queue       kernel         ANALYZING  100.00    0.00000
2       sbin/tinit       kernel         ANALYZING  100.00    0.00000
5021733 usr/libexec/sftp-server kernel         ANALYZING  100.00    0.00003
208921  usr/sbin/dhcp-client kernel         ANALYZING  99.99    0.00008
204623  usr/sbin/dumper  kernel         ANALYZING  100.00    0.00000
294936  usr/sbin/med     kernel         ANALYZING  100.00    0.00000
73740  usr/sbin/med     kernel         ANALYZING  100.00    0.00000
32779  usr/sbin/pps     kernel         ANALYZING  100.00    0.00000
77837  usr/sbin/random  kernel         ANALYZING  100.00    0.00000
5013536 usr/sbin/sshd    kernel         ANALYZING  99.98    0.00016
206742  usr/sbin/sshd    kernel         ANALYZING  100.00    0.00000
4800557 usr/sbin/telnetd kernel         ANALYZING  100.00    0.00000
Processing time: 46 ns
=====
  
```

Рис. 3. Консольная утилита для просмотра списка анализируемых объектов ПК МАП

С момента своего создания и становления АО «Концерн «НПО «Аврора» активно занималось разработкой и изготовлением тренажёрной техники для обучения экипажей кораблей ВМФ и других промышленных объектов самого различного назначения. Наиболее четко развитие тренажёростроения можно проследить на примере кораблей с ядерной энергетикой, которые делятся на четыре поколения. Создавая комплексные системы управления корабельными техническими средствами (КТС) практически для всех проектов атомных подводных лодок (АПЛ) и надводных кораблей (НК), параллельно под каждый проект разрабатывался тренажёр для всех видов КТС (главная энергетическая установка – ГЭУ, электроэнергетическая система – ЭЭС, общекорабельные системы – ОКС и системы управления движением – СУД).

Технология разработки и изготовления тренажёрной техники обуславливалась следующими основными факторами:

- высокими требованиями заказчика к изделиям оборонного назначения;
- отсутствием серийности производства тренажёров, которые в некоторых случаях изготавливались в единственном экземпляре, будучи по сути уникальными изделиями;
- высокой ответственностью к качеству подготовки операторов управления.

Тренажёрная технология базировалась на технологии создания штатных систем управления, что сводилось к разработке рабочего места руководителя обучения (РМО) и системы обмена данными (СОД) тренажёра. Такое положение было обоснованным в тех условиях развития ВМФ. В настоящее время количество кораблей ВМФ значительно сократилось и соответственно сократились потребности в учебно-тренажёрных средствах. Рынок же технических средств обучения характеризуется, с одной стороны, повышением требований к качеству продукции, а с другой стороны – жесткой конкуренцией.

Новая стратегия разработки технических средств обучения (ТСО) основывается на следующих направлениях:

- интеллектуализация ТСО на базе методов и средств искусственного интеллекта;
- расширение номенклатуры ТСО в интересах персонала объектов управления гражданского назначения (морской и речной флот, энергетические объекты на основе ядерной энергетики, суда специального назначения, рыболовный флот и др.);

НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ТРЕНАЖЁРОСТРОЕНИЯ В АО «КОНЦЕРН «НПО «АВРОРА»

В. В. Кобзев, *д-р техн. наук, проф., гл. науч. сотрудник,*
В. В. Меледин, *директор проектного центра,*
АО «Концерн «НПО «Аврора»,
контакт. тел. (812) 643 1831

- снижение себестоимости производства ТСО за счёт использования вычислительных средств и материалов общепромышленного назначения;
- использование комплектующих изделий собственной разработки,
- повышение педагогической эффективности ТСО на основе новых функций, связанных с отбором персонала и оценкой эмоциональной и стрессовой устойчивости оператора.

КОНЦЕПЦИЯ СОЗДАНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ОБУЧЕНИЯ

Современный период разработки и изготовления ТСО связан с формированием научной школы «Интеллектуальные технические средства обучения». Элементы новой концепции были развиты и конкретизированы на основе работ докторов технических наук, профессоров К. Ю. Шилова, В. Ю. Бобровича, Б. В. Грека и других сотрудников концерна [1].

На современном этапе развития цифровой вычислительной техники появилось много новых форм обучения: дистанционное, иммерсивное, обучение на основе дополненной и виртуальной реальности. В этой связи появилось громадное количество вариаций определения понятия «тренажёр». По нашему мнению, *тренажёр* может называться ТСО, которое идентично рабочему месту оператора на объекте управления – конструктивное требование [2]. Автоматизированное рабочее место (АРМ) оператора включает не только экран, но и другие элементы, которые использует оператор, например – средства связи, контрольно-измерительные приборы и т. п.

Тренажёр любого уровня представляет собой технико-педагогическое средство. Поэтому концепция предусматривает параллельно с техническим проектированием педагогическое проектирование на всех стадиях создания ТСО [3]. В соответствии с законами дидактики процесс обучения делится на три этапа: теоретический, предтренажёрной подготовки и отработка на тренажере. Каждый этап обеспечивается своими видами ТСО: первый – электронными учебниками, второй – компьютерными обучающими программами

(КОП) и третий – тренажёр. Первый и второй этапы формируют знания, третий этап – профессиональные компетенции, создавая целостную модель деятельности оператора в полном объеме функциональных обязанностей. Педагогическое проектирование предусматривает особенности ТСО в зависимости от вида учебного заведения. В учебных центрах готовят специалистов на конкретное рабочее место. В высших учебных заведениях дается общее образование по специальности. Имея это в виду, глубина моделирования объектов управления, количество рабочих мест обучающихся (в учебном центре одно, в вузе на группу из шести–восьми человек) и другие особенности учебного процесса должны учитываться.

Таким образом, линейка ТСО поставляется в комплекте на три этапа обучения: на первый и второй этапы – в виде учебного компьютерного класса (УКК) с необходимым количеством мест.

На третий этап поставляются тренажёры в соответствии с требованиями заказчика. Необходимо отметить, что речь идет о тренажёрах управления.

Тренажёры для отработки ремонтных навыков поставляются в виде автоматизированных ремонтных классов. В качестве основы принята следующая классификация тренажёров управления: специализированные, комплексные, тактико-специальные тренажёрные комплексы, береговые тактико-специальные тренажёрные комплексы и учебные центры. Необходимо отметить, что концерн имеет опыт создания всей линейки технических средств обучения от специализированных тренажёров до учебного центра подготовки экипажа корабля.

В составе программного обеспечения РМО разрабатывается конструктор учебных занятий, который может дополняться и корректироваться преподавательским составом после сдачи тренажера заказчику.

По желанию заказчика тренажёр может быть дополнен комплектом аппаратуры, позволяющим определять эмоциональную и стрессовую устойчивость обучающегося и его пригодность к операторской деятельности [4]. Все виды ТСО снабжены средствами автоматизированного контроля [5, 6].



Рис. 1. Учебный компьютерный класс



Рис. 2. Специализированный тренажёр управления маневрированием подводной лодки



Рис. 3. Комплексный тренажёр управления техническими средствами

ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ОБУЧЕНИЯ

Широкое внедрение методов и средств искусственного интеллекта во все сферы промышленного производства безусловно распространилось и на создание ТСО [7, 8]. Применительно к тренажёрной тематике интеллектуализация развивается по следующим направлениям:

- увеличение возможностей математических моделей объектов управления на основе применения нечетких множеств, генетических алгоритмов, нейронных сетей в части моделирования кратных и межвидовых аварийных ситуаций [9, 10];
- уменьшение массогабаритных показателей тренажёра за счет увеличения объема программного обеспечения;
- использование при разработке тренажёра клиент-серверной архитектуры, технологии VLAN, обеспечения взаимозаменяемости рабочих мест обучающихся на основе универсального пульта управления [11];
- расширение номенклатуры программных средств подготовки для обеспечения теоретического и предтренажёрного этапов обучения. Технология разработки берегового тренажёра с клиент-серверной архитектурой может быть реализована при наличии следующих условий:
- выбор ЭВМ высокой производительности в качестве сервера;
- перенос функционального программного обеспечения (ФПО) из пульта управления (ПУ) в станции локальные технологические (СЛТ);
- объединение алгоритмов управления функциональными комплексами технических средств (ГЭУ, ЭЭС, ОКС, СУД) в единое программное обеспечение (ПО) для загрузки на сервер;
- разработка универсального ПУ с единым интерфейсом и универсальных СЛТ;
- организация единой базы данных (БД) по управлению КТС;
- создание единой системы обмена данными (СОД);
- обеспечение взаимозаменяемости рабочих мест обучающихся на основе универсального ПУ.

В береговом тренажёре вместо реальных объектов управления используются их модели, которые входят в состав моделирующего устройства тренажёра (МУТ) или в комплекс программно-математического обеспечения (КМПО). Все модели технических средств и систем управления помещаются в сервер.

Рассматривая тренажёр как технико-педагогическое средство, необходи-

мо дополнить базу данных его сервера программными средствами подготовки и различными видами электронной документации. Существенную помощь можно оказать преподавателю, поместив в базу данных сервера различные варианты эталонных сценариев, тестовых заданий, инструкций и технических описаний, которые обучающийся может использовать в качестве самоподготовки, и рассматривая этот процесс как часть предтренажёрной подготовки. Обучающийся без преподавателя, выбрав режим работы тренажёра «Самоподготовка», с использованием редактора эталонных сценариев сможет потренироваться, а выбрав режим «Тест», пройти тестирование и получить автоматически оценку знаний, которая будет занесена в базу данных тренажёра.

Кроме того, сервер окажет несомненную помощь преподавателю учебного центра в части ведения списков обучающихся, тестирования, общей оценки успеваемости обучающихся. Фактически в базе данных тренажёра будет храниться вся история подготовки конкретного оператора.

Универсализация ПУ ГЭУ кораблей с ядерной энергетикой с другими функциональными комплексами технических средств, учитывая требования к ядерной безопасности, обширную номенклатуру объектов управления и контроля, степень автоматизации корабельных технических средств и другие организационно-технические факторы, представляется трудновыполнимой задачей. Возможности универсализации пультов управления ЭЭС и ОКС более реальны [12]. Программное обеспечение имитации СОД будет располагаться на сервере, коммутаторы – в шкафах ВМК.

Структурная схема берегового тренажёра управления техническими средствами с элементами клиент-серверной архитектуры будет не сильно отличаться от структуры обычного тренажёра, не использующего эту технологию. Исключение составляет ВМК, построенный на базе сервера. Главное же отличие будет в структуре программного обеспечения. Наряду с использованием защищённых операционных систем реального времени, использованием баз данных, организуемых как SQL-совместимых реляционных баз данных, управляемых защищёнными системами управления базами данных (СУБД) клиент-серверного типа, но и в формировании новой структуры программного обеспечения РМО.

БОРТОВЫЕ ТРЕНАЖЁРЫ В СОСТАВЕ КОМПЛЕКСНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Анализ структурного состава, функциональных возможностей и вычисли-

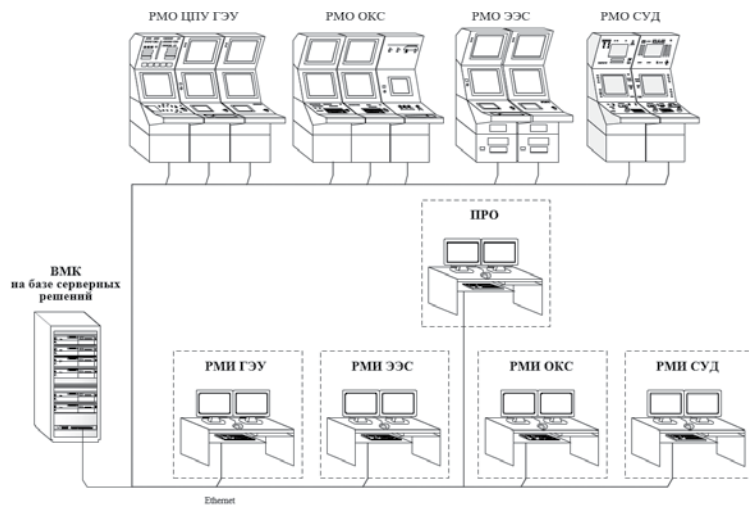


Рис. 4. Тренажёр на базе серверных решений

ЦПУ – центральный пульт управления, ВМК – вычислительно-моделирующий комплекс, ПРО – пульт руководителя обучением, РМО – рабочее место оператора, РМИ – рабочее место инструктора

тельных ресурсов современных комплексных систем управления техническими средствами (КСУ ТС), проведенный в целом ряде работ [14–17], позволяет определить основные факторы, которые способствуют реализации на их основе бортового тренажёра (БТ). К числу этих факторов относятся:

- наличие в составе КСУ ТС центральной координирующей системы управления (ЦКСУ), которая может использоваться в тренажёрном режиме и выполнять функции рабочего места руководителя обучения (РМО);
- наличие центральных и резервных пультов управления функциональными комплексами технических средств, которые также могут использоваться в тренажёрном режиме, выполняя роль рабочих мест обучающихся (РМО) и реализуя единичную подготовку операторов;
- возможности сетевой структуры КСУ ТС, которые позволяют тренировать операторов в комплексных режимах, т. е. реализовывать групповую подготовку.

Появление в современных КСУ ТС резервных пультов управления (РПУ) практически снимает препятствие для создания бортового тренажёра на штатных пультах из-за их непрерывного режима работы [14]. Перевод РПУ в тренажёрный режим возможен в любое время, и, по крайней мере, при стоянке корабля в базе. При этом не будет необходимости организовывать достаточно сложные мероприятия по обеспечению безопасности корабля – все время, пока одни пульты будут находиться в режиме бортового тренажёра, вахта будет контролировать состояние корабля с других пультов управления и местных постов. Во всяком случае перевод РПУ из режима тренажёра в рабочий режим не зай-

мет больше времени, чем его включение по назначению.

Очевидно, что создание БТ потребует установки на пульты КСУ ТС дополнительного функционального программного обеспечения (ФПО) тренажёрного режима, а именно [18]:

- ПО рабочего места руководителя обучения, обеспечивающее организацию проведения тренировок и занятий по специальности в рамках суточного плана корабля;
- дополнительное ПО рабочих мест операторов, обеспечивающее выполнение действий на штатном пульте, функционирующего в тренажёрном режиме;
- ПО вычислительно-моделирующего комплекса (ВМК), реализующее математические модели объектов управления, внешней среды и периферийной аппаратуры;
- БД тренажёрного режима, включающую БД начальных состояний моделирования (НСМ), БД архива тренировок, БД планирования и контроля занятий по специальности на БТ.

Существуют два пути решения проблемы недостатка вычислительных мощностей. Первый путь – введение в состав БТ дополнительного компьютера, который будет подключаться в сеть КСУ ТС только в тренажёрном режиме и использоваться как сервер для хранения программного обеспечения БТ. Второй путь – создание БТ на вновь разрабатываемых пультах при совместной работе с разработчиками штатных систем управления.

Организовать работу тренажёра на пультах КСУ ТС, используя корабельную СОД, предлагается с использованием технологии виртуальных локальных сетей (VLAN). Технология VLAN позволяет создать изолированную сеть на канальном уровне, неза-

висимо от типа адресации на базе одного и того же набора сетевых коммутаторов.

Наиболее подходящей реализацией для оптимальной организации трафика в рамках КСУ ТС является тегированный (в переводе – помеченный) VLAN. В случае использования такого VLAN сетевые коммутаторы и сетевые адаптеры на конечных абонентах принимают и передают специально помеченные сетевые пакеты, содержащие дополнительное поле тега виртуальной сети (номер). Когда сетевой адаптер на стороне абонента помечает передаваемые пакеты, он тем самым задает их принадлежность к виртуальной локальной сети бортового тренажёра. Сетевые коммутаторы, поддерживающие данную технологию, обрабатывают эти пакеты соответствующим образом, т. е. передают или не передают пакеты на выходные порты в зависимости от принадлежности порта виртуальной локальной сети.

Использование VLAN для организации межсистемного обмена в единой сети по сравнению с использованием программных шлюзов на модулях процессоров между физически различными сетями позволяет передавать пакеты без дополнительной задержки и только нужным абонентам. При этом сохраняется отказоустойчивость, гарантированная топологией физического кольца и зарезервированными сегментами.

Используя идею выделения отдельной VLAN для создания логически изолированной сети и канала для межсистемного обмена, можно добиться оптимизации получаемого абонентами трафика и исключить дополнительную нагрузку на корабельные сети при работе бортового тренажера. Используя виртуальную сеть и учитывая, что физическая структура сети в рамках одного помещения радиальная (STAR), для аппаратуры каждого отдельного помещения пакеты тренажёра будут циркулировать в сети обмена данными помещения, без выхода их в общую сеть СОД или ЦКСУ СОД корабля.

Вариант организации виртуальной сети для бортового тренажёра на резервных пультах надводного корабля с использованием сетевого оборудования корабельной СОД показан на рис. 5.

Организовать виртуальную сеть бортового тренажёра, используя штатные сети КСУ ТС современных кораблей, принципиально возможно без значительных доработок. Однако при использовании более мощных процессоров в пультах перспективных КСУ ТС предпочтительным вариантом было бы использование в сети процессора 1000 Base TX и более мощных процессоров в сети СОД.

Состав аппаратного обеспечения бортового тренажёра в значительной

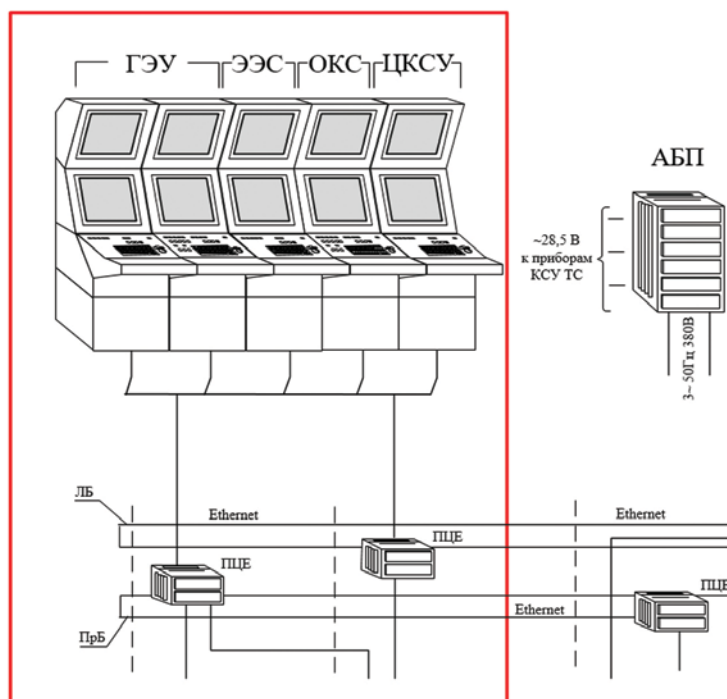


Рис. 5. Виртуальная сеть БТ

ГЭУ – РМО главной энергетической установки, ЭЭС – РМО электроэнергетической системы, ОКС – РМО общекорабельных систем, ЦКСУ – РМО на пульте центральной координирующей системы управления, АБП – аппаратура бесперебойного питания, ПЦЕ – прибор центральный технологический

степени зависит от требований, поставленных в техническом задании к составу функциональных задач. Если включение некоторых видов ПО бортового тренажёра в состав программируемых модулей пультов не представляет особых трудностей, то реализация других функций может повлечь за собой необходимость сервера в составе аппаратного обеспечения бортового тренажёра.

В настоящее время сервер широко используется в составе оборудования КСУ в иностранных флотах, в том числе и для реализации бортового тренажёра.

Структурная схема КСУ ТС с встроенным БТ и сервером немецкой ПЛ проекта 212А [19] показана на рис. 6.

Сервер можно организовать в двух вариантах: либо как отдельное изделие подключенное к СОД и включенное в состав корабельной аппаратуры, либо использовать переносной компьютер. Оба варианта реализации будут подключаться к коммутаторам из состава

виртуальной сети бортового тренажёра. Существование в аппаратуре КСУ ТС отдельного стационарного изделия – сервера, подключенного к СОД, с нашей точки зрения предпочтительнее, так как наличие требований по защите информации повлечет за собой дополнительные трудности организационного плана в части работы с переносным изделием, в составе которого может находиться информация ограниченного допуска.

Данный сервер можно использовать не только для работы бортового тренажёра, если дополнить базу данных сервера программными средствами подготовки, различными видами электронной документации. При реализации клиент-серверной архитектуры обучающийся на пульте управления сможет вызвать себе на монитор любой документ из БД сервера и изучить его. Кроме того, данный компьютер можно использовать как дополнительное средство ремонтной подготовки обучающихся.

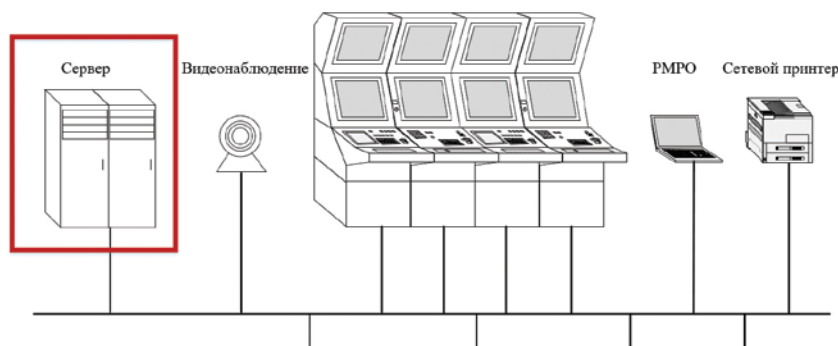


Рис. 6. Сервер

Сегодня каждая СУ ТС имеет стандартный набор унифицированных программ диагностирования, включающий программы тестового контроля сигнализаторов, реперного контроля датчиков, контроля линий связи с исполнительными органами на обрыв, короткое замыкание и снижение сопротивления изоляции. Обязательными в составе ПО являются компоненты, выявляющие неисправности в фоновом режиме (без перевода системы из режима работы по назначению в специальный режим диагностирования). Эти средства позволяют при своевременном проведении режимов диагностирования зафиксировать практически любую неисправность. Однако все перечисленные инструменты фиксации неисправности не идентифицируют ее конкретного места. Все перечисленные возможности диагностирования при их имитации в береговом тренажёре дадут обучающемуся лишь теоретические знания, но не смогут помочь приобрести практические навыки по алгоритму поиска. Такие навыки можно отработать только на аппаратуре, находящейся на корабле.

Суммируя вышесказанное, можно отметить, что наличие в сети обмена данными КСУ ТС сервера, подключенного к СОД, при определенных условиях делает возможным использование практически любого пульта в сети в качестве «клиента» для вызова необходимой информации из БД сервера и использование этого пульта в качестве учебно-тренировочного средства.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Новыми перспективными задачами тренажёростроения и разработки технических средств обучения, подлежащими развитию и практическому внедрению, являются:

- создание электронных учебных пособий для автоматизированных учебных курсов (АУК) по всей номенклатуре продукции, выпускаемой для учебных заведений ВМФ и морского флота по системам управления четвертого поколения и номенклатуре изделий Концерна (по сигнализаторам и датчикам);
- разработка технических средств обучения с элементами искусственного интеллекта (в средах дополненной и виртуальной реальности, смешанной реальности, с применением новых схемотехнических решений);
- создание средств отображения информации для формирования у обучающихся зрительного оперативного образа изучаемого объекта (2D, 3D анимация, динамика, цветовая палитра, минимизация текста, объемное представление);
- разработка учебных средств диа-

гностирования систем управления различного уровня и их поставка ремонтным подразделениям и учебным заведениям заказчиков и судостроительных предприятий в виде компьютерных ремонтных классов с диагностической аппаратурой, приборами и модулями систем.

Наиболее перспективными направлениями развития технологии проектирования ТСО с учетом мировых тенденций являются:

- разработка методов построения бортовых тренажёров как неотъемлемой части учебно-тренировочных средств корабля, создание технической структуры и программного обеспечения бортового тренажёра для широкого класса кораблей и судов самого различного назначения;
- создание тренажёров по принципу «пустого пульта» при полном внешнем сходстве с штатным автоматизированным рабочим местом оператора на основе ПЭВМ общепромышленного назначения;
- моделирование факторов внешней среды, влияющих на работу операторов и технических средств;
- оценка психофизиологического состояния оператора и выявление порогов эмоциональной и стрессовой устойчивости;
- автоматизированная оценка уровня обученности.

За более чем 50-летний период создания технических средств обучения концерн разработал и передал заказчикам десятки тренажёров самого различного назначения. Уникальным опытом можно назвать создание полномасштабного комплексного тренажёра операторов ЯЭУ с жидкометаллическим теплоносителем и берегового учебного центра в полной комплектации.

Технические средства обучения, созданные и создаваемые концерном, по своим технико-педагогическим характеристикам не уступают лучшим зарубежным аналогам и могут удовлетворить самого взыскательного заказчика.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шилов К. Ю., Губанов Ю. А. 50 лет НПО «Аврора» (1970–2020 гг.) – СПб., 2020. – 264 с.
2. Кобзев В. В., Шилов К. Ю. Методы создания технических средств обучения корабельных операторов. – СПб.: Наука, 2005. – 156 с.
3. Шилов К. Ю., Кобзев В. В. Концепция создания тренажёров для подготовки операторов корабельных ЯЭУ. – Тр. межотраслевой науч.-техн. конф. «Корабельная ядерная энергетика (КЯЭ–2014)». – Н. Новгород: Изд. ОАО «ОКБМ Африкантов», 2014. – С. 36–37.
4. Кобзев В. В., Меледин В. В. Оценка пороговых значений напряжённости операторов при отработке на тренажёре//

Системы управления и обработки информации: Науч.-техн. сб./АО «Концерн «НПО «Аврора». – 2014. – Вып. 1 (64). – С. 81–90.

5. Шилов К. Ю., Бобрович В. Ю., Кобзев В. В. Выбор и обоснование показателей уровня обученности операторов в процессе тренажёрной подготовки//Системы управления и отработки... – 2005. – Вып. 10. – С. 72–78.
6. Шилов К. Ю., Кобзев В. В. Контроль работы оператора в автоматизированных системах обучения//Морской вестник. – 2011. – № 3. – С. 62–64.
7. Шилов К. Ю., Кобзев В. В., Сизов Ю. Н. Новое поколение интеллектуальных тренажёров АО «Концерн «НПО «Аврора»//Морская радиоэлектроника. – 2013. – № 2. – С. 40–46.
8. Шилов К. Ю. Интеллектуальные тренажёры ОАО «Концерн «НПО «Аврора»: Межотраслевой альманах. – М.: Изд-во Славца, 2014, с. 16–18.
9. Шилов К. Ю. Моделирование систем управления нейронными сетями в составе тренажёра//Системы управления и отработки информации: Науч.-техн. сб./АО «Концерн «НПО «Аврора». – 2005. – Вып. 10. – С. 66–71.
10. Кобзев В. В. Экспертная система диагностики паропроизводящей установки на основе нечёткой логики//Системы управления и отработки... – 2018. – Вып. 1 (40).
11. Иващицкий В. В., Кобзев В. В. Бортовой тренажёр на корабельной системе управления техническими средствами клиент – серверной архитектуры//Системы управления и отработки... – 2023. – Вып. 3 (62). – С. 87–93.
12. Кобзев В. В., Чернёв А. П. Унификация видеокадров по способам отображения информации и алгоритмам работы операторов//Системы управления и отработки... – 2017. – Вып. 2 (37). – С. 61–71.
13. Кобзев В. В., Иващицкий В. В. Оценка элементной базы резервных пультов управления для реализации бортового тренажёра//Системы управления и отработки... – 2021. – Вып. 2 (53). – С. 76–84.
14. Блинов С. В., Киселев В. В., Сус Г. Н. Бортовой тренажёрный комплекс, встроенный в систему управления техническими средствами ПЛ//Системы управления и отработки... – 2010. – Вып. 21. – С. 134–138.
15. Кобзев В. В., Шилов Д. К. Тренажер на борту корабля./Морской вестник. – 2015. – № 3 (55). – С. 79–80.15.
16. Шилов К. Ю. Основные направления развития корабельных цифровых систем управления//Морская радиоэлектроника. – 2016. – № 1 (55). – С. 14–20.
17. Волков В. Ю., Грек Б. В., Шилов К. Ю. Бортовой тренажёр КСУ ТС типа «Фауна» кораблей Зеленодольского ПКБ – Ч. 1//Морской вестник. – 2016. – № 2 (58). – С. 85–88; Ч. 2//Морской вестник. – 2016. – № 3 (59). – С. 69–71.
18. Кобзев В. В., Иващицкий В. В. Бортовые тренажеры в составе комплексных систем управления//Системы управления и отработки информации... – 2020. – Вып. 1 (48). – С. 91–100.
19. Подводные лодки 212А проекта: Аналитический отчет ЦКБ МТ «Рубин». – 2019. – Вып. 24 (март). – Ил. 6. . ■

ВВЕДЕНИЕ

В условиях современного мира функционируют и активно развиваются такие наукоемкие отрасли, как судостроение, авиа- и ракетостроение, производство космической техники и другие отрасли, в результате деятельности которых создаются технически сложные, состоящие из большого количества компонентов изделия. Грамотно выстроенная кооперация в ходе создания наукоемких изделий – один из основных факторов качественного и своевременного выполнения работ, в том числе по государственному оборонному заказу. Благодаря современному развитию и широчайшему применению информационно-управляющих систем (ИУС) процессом проектирования и создания наукоемких объектов, информационный обмен между участниками этой работы играет основную роль. Качественный информационный обмен возможен только при условии наличия у информационного объекта набора данных об изделии, а именно уникального идентификатора, однозначно описывающего его конфигурацию.

Цель данного исследования – формализация требований в виде алгоритмического и информационного обеспечения для ИУС центра управления нормативно-справочной информацией (НСИ) о материально-технических ресурсах (МТР), применяемых при создании сложного наукоемкого объекта.

При проведении исследования были применены методы структурного анализа, алгоритмические методы, методы синтеза, в частности обобщения и анализа имеющегося опыта работ. Новизна данного метода заключается в том, что в отечественной промышленности никогда ранее не существовало центров кодирования (присвоения уникального идентификатора МТР), основанного на применении специальной ИУС, обрабатывающей и хранящей информацию об изделиях, применяемых в рамках отрасли.

Основным объектом труда при создании наукоемкого изделия является конструкторская документация (КД). Существующие системы обозначений КД, такие, как классификатор ОК 01–93 «Классификатор ЕСКД» [1], ГОСТ Р 2.201–2023 [2], позволяют при разработке изделия практически полностью закрепить за обозначением основного конструкторского документа все характеристики изделия. Однако при проектировании используется не менее 40% серийных изделий по разнородной документации на пос-

АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЦЕНТРА УПРАВЛЕНИЯ НОРМАТИВНО-СПРАВОЧНОЙ ИНФОРМАЦИЕЙ, ИСПОЛЪЗУЕМОЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ

С. А. Гейко, вед. инженер АО «СПМБМ «Малахит», ассистент кафедры «Инжиниринг и менеджмент качества» БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д. Ф. Устинова, контакт. тел. +7 (911) 009 0839

тавку. При информационном обмене от проектанта на завод-строитель уходит массив информации, которая может содержать неоднозначное описание изделия. Вопрос организации информационного обмена с применением транспортных массивов спецификаций более подробно рассмотрен в [3].

С целью решения данной проблемы в рамках АО «ОСК» были инициированы работы по созданию облика центра управления НСИ МТР.

Настоящее исследование выполнялось в несколько этапов:

- определение бизнес-ролей пользователей ИУС;
- определение входных и выходных данных;
- определение сценариев работы с ИУС и их алгоритмов.

Важно отметить, что основная доля принятых решений при формализации требований к отраслевому центру управления НСИ МТР основана на опыте ведения внутренней НСИ АО «СПМБМ «Малахит».

Определение бизнес-ролей было осуществлено в ходе комплексного анализа взаимодействия участников процесса создания корабля, а именно проектно-конструкторского бюро и завода-строителя. Основные бизнес-роли описаны в таблице.

Входными данными для системы НСИ МТР должны быть запросы на присвоение уникального идентификатора, основанные:

- на технической документации на изделие;
- на документах по стандартизации;
- на данных из ИУС проектанта.

Выходными данными из системы НСИ МТР являются информационные объекты, представляющие собой нормализованные записи по изделиям, содержащие минимально необходимый набор атрибутов для однозначного описания конфигурации изделия, определенный в [4], с присвоенным универсальным 128-битным уникальным идентификатором.

Рассмотрим два основных сценария работы с системой НСИ МТР и их

Таблица

Основные бизнес-роли по взаимодействию с системой НСИ МТР

Бизнес-роль	Основные функции
Специалист общества (абонент)	Работник общества (проектно-конструкторского бюро, завода-строителя, завода изготовителя составной части), ответственный за взаимодействие с ИУС НСИ МТР. Осуществляет следующие функции: <ul style="list-style-type: none">– поиск информации в системе НСИ МТР;– создание запросов на присвоение уникального идентификатора;– создание запросов на корректировку информации;– экспорт данных из системы НСИ МТР в информационные системы общества (абонента)
Специалист центра управления НСИ МТР (администратор)	Работник центра управления НСИ МТР, осуществляющий управление системой НСИ МТР. Выполняет следующие функции: <ul style="list-style-type: none">– обработка поступающих запросов;– поиск дублей;– нормализация имеющейся информации;– создание новых записей и присвоение кодов уникальных идентификаторов
Системный администратор центра управления НСИ МТР	Работник центра управления НСИ МТР, отвечающий за стабильную работу информационной системы НСИ МТР. Осуществляет следующие функции: <ul style="list-style-type: none">– решает вопросы технического характера, связанных с функционированием системы НСИ МТР;– обеспечивает сохранность и резервирование восстановления данных

алгоритмы в виде структурных схем, представленных на рис. 1.

На рис. 1, а представлен сценарий формирования запроса на присвоение уникального идентификатора. Предопределенный процесс «1а» подразумевает, что перед созданием запроса абоненту необходимо осуществить поиск оборудования среди уже имеющихся записей. Как было сказано ранее, процесс «2а» выстраивается на основе имеющейся в ИУС абонента информации, технической документации и документах по стандартизации. После проверки информации администратором системы НСИ МТР и обработки запроса специалист осуществляет экспорт нормализованной оператором информации в свои ИУС (в настоящее время информация о записи с присвоенным идентификатором, подлежащая выгрузке в ИУС проектанта, представляет собой набор данных формата XML, состоящий из атрибутов, описанных в [4], и уникального 128-битного идентификатора).

На рис. 1, б описан сценарий обработки специалистом центра НСИ МТР поступающих запросов. Первым шагом при обработке запроса является анализ списка предложенных системой дублей (условие «1б»), поскольку основная задача системы НСИ МТР – это полное исключение дублирующей информации. На следующих шагах обработки запроса «2б», «3б» специалист центра управления НСИ осуществляет сверку информации из поступающего запроса с технической документацией (документ на поставку, чертеж, документы по стандартизации и прочие документы, содержащие технические характеристики изделия). После обработки запроса специалисту общества (абоненту) направляется нормализованная запись, содержащая уникальный идентификатор с обязательной автоматизированной постановкой на абонентский учет (данный порядок также распространяется на выгруженные абонентом записи самостоятельно).

В рамках работы по созданию облика центра управления НСИ МТР была разработана «Методология управления нормативно-справочной информацией материально-технических ресурсов АО «ОСК» [4], в которой описаны все сценарии взаимодействия с системой НСИ МТР, основные положения цели и задачи. Данный документ был согласован со всеми ведущими проектно-конструкторскими бюро и заводами-строителями, входящими в АО «ОСК», и лег в основу технических требований к созданию модуля САПР тяжелого класса для судостроения. В документах также содержится структурная схема, отражающая логику взаимодействия участников создания сложного наукоемкого изделия (рис. 2).

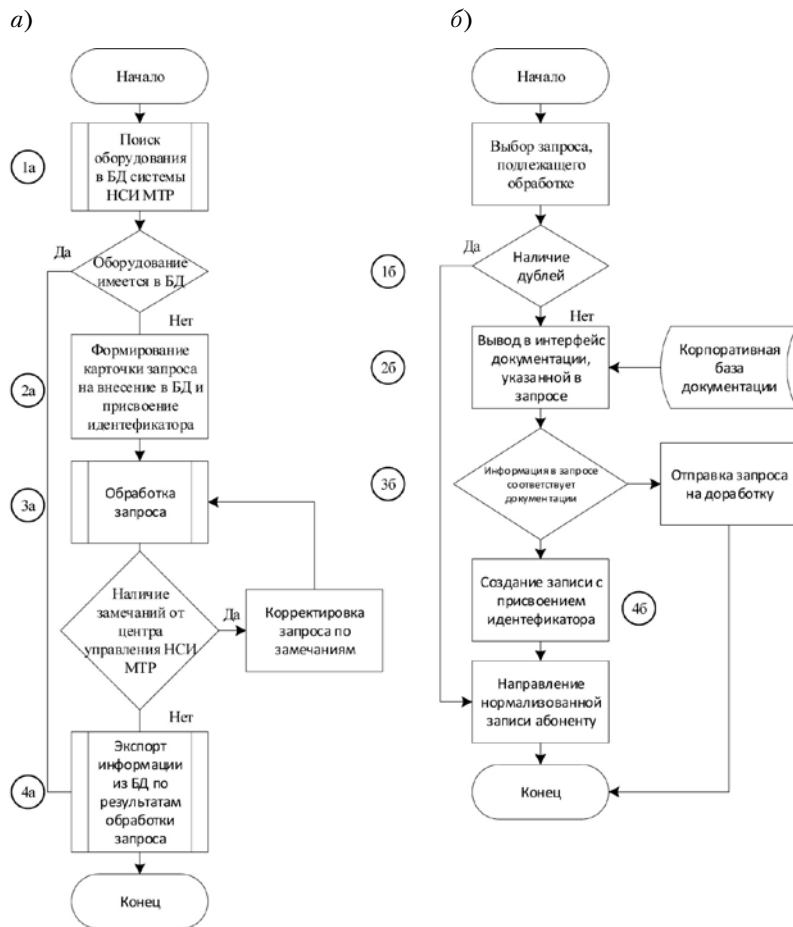


Рис. 1. Алгоритмы формирования запроса на присвоение уникального идентификатора

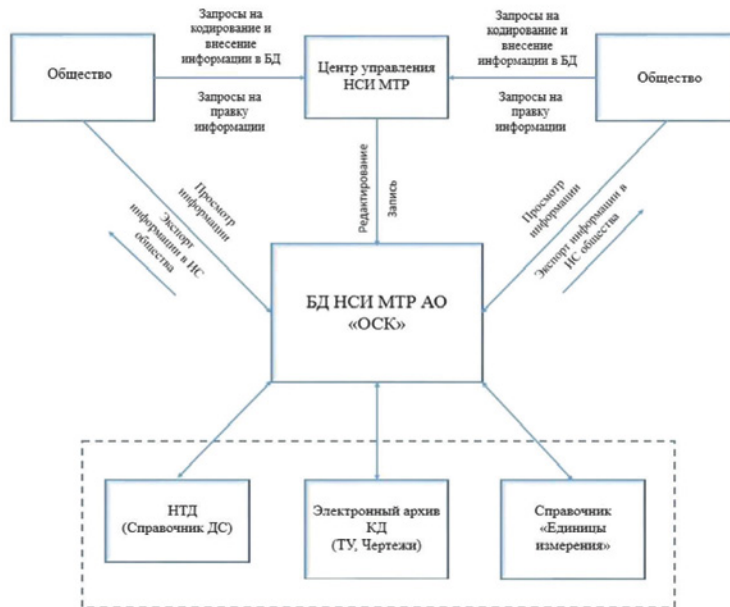


Рис. 2. Схема взаимодействия участников создания СНИ с системой НСИ МТР

Как было сказано ранее, в качестве прототипа для формализации требований в виде алгоритмического и информационного обеспечения к центру управления НСИ был взят порядок работ с внутренней НСИ крупного ПКБ морской техники. По сути было проведено масштабирование порядка работы с общесистемной базой дан-

ных (является составной частью информационно-управляющей системы процессом проектирования) АО «СПМБМ «Малахит», описанный в ЛТПИ-220.31–2022 [5], с учетом лучших практик и нюансов, которые могут возникнуть при использовании одной и той же информации разными участниками кооперации.

ВЫВОДЫ

В результате данного исследования была достигнута цель – формализованы требования к ИУС по управлению НСИ МТР в виде алгоритмического информационного обеспечения. Создание подобных центров по управлению НСИ МТР в отраслях позволит обеспечить единство применяемой при проектировании и изготовлении СНИ информации, тем самым сократит потери, вызываемые необходимостью повторной сверки информации всеми участниками кооперации. Реализация данного подхода к управлению НСИ МТР с применением информационных объектов с уникальным идентификатором дает возможность перейти отечественной

Постоянное развитие морского флота, совершенствование технологий и увеличение числа объектов, построенных с применением современных композитных материалов, выдвигают новые требования и подходы к обеспечению безопасности объектов морской техники. В современных реалиях даже небольшая авария может привести к значительным материальным убыткам и серьезным последствиям.

Согласно проведенному анализу аварий и происшествий на надводных кораблях ВМФ за последние 10 лет, из 126 аварий и происшествий 25 случаев связаны с пожарами, что составляет 19,8 %. Статистика представлена на рис. 1, причины возникновения – на рис. 2.

По результатам вышеприведенного анализа были выявлены следующие источники возникновения пожаров на кораблях:

1) *электрооборудование*: конструктивные и технологические недостатки электрооборудования, заливание электрооборудования, короткое замыкание (КЗ) сетей питания, возгорание электромашин, щитовых, электростанции, электрораспределительные щиты, автоматические выключатели и пускатели и т.п.;

2) *нагретые поверхности*: возгорания на поверхности газоходов, под кожухами газовых турбин, возгорание топлива и масел при попадании на нагретые поверхности оборудования, утюги, кипятивники и обогреватели;

3) *открытый огонь*: взрывы смесей горючих газов и паров с воздухом при воздействии источников зажигания, самовоспламенение ЛВЖ, непотушенная сигарета, выброс пламени из инсинераторов и картеров двигателей внутреннего сгорания, взрывы паров масел в картере;

промышленности к созданию продукции в едином информационном пространстве, концепция которого рассмотрена в [6].

ЛИТЕРАТУРА

1. ОК 0193 «Классификатор ЕСКД». Введение. 1.79.00 (с изменениями). Введ. 30.12.1993. – М.: ВНИИМАШ, 1993. – 1 с.
2. ОК 034–2014 (КПЕС 2008) Общероссийский классификатор продукции по видам экономической деятельности (ОКПД 2). Введ. 31.01.2014. – М.: Стандартинформ, 2014. – 1 с.
3. Логинов А. Н., Кот П. Н., Никифоров С. А. Переход на XML-формат транспортного массива при обмене информацией проектанта с заводами-строителями // Судостроение – 2022. – № 1 (860).
4. Методология управления нормативно-справочной информацией материально-технических ресурсов АО «ОСК». Судовое комплектующее оборудование: Справ. – СПб.: АО «СПМБМ «Малахит», 2023.
5. ЛТПИ-220.31–2022 Ввод информации в общесистемную базу данных для пользователей конструкторских подразделений бюро. Положение. – СПб.: АО СПМБМ «Малахит» – 2022.
6. Абдулин А. Я., Сетюшкин Н. С., Суханов А. В., Ямалиев Р. Р. Системы автоматизированного проектирования, как инструмент решения наукоемких конструкторских задач судостроения // Вестник Воронежского ГТУ. – 2010. – № 10. – С. 114–117. ■

КОРАБЕЛЬНЫЙ АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС МОНИТОРИНГА ПРЕДПОЖАРНЫХ СИТУАЦИЙ, ВЫРАБОТКИ ПРОГНОЗА РАЗВИТИЯ ПОЖАРА И РЕКОМЕНДАЦИЙ В СЛОЖИВШЕЙСЯ ОБСТАНОВКЕ

В.Н. Грачев, гл. инженер,
Ю.В. Беляев, вед. инженер, гл. конструктор системы «Касатка»,
Н.С. Давыдов, инженер 1-й категории,
АО «НПФ «Меридиан»,
контакт. тел. (812) 602 0375, доб. 101, 524

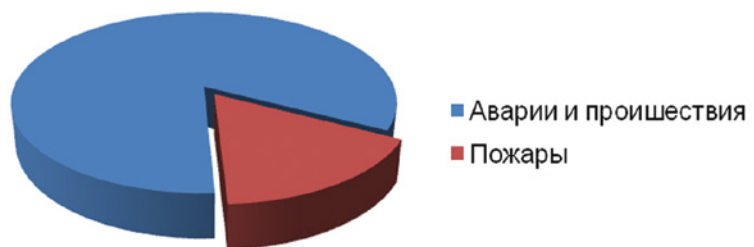


Рис. 1. Статистика аварий и происшествий за последние десять лет



Рис. 2. Причины возникновения пожаров

4) *химические процессы*: взрывы водорода при заряде аккумуляторов, паров масла в картерах дизелей, паров топлива в цистернах от статического электричества, самовоспламенение филь-

тров систем очистки воздуха, аккумуляторных батарей, регенеративные установок и патронов.

5) *прочие источники*: распыл горюче-смазочных (ГСМ) через свищи и

уплотнения, сварочные, окрасочные и другие ремонтно-восстановительные работы, разгерметизация топливных, масляных и гидравлических систем и т.п.

6) *ошибки личного состава*: в управлении оборудованием, техническими средствами, нарушение правил эксплуатации.

Каждый источник пожара на корабле, упомянутый выше, имеет косвенные показатели пожароопасной и предпожарной ситуаций. Обнаружение таких показателей в отсеке в кратчайшие сроки позволит предотвратить развивающуюся аварию или пожар.

На сегодняшний день существующие корабельные системы пожарной сигнализации позволяют обнаружить возгорание по таким признакам, как наличие дыма, повышение температуры выше заданных значений, наличие открытого пламени, т. е. на стадии активного горения.

Помимо пожарной сигнализации, информирующей о неблагоприятной ситуации, в контурах контроля и управления корабля существует достаточно источников информации, которая может быть систематизирована и использована для выявления предпожарной ситуации и прогнозирования распространения пожара:

- технические средства контроля параметров технологических процессов, используемых в системах управления и контроля энергетическими установками, общекорабельными системами, электроэнергетической системой корабля;
- датчики наличия паров топлива;
- системы теле- и тепловизионного контроля наличия повреждений, появления течи, пара, дыма, о температуре помещения.

Все они являются источниками данных:

- о надежности технических средств и оборудования;
- о состоянии кабельных трасс;
- о проводимых и предстоящих ремонтах и профилактических работах, связанных с проведением сварочных, лакокрасочных работ, монтажом и демонтажом оборудования;
- о погрузке и выгрузке боезапаса;
- о загрузке авиационного топлива;
- о погрузке и выгрузке прочих грузов, степени его пожароопасности.

Систематизировать и анализировать имеющуюся на корабле информацию в целях выявления предпожарных ситуаций, прогноза развития пожара и выработки рекомендаций можно посредством *аппаратно-программного комплекса мониторинга предпожарных ситуаций*.

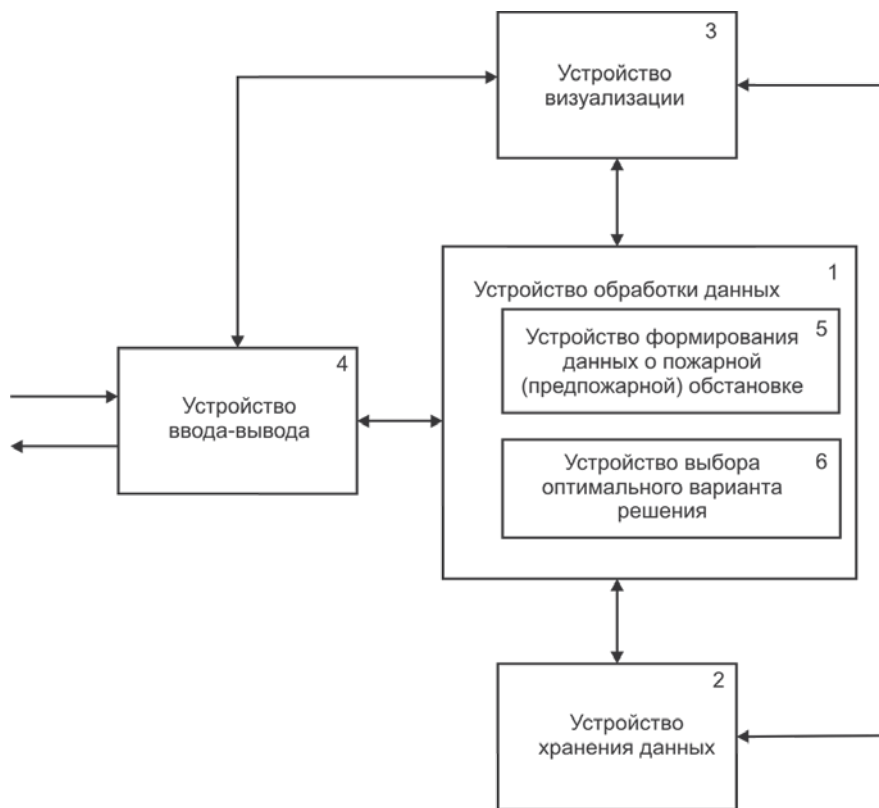


Рис. 3. Структурно-функциональная схема аппаратно-программного комплекса

Данный комплекс состоит (рис. 3) из соединенных средствами связи устройств обработки данных 1, хранения данных 2, визуализации 3 и ввода исходных данных–вывода результатов 4.

Устройство обработки данных 1 включает встроенное устройство формирования данных о пожарной (предпожарной) обстановке и устройство выбора оптимального варианта решения, а устройство хранения данных 2 включает базу данных, в которой хранятся сведения о соответствующих примерах оперативного решения конкретных проблем, и базу данных, в которой хранится перечень типовых проблем и соответствующих каждому типу проблемы математических моделей, а также данные о конструкции и планировке корабля.

Перечень проблем, примеры которых хранятся в базе данных, касаются широкого класса задач, например, таких, как определение степени риска и степени безопасности при появлении пожарной опасности для достижения успеха – устранения опасности и минимизации возможного ущерба. Например, таком перечне могут содержаться примеры:

- выбора наилучших вариантов решений;
- поиска компромиссных вариантов решений;
- поиска рациональных вариантов распределения ресурсов;
- ранжирования вариантов решений;
- оценки вероятности успеха (сни-

жения величины ущерба);

- оценки безопасности различных сфер деятельности с учетом угроз и рисков.

Каждая из указанных выше проблем может быть описана математической моделью, содержащейся в базе данных, которая хранится в устройстве хранения данных 2.

Представленный перечень типовых проблем может быть расширен (или сужен) путем включения дополнительных и соответствующих им математическим моделям.

В основе решения любой проблемы лежит выбор максимально эффективного, качественного варианта решения с учетом вероятности успеха и степени риска при ограниченных ресурсах. В базе данных записаны два типа моделей выбора (принятия решения): аппроксимационные и оптимизационные [1–3].

Общая структура аппроксимационных моделей имеет вид

$$E = f(x_i, y_j). \quad (1)$$

где E – векторный результат (эффективность) решения проблемы; f – функционалы зависимости между x_i и y_j , определяющие вектор E (эффективность системы); x_i – переменные, которыми можно управлять, $i = 1, m$; y_j – переменные, которыми нельзя управлять, $j = 1, n$.

Аппроксимационные модели используются для оценки параметров, характеризующих возможность достиже-

ния успеха, степень риска и безопасности, а также других характеристик объектов с целью последующего выбора наиболее предпочтительных из них посредством оптимизационных моделей.

Общая структура оптимизационных моделей многокритериального выбора имеет вид:

– либо

$$x_i^* \max E_{x_i}^* = \max_{x_i} f^*(x_i, y_j), \quad (2)$$

если выбор x_i^* не зависит от y_j , описывающих поведение внешней среды (природы, конкурентов, врагов, и т.п.),

– либо

$$x_i^* \max_{x_i} \min_{y_j} f^*(x_i, y_j, y_j^*), \quad (3)$$

если выбор x_i^* зависит от y_j^* , описывающих поведение внешней среды, действующей в собственных интересах.

Ограничениями являются

$$L_k(x, c_i) \leq L_k^*, \quad (4)$$

где $k = 1, 3; i = 1, m; C_i = \text{const}$.

Критерием выбора служит правило многокритериальной реализации $\max E^*$, $\min E^*$ либо $\text{maxmin} E^*$, где E^* рассматривается как векторка вектора или указанные правила реализуются как поиск верхней или нижней грани составляющих вектора E или функционалов f .

Клавиатура в устройстве ввода-вывода 4 для ввода исходных данных может быть выполнена как в виде устройства с клавишами, так и в виде виртуальной клавиатуры, которая представляет собой набор клавиш, изображенных на сенсорном экране, касание которых имитирует физическое нажатие клавиш на клавиатуре устройства ввода-вывода.

Перечни типов проблем и примеров их решения, записанных в соответствующих базах данных, являются открытыми и могут пополняться по желанию пользователя, так же как и набор математических моделей, хранящийся в соответствующей базе данных и используемый для выработки оценок параметров и рекомендаций по решению проблем.

Для удобства пользователей устройство хранения данных 2 может дополнительно содержать базу данных, в которой хранятся данные, соответствующие примерам оперативного решения конкретных проблем и в которую могут записываться новые примеры, полученные при решении проблем, заданных пользователем.

Для того чтобы система начала работать, пользователь с помощью клавиатуры устройства ввода-вывода 4 вводит пароль, представляющий собой

произвольный набор символов. Из устройства ввода-вывода 4 пароль, представляющий собой определенную последовательность сигналов, по линиям связи, поступает в устройство обработки данных 1, в котором его сравнивают с данными, представляющими собой заданную последовательность сигналов, хранящимися в системе как пароль пользователя. Если введенный пароль совпадает с хранящимся в системе, то система начинает работать.

Данные от системы пожарной сигнализации, от системы теле- и тепловизионного контроля, от системы управления и контроля энергетическими установками корабля и общекорабельными системами, от системы контроля топлива в виде последовательности сигналов через устройство ввода-вывода поступают на устройство обработки данных.

Данные о надежности технических средств (дата, результаты регламентных работ по образцам корабельного оборудования), состоянии кабельных трасс (дата и результаты замеров сопротивления изоляции), о проводимых и предстоящих ремонтах и профилактических работах, связанных с проведением сварочных, лакокрасочных работ, монтажом и демонтажом оборудования, данные о погрузке и выгрузке груза с указанием степени его пожароопасности вводятся и периодически обновляются оператором с клавиатуры устройства ввода-вывода в соответствии с установленной формой. Введенные данные в виде последовательности сигналов поступают на устройство обработки данных и устройство хранения данных.

На основании информации, принятой от корабельных систем, устройство обработки данных (не показано) на основе хранящейся в устройстве хранения информации ищет в базе данных подмножество типов проблем, соответствующих принятой информации, и формирует ответ в виде данных, представляющих собой определенную последовательность сигналов, соответствующих этому подмножеству, и передает его в устройство обработки данных 1.

В устройстве 1 формируется команда, представляющая собой определенную последовательность сигналов, по которой поступившие данные передаются в устройство визуализации 3 и выводятся на экран, на котором отображается по-палубный план корабля. На плане, на месте каждого помещения, отображается индикатор состояния помещения – сегмент определенного цвета – в зависимости от

степени пожароопасности. Подводя при помощи клавиатуры курсор в область отображения любого охраняемого помещения при помощи клавиш «↑», «↓», «→», «←» и нажатия клавиши «Enter» либо, если используется сенсорный экран, с помощью специального пера или пальца путем касания нужного места на экране дисплея, на нем отобразится информация, касающаяся пожарной опасности, включающая наименование образца оборудования, наименование корабельной системы, в состав которой входит образец оборудования, место его расположения в помещении, параметры, по которым установлено пожароопасное состояние образца оборудования, опасные направления распространения пожара, виртуальные кнопки просмотра информации от различных источников, виртуальные кнопки просмотра рекомендаций вахтенной службе и аварийным партиям. Нажатие кнопок осуществляется подводом курсора при помощи клавиш «↑», «↓», «→», «←» и нажатия клавиши «Enter».

Каждому типу проблемы, представленному в базе данных, соответствует перечень параметров, получаемых от различных источников.

Выработанная информация о пожароопасной обстановке и рекомендации сохраняются в устройстве хранения данных и могут быть переданы через устройство (не показано) на другое устройство, например, печатающее устройство, ЭВМ, телефонные и факсимильные аппараты, электронная записная книжка, прочие устройства памяти.

Дополнительно в устройстве хранения данных содержится нормативная документация по вопросам, связанным с выполнением правил пожарной безопасности на корабле при нахождении в море и стоянке, которая может быть выведена на устройство визуализации по соответствующему запросу оператора.

В настоящее время реализация указанного аппаратно-программного комплекса на основе одноплатных компьютеров общего назначения осуществляется в новых разработках АО НПФ «Меридиан».

ЛИТЕРАТУРА

1. *Лузянин В.П.* Национальная безопасность и многополюсные модели стабильности. – М.: Изд. ВАГШ. – 1992.
2. *Лузянин В.П.* Методология анализа проблем безопасности и стабильности. – М.: Военная мысль. – 1992. – № 8, 9.
3. *Лузянин В.П.* Модели стабильности многополюсных систем. – М.: АВИАР. – 1993. ■

С 2021 по 2022 г. в рамках ОКР «БЭС КФ» компания «Ситроникс КТ» совместно с судовладельцами проводила опытную эксплуатацию базовой технологической платформы (БТП) для отработки технологии автономного судовождения на судах коммерческого флота в море [1, 2]. В 2023 г. специалисты «Ситроникс КТ» оснастили береговой центр дистанционного управления (ЦДУ) и паромы «Маршал Рокоссовский» и «Генерал Черняховский» автономным навигационным комплексом (АНК). Данный комплекс был разработан на основе базовой технологической платформы и доработан до соответствия требованиям МАНС [3]. В ноябре 2023 г. Российский морской регистр судоходства подтвердил соответствие паромов «Маршал Рокоссовский» и «Генерал Черняховский», а также ЦДУ требованиям по классификации морских автономных и дистанционно управляемых надводных судов [4, 5]. На рис. 1 представлен пост дистанционного управления паромом «Генерал Черняховский» в ЦДУ, расположенном в морском порту г. Санкт-Петербурга.

Суда, оборудованные АНК компании «Ситроникс КТ», прошли десятки тысяч миль в автономном и дистанционном режиме управления, включая маневры расхождения с окружающими судами в соответствии с правилами МППСС-72. На рис. 2 представлен экран клиента автономной навигационной системы при выполнении маневра обгона в автономном режиме паромом «Генерал Черняховский». За время разработки и внедрения АНК специалисты «Ситроникс КТ» получили большой опыт, обеспечения кибербезопасности, отказоустойчивости программной и аппаратной части, эргономики рабочего места и программного обеспечения, разработки математического и алгоритмического обеспечения для обработки и анализа окружающей целевой обстановки, комплексирования навигационных данных, управления движением судна в автономном и дистанционных режимах.

В данной статье на основе полученного опыта обоснован и предложен минимальный состав навигационно-измерительных датчиков, обеспечивающий АНК устойчивость к единичному отказу навигационного оборудования. Управление движением автономным или полуавтономным судном осуществляется АНК в нескольких режимах [6]. Для каждого режима требуется свой состав навигационных данных. В статье сначала описаны режимы работы АНК для автономного и дистанционного управления судном. Затем приводится состав навигацион-

НАВИГАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ АВТОНОМНОГО СУДНА: РЕЖИМЫ РАБОТЫ И ТРЕБОВАНИЯ К НАВИГАЦИОННЫМ ПРИБОРАМ

А. С. Корнев, начальник отдела,
А. С. Скрыпка, руководитель блока А-Навигация, АО «Ситроникс КТ»,
С. П. Хабаров, канд. техн. наук, доцент СПбГЛТУ им. С. М. Кирова,
 контакт. тел. +7 (921) 383 1499, +7 (987) 435 1371,
 alexey.korenev@sitroniks-kt.ru, andrey.skrypka@sitroniks-kt.ru,
 serg.habarov@mail.ru,



Рис. 1. Пост дистанционного управления паромом «Генерал Черняховский»

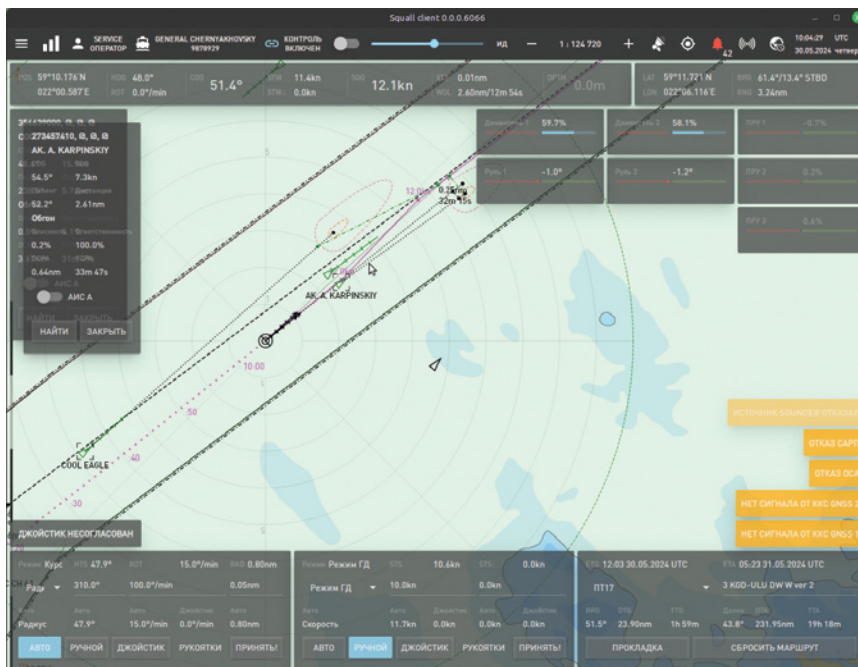


Рис. 2. Внешний вид клиента АНС

ного оборудования, необходимого для каждого режима работы АНК.

Под *полностью автономным судном* понимается судно [7], способное осуществлять плавание без экипажа на борту, под *полуавтономным* – судно [7] с экипажем на борту, способное осуществлять плавание без непрерывного несения ходовой вахты экипажем.

РЕЖИМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Режимы автономного и дистанционного управления с берегового поста для автономного и полуавтономного судна не различаются. Далее мы будем рассматривать полуавтономное судно, помня о том, что все сказанное применимо и к автономному.

В составе АНК управление движением судна в автономном или дистанционном режиме с берегового поста обеспечивают автономная навигационная система совместно с системой координированного управления.

Рассмотрим дистанционное управление полуавтономным судном с поста ЦДУ. На рис. 3 представлена иерархическая структура уровней автоматизации для систем управления полуавтономного судна. Здесь автономная навигационная система состоит из бортовой (АНС-сервер) и береговой частей (АНС-клиент). Все команды на управление полуавтономным судном с ЦДУ задаются через АНС-клиент, далее эти команды посредством комплекса связи поступают в АНС-сервер, и в последующем команды выполняются на борту судна сверху вниз в соответствии с установленным порядком подчиненности [1]. В АНС предусмотрено задание команд для каналов курса и скорости в трех основных режимах: «АВТО», «РУЧНОЙ» и «ПРЯМОЙ». Каждый из этих режимов предусмотрен для задания команд на системы своего уровня автоматизации. Рассмотрим работу АНС в данных режимах более подробно.

Режим «ПРЯМОЙ» предназначен для задания команд с поста ЦДУ на системы дистанционного автоматизированного управления судна (ДАУ). Команды на системы ДАУ судна задаются с помощью графических средств (полосы прокрутки, поля ввода) в АНС-клиенте или же с помощью аппаратных рукояток (рукоятки машинного телеграфа и др.), расположенных на дистанционном посту управления (см. рис. 1). В данном режиме управления команды, заданные в АНС, поступают в СКУ, и только потом СКУ отправляет эти команды на системы ДАУ.

В рамках ОКР «БЭС КФ» во время опытной эксплуатации полуавтономных судов были проведены исследования, опубликованные в работе [6]. Результаты этих исследований показали, что в режиме «ПРЯМОЙ» управление маневрированием судна с помощью рукояток, расположенных на ЦДУ, будет использоваться крайне редко. В то же время задание скорости хода при движении на маршруте будет осуществляться судоводителем от рукояток машинного телеграфа в 48% случаях, в остальных случаях будет использоваться автоматическое поддержание заданной скорости хода. Изменение положение рукояток машинного телеграфа при движении по маршруту судна осуществляется крайне редко, по этой причине на посту ЦДУ можно не устанавливать рукоятки для управления ходом судна, достаточно обеспечить задание положения машинного телеграфа в интерфейсе АНС-клиента.

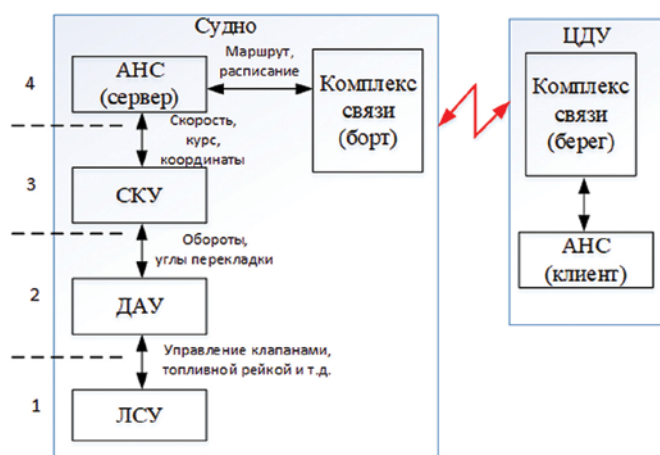


Рис. 3. Иерархическая структура уровней автоматизации систем управления полуавтономного судна

Практика использования АНС на парамах «Маршал Рокоссовский» и «Генерал Черняховских» подтвердила, что в режиме «ПРЯМОЙ» неудобно осуществлять маневрирование судном с использованием рукояток на посту ЦДУ. Основное неудобство связано с тем, что судоводитель на ЦДУ тактильно не чувствует движение судна при задании команд от органов управления и ему сложно визуальным образом оценивать обстановку вокруг судна на плоских мониторах.

Режим «РУЧНОЙ» предназначен для задания команд с поста ЦДУ на систему СКУ. Команды задаются с помощью графических средств (полосы прокрутки, поля ввода) в АНС-клиенте или с помощью джойстика, расположенного на дистанционном посту управления. Управление движением от СКУ осуществляется для тех скоростей хода, на которых средства управления движением обеспечивают маневрирование судна [1].

Средства управления движением судна разделяются на главные, вспомогательные и ограничивающие [8]. К главным средствам управления относятся движители и рулевые устройства. Они используются при создании продольного движения и управлением судном на курсе и могут быть эффективны во всем диапазоне скоростей либо же начиная с минимальной скорости хода, которой соответствуют минимальные обороты движителей, или на которой обеспечивается эффективность рулевого устройства.

Вспомогательные средства управления предназначены для повышения маневренности судна на малых ходах. Используются во время прохождения узкостей и швартовки судна. Наиболее распространенными вспомогательными средствами управления являются подруливающие устройства.

Ограничивающие устройства используются для фиксации местоположения судна. К основным ограничиваю-

щим средствам относятся якорно-швартовные устройства.

Используя главные средства управления на скоростях более 4 уз (высокая скорость), СКУ может обеспечить движение судна с заданной продольной скоростью переднего хода и стабилизацию заданного курса, включая переход с курса на новый курс с заданным радиусом/угловой скоростью. При движении на скоростях менее 4 уз вспомогательные средства управления становятся эффективными, что позволяет увеличить возможности СКУ по маневрированию судном и обеспечить его движение с заданной угловой, продольной и поперечной скоростью, включая движение на задний ход, а также обеспечить удержание заданного курса и местоположения судна. Данное различие в использовании средств управления приводит к тому, что в СКУ появляются два принципиально различных режима управления движением судна: режим «высокой скорости» хода (более 4 уз) и режим «низкой скорости» хода (менее 4 уз) [9]. В каждом из этих режимов доступны свои переменные состояния объекта (координаты), значения которых могут быть заданы СКУ в качестве команд при управлении движением судна (рис. 4). Одновременно по каждой координате возможно только одно управление, например, если мы стабилизируем угловую скорость, то не можем стабилизировать курс.

В режиме «АВТО» АНС осуществляет автономное управление движением судна, используя возможности СКУ по управлению движением для решения своих задач при ведении судна по маршруту в соответствии с заданным расписанием и окружающей навигационной обстановкой, включая маневры расхождения с другими судами. Управление возможно как на высокой, так и на низкой скорости хода.

Автономное движение полуавтономного судна – самый используемый

режим управления. В этом режиме перед началом управления судоводитель на ЦДУ в клиентском приложении АНС (см. рис. 2) строит маршрут, устанавливая путевые точки на карте. Для режима «высокой скорости» задает скорость хода судна на каждом участке маршрута, устанавливает радиус циркуляции между плечами маршрута и допустимое отклонение от основной линии маршрута. Для режима «низкой скорости» дополнительно задает курс судна на плече маршрута. На основе заданной скорости хода на участках маршрута в АНС-клиенте формируется расписание движения судна. Судоводитель на ЦДУ отправляет маршрут и расписание движения в АНС-сервер на борту судна. После получения маршрута и расписания АНС управляет судном в автономном режиме, формируя соответствующие команды для СКУ. Система координированного управления, управляя исполнительными механизмами движительно-рулевого комплекса, обеспечивает заданные АНС значения переменных состояния судна [9].

НАВИГАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

В режимах «АВТО» и «РУЧНОЙ» команды на системы ДАУ формируются регуляторами, для работы которых необходимы данные с навигационных датчиков о состоянии судна. При формировании команд в режиме «ПРЯМОЙ» регуляторы не используются, а значение команд на системы ДАУ задаются непосредственно в АНС-клиенте. По этой причине в части навигационного обеспечения для нас представляют интерес только режимы «РУЧНОЙ» и «АВТО». В то же время работа в этих режимах для СКУ ничем не отличается, так как в первом случае команды для СКУ задаются в АНС-клиенте, а во втором формируются регуляторами АНС, обеспечивающими движение по заданному маршруту согласно установленному расписанию. Поэтому рассмотрим отдельно необходимое навигационное обеспечение для режимов работы СКУ для «высокой» и «низкой скорости» хода и отдельно необходимое навигационное обеспечение для решения задач АНС при движении по маршруту в режиме «АВТО».

Режим СКУ «Высокая скорость». При работе на «высокой скорости» СКУ управляет двумя координатами: продольной скоростью хода и курсом судна. Необходимые навигационные датчики для работы СКУ в данном режиме представлены в табл. 1. Рассмотрим данные, приведенные в табл. 1, более подробно. Стабилизация скорости хода может осуществляться относительно воды или относительно земли. В первом случае используются данные от лага, а при стабилизации скорости

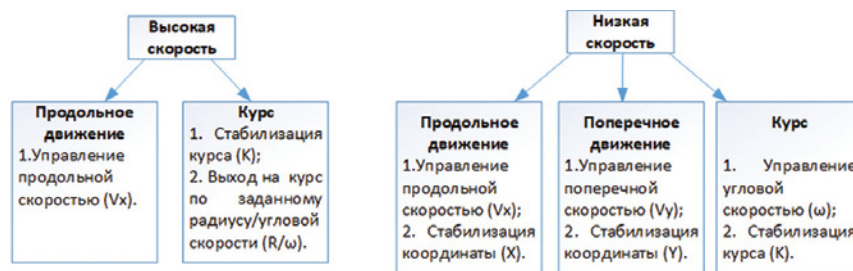


Рис. 4. Схема режимов управления СКУ

Таблица 1

Навигационные датчики, используемые СКУ в режиме «высокая скорость»

Навигационные датчики				
Показатель	GPS/ГЛОНАСС	Лаг	Компас	Анемометр
Курс: – ROT – радиус	1	– –	2	+
Скорость продольная: – отн. воды – отн. земли		1 –		– –

1 – не требует резервирования; 2 – требует резервирования; «+» – необязателен, но улучшит качество; «–» – не требуется

относительно земли – данные с приемника GPS/ГЛОНАСС. Все навигационные данные проходят фильтрацию и диагностику на наличие отказов. Для фильтрации данных от лага применяется диагностический фильтр, а для фильтрации и восстановления данных продольной скорости относительно земли – отказоустойчивый адаптивный фильтр Калмана [10–12]. При отказе лага в режиме стабилизации скорости относительно воды система выдает сигнал аварийной предупредительной сигнализации (АПС) и автоматически переходит в режим стабилизации скорости относительно земли, используя данные с приемника GPS/ГЛОНАСС. Аналогичная ситуация произойдет в случае отказа приемника GPS/ГЛОНАСС. Другими словами, лаг и приемник GPS/ГЛОНАСС резервируют данные друг друга, так как при отказе одного из этих датчиков происходит не критический отказ системы, а ее деградация с небольшим ухудшением качества работы для выбранного режима. По этой причине лаг и приемник GPS/ГЛОНАСС не требуют резервирования, что и отражено в табл. 1.

Стабилизация курса осуществляется с использованием данных от компаса, который является для системы критическим, поэтому требуется его резервирование. Переход с одного заданного курса на другой курс осуществляется с заданной угловой скоростью или с заданным радиусом поворота. В обоих случаях требуется использование данных угловой скорости циркуляции, которые восстанавливаются с помощью фильтра Калмана по измеренным значениям текущего курса судна. При движении по заданному радиусу, помимо угловой скорости циркуляции, требуется значе-

ние абсолютной скорости относительно земли, которая поступает с датчика GPS/ГЛОНАСС. Для более быстрой реакции регулятора курса на ветровое возмущение дополнительно можно использовать анемометр. В случае отказа анемометра качество управления по курсу не ухудшится, а только увеличится время реакции системы на ветровое возмущение.

Режим СКУ «Низкая скорость». При работе на «низкой скорости» СКУ управляет одновременно тремя величинами: продольной скоростью/координатой, поперечной скоростью/координатой и угловой скоростью/курсом судна. Необходимые навигационные датчики для работы СКУ в данном режиме представлены в табл. 2. Рассмотрим данные, приведенные в табл. 2, более подробно.

В режиме «Низкая скорость» СКУ обеспечивает движение судна с заданным курсом и вектором скорости в несвязанной инерциальной системе координат [10], кроме того, система может обеспечивать удержание заданного местоположения и поворот судна на новый курс с заданной угловой скоростью. Во всех данных случаях отказ датчиков курса и местоположения GPS/ГЛОНАСС является критическим, по этой причине требуется резервирование данных датчиков.

Датчики местоположения GPS/ГЛОНАСС размещаются на мачте судна, поэтому во время качки судна погрешность их показаний увеличится. Для учета этой погрешности используются данные с датчиков крена и дифферента, которые позволяют рассчитать и устранить ошибку местоположения, вызванную качкой судна. Отказ датчика крена и дифферента снизит точность удержания местоположения, но не приведет к критическому отказу системы.

Навигационные датчики, используемые СКУ в режиме «низкая скорость»

Навигационные датчики					
Показатель		GPS/ГЛОНАСС	Компас	Анемометр	Датчик крена/дифферента
Курс	Скорость	–	2	1	–
	Координата	–			–
X	Скорость	2	2	1	1
	Координата				
Y	Скорость	2	2	1	1
	Координата				

1 – не требует резервирования; 2 – требует резервирования; «+» – необязателен, но улучшит качество; «–» – не требуется

Таблица 3

Навигационные датчики, используемые АНС

Навигационные датчики						
Назначение	РЛС	АИС	GPS/ГЛОНАСС	Лог	Компас	Эхолот
Определение целевой обстановки	2	1	2	–	2	–
Ведение судна по маршруту, включая маневры расхождения	–	–		1		2

1 – не требует резервирования; 2 – требует резервирования; «+» – необязателен, но улучшит качество; «–» – не требуется

Использование данных с анемометра позволяет реализовать прямое управление по возмущению (feedforward control), что увеличивает быстрдействие системы на внешнее возмущение от ветра и тем самым улучшает точность системы при стабилизации местоположения или вектора скорости. В случае отказа датчика ветра СКУ будет обрабатывать внешние возмущения, используя данные по отклонению переменных состояния в каналах обратной связи. Это приведет к снижению точности и увеличению времени реакции системы на ветровое возмущение, но не вызовет критический отказ работы системы.

Следует отметить, что на «низкой скорости» данные с лага не используются. Это связано с тем, что многоальтернативный фильтр Калмана, содержащий гидродинамические параметры корпуса судна, восстанавливает скорость судна относительно воды с достаточной точностью на основе данных местоположения и курса [13].

Режим АНС «АВТО». При движении судна в автоматическом режиме АНС решает следующие задачи: определение целевой обстановки вокруг судна и управление судном на маршруте, включая выполнение маневров расхождения с другими судами. Необходимые навигационные датчики для работы АНС представлены в табл. 3. Рассмотрим данные, приведенные в табл. 3, более подробно.

Основными навигационными датчиками, используемыми АНС при ведении судна по маршруту, являются приемник GPS/ГЛОНАСС и компас. Данные с лага совместно с данными от приемника GPS/ГЛОНАСС используются для уточнения скорости бокового сноса, что позволяет улучшить качество ведения судна по маршруту. В случае отказа лага АНС будет использовать только данные с приемника GPS/ГЛОНАСС. Отказ же компаса и приемника GPS/ГЛОНАСС является для АНС критическим.

Данные о целях, с которыми осуществляется расхождение, АНС получает от радиолокационной станции (РЛС) и автоматической идентификационной системы (АИС). Основным источником данных о целях для АНС является РЛС. По этой причине отказ РЛС является критическим и требуется ее резервирование. При построении маневров расхождения с целями АНС использует данные о глубинах с установленных карт. Во время выполнения маневра АНС анализирует данные, получаемые с эхолота. Если глубина уменьшается до опасного уровня, то АНС выводит соответствующий сигнал АПС. Отказ эхолота для АНС не является критическим.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье описаны режимы управления движением автономного/полуавто-

номного судна. Для каждого режима управления перечислены необходимые для его работы навигационные датчики. Проведен анализ критичности отказов навигационных датчиков для всех режимов работы. Определены датчики, неисправность которых приводят к отказу АНС. На основе этих данных рекомендован состав датчиков, которые должны быть зарезервированы. Все представленные данные систематизированы и сведены в табличную форму для каждого режима работы (табл. 1–3). Эти таблицы могут использоваться как справочные данные при определении состава и количества навигационных датчиков для установки на автономные и полуавтономные суда с учетом требуемых режимов работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Корнев А. С., Скряпка А. С., Хабаров С. П. Автономное судовождение на действующих судах // Морской вестник. – 2022. – № 1 (81). – С. 92–95. – EDN MIP1OP.
2. Патент на полезную модель № 202050 U1 (Российская Федерация), МПК В63В 35/00, В63Н 25/00. Базовая платформа для реализации на судах режимов автоматического и дистанционного управления № 2020133877/А. С. Корнев, С. А. Ковалев. Заявл. 14.10.2020; опубл. 28.01.2021. Заявитель АО «Кронштадт Технологии». – EDN AZVNM0.
3. Положения по классификации морских и дистанционно управляемых надводных судов (МАНС)/Российский морской регистр судоходства. – СПб., 2022.
4. Автономное судоходство: РС выдал первое удостоверение соответствия МАНС. – 03.10.2023. – РМРС: [сайт]. – URL: <https://rs-class.org/news/general/avtonomnoe-sudokhodstvo-rs-vydal-pervoe-udostoverenie-sootvetstviya-mans/> /Дата обращения: 17.06.2024 г. Режим доступа: раздел «Новости».
5. ФГУП «Росморпорт» начало эксплуатацию паромов на линии «Морской порт Усть-Луга – морской порт Калининград» в автономном режиме. – 2023. – 19 декабря. – РОСМОРПОРТ: [сайт]. – URL: <https://www.rosmorport.ru/news/company/52268/> /Дата обращения: 17.06.2024 г. – Режим доступа: раздел «Пресс-центр».
6. Корнев А. С., Скряпка А. С., Хабаров С. П. Органы управления движением автономного судна на дистанционном посту управления // Морской вестник. – 2022. – № 2 (82). – С. 75–78. – EDN UPPJRA.
7. Федеральный закон от 10.07.2023 № 294–ФЗ «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».
8. Васильев А. В. Управляемость судов: Учеб. пособие. – Л.: Судостроение, 1989. – 328 с.
9. Патент № 2741669 С1 (Российская Федерация), МПК В63Н 25/04, G05D 1/00, G08G 3/00. Система координированного управления движением судна в режимах автоматического и дистанционного управления: № 2020127639/А. С. Корнев, А. Г. Шпекторов, С. П. Хабаров, В. С. Соловей. Заявл. 18.08.2020; опубл. 28.01.2021 10. Заявитель АО «Кронштадт Технологии». – EDN CAEYGS.
10. Амбросовский В. М., Корнев А. С., Лукомский Ю. А., Шпекторов А. Г. Координированное управление морскими подвижными объектами / Под ред. Ю. А. Лукомского – СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2016. – 128 с.
11. Корнев А. С., Хабаров С. П. Фильтрация волновых возмущений, действующих на объект управления // Информационные системы и технологии: теория и практика: Сб. науч. тр./Отв. редактор М. Р. Вагизов. – СПб.: СПб гос. лесотехн. ун-тет им. С. М. Кирова, 2023. – Вып. 15. – С. 91–97. – EDN RMEWDF.
12. Амбросовский В. М., Хабаров С. П., Корнев А. С. Адаптивный фильтр Калмана к внешним возмущениям // Информационные системы и технологии: теория и практика: Сб. науч. тр./Отв. редактор А. М. Заяц. – СПб.: Изд. СПб гос. лесотехн. ун-тет им. С. М. Кирова, 2015. – Вып. 7. – С. 5–10. – EDN VKJVOJ.
13. Дмитриев С. П., Пелевин А. Е. Задачи навигации и управления при стабилизации судна на траектории. – СПб.: ГИЦ РФЦНИИ «Электроприбор», 2002. – 160 с. ■

Навигационный секстан – это оптический угломерный прибор, предназначенный для измерения высот небесных светил, а также горизонтальных и вертикальных углов между береговыми ориентирами с целью определения географических координат наблюдателя. Конвенции Международной морской организации (ИМО) и Правила Российского морского регистра судоходства обязывают судоводительский состав владеть методами классической морской астрономии.

В течение нескольких столетий принцип измерения величины угла между двумя видимыми объектами и конструкция секстана не менялись. При использовании традиционного секстана необходимо участие двух человек: собственно наблюдателя и его помощника, осуществляющего контроль времени и запись результатов измерений. Кроме того, для преобразования угловых величин в координаты места необходимо произвести ряд вычислений с использованием специальных таблиц, далее нанести на планшет линии положения и только после этого возможно получить координаты места. Специалист тратит на определение координат места корабля (судна) от 10 до 40 минут.

Измерения величины угла между двумя видимыми объектами с помощью секстана СНО-Т осуществляется путем их совмещения в полупрозрачном зеркале. При измерении географических координат места наблюдатель путем вращения алидады и отсчетного барабана «сажает» изображение светила на линию горизонта. Первый наблюдатель фиксирует на секундомере время их касания, а второй считывает значение целого угла с лимба неподвижной рамы секстана и значение минут и секунд с вращающейся шкалы отсчетного барабана. Результаты записываются в журнал. Измерения одного светила проводятся от трех до семи раз. Таким образом, можно констатировать невысокую эффективность процесса изме-

СЕКСТАН СО ВСТРОЕННЫМ АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫМ КОМПЛЕКСОМ «ЗВЕЗДОЧЁТ»

*А.С. Кемеров, технический директор,
А.В. Матвеев, начальник сектора навигации,
А.В. Нестеров, вед. инженер сектора навигации,
Т.Е. Самсонова, вед. инженер сектора навигации,
Д.Н. Мосичкин, инженер-программист,
АО «МНС»,
контакт. тел. +7 (812) 320 3840*

рений вследствие необходимости присутствия двух наблюдателей для фиксации данных.

Широко используемый секстан СНО-Т имеет инструментальную погрешность считывания по шкале барабана $\pm 6''$, которую трудно достигнуть при визуальном считывании положения визира между засечками на шкале барабана с ценой деления $1'$. Кроме этого, традиционный метод измерений обуславливает невозможность передачи измеренных данных на удаленные модули и (или) центры обработки для вычисления местоположения судна.

Секстан, оснащенный аппаратно-программным комплексом, позволяет повысить эффективность работы благодаря возможности выполнения измерений одним наблюдателем, сокращению времени измерений и повышению точности считывания до пределов инструментальной погрешности. Кроме того, обеспечивается автоматическая фиксация измерений и передача их в удаленный вычислитель для автоматизированного получения координат.

Аппаратно-программный комплекс «Звездочёт», разработанный АО «Морские навигационные системы», представляет собой электронно-цифровой модуль (ЭЦМ), устанавливаемый на секстан СНО-Т, и программное обеспечение (ПО), устанавливаемое на персональный компьютер (ПК). Связь ЭЦМ и ПК осуществляется с применением

беспроводной или проводной технологии (по выбору заказчика).

Использование модифицированного секстана предполагает следующую последовательность действий:

- подготовка секстана к работе – заключается в синхронизации внутренних часов ЭЦМ со всемирным координированным временем (UTC);
- проведение измерения – как и в случае с механическим секстаном, наблюдатель совмещая изображение светила с линией горизонта, и в момент касания нажимает кнопку «измерения», расположенную на ручке секстана. В память ЭЦМ записываются порядковый номер измеряемого светила, группа измерений, время с точностью 0,01 с и высота светила, считанная со шкал секстана с точностью $1''$. Запись происходит примерно за 1,5 мс. После этого можно сразу же переходить к следующему измерению;
- переход к следующей группе измерений – выполняется длительным нажатием на ту же кнопку «измерения».

Результаты измерений сохраняются в памяти ЭЦМ до выключения питания и передаются в ПК по команде последнего. Память ЭЦМ рассчитана на хранение до 1000 последовательных измерений.

При наличии измерений в памяти ЭЦМ кнопка питания блокируется



Рис. 1. Секстан со встроенным ЭЦМ «Звездочёт»

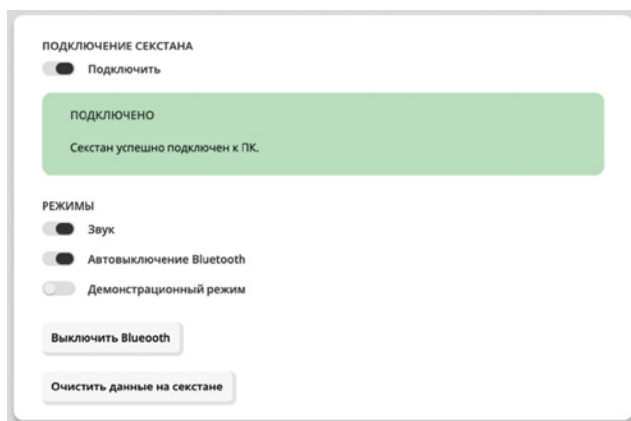


Рис. 2. Фрагмент графического интерфейса ПО (об-
щие настройки)

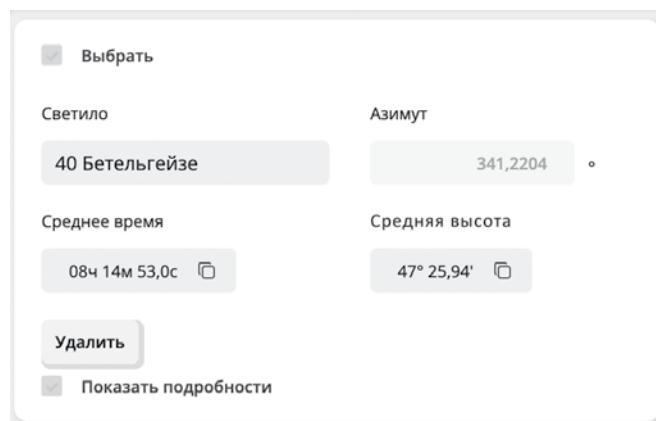


Рис. 4. Фрагмент графического интерфейса ПО (парамет-
ры светил)

до окончания процесса передачи всех данных в ПК, чтобы исключить потерю хранимых данных при ее случайном нажатии (принудительное выключение также предусмотрено). Если все данные переданы в ПК, ЭЦМ можно выключить или долгим нажатием на кнопку питания, или это произойдет автоматически через 30 минут, если с ним не производят никаких действий (и включен соответствующий режим).

Нажатия на кнопки питания и изменения могут сопровождаться звуковой индикацией.

Питание ЭЦМ от аккумулятора – 4,0 В, потребление тока в состоянии покоя – 3 мА, при передаче данных – 24 мА. Аккумулятор размещен в дора-

ботанной ручке секстана СНО-Т. При минимальном дополнительном конструктивном оснащении механического секстана его масса увеличивается не более чем на 100 г. Передняя панель снабжена светодиодной индикацией. Внешний вид секстана, оснащенного ЭЦМ, показан на рис. 1.

Взаимодействие секстана, оснащенного ЭЦМ, с ПК осуществляется с помощью ПО, которое выполняет расчет координат по полученным от секстана данным. Рассмотрим последовательность действий оператора.

1. *Подготовка к измерениям* выполняется подключением секстана (рис. 2, рис. 3); выполняется синхронизация внутренних часов ЭЦМ с UTC.

2. *Обсервация.* Сбор данных для последующей обсервации выполняется посредством чтения набора измерений, из секстана оснащенного ЭЦМ, на ПК. Производится анализ данных. Полученные результаты анализируются оператором и ПО. Значения со значительным отклонением могут быть удалены из выборки.

Также на этом этапе указывается светило, высота которого была измерена (рис. 4). ПО вычисляет азимут на указанное светило и проверяет высоты, которые были получены путем измерения и вычисления. При значительном расхождении значений выводится предупреждение. Также оператор может сохранить измерение (или группу измерений) в истории для дальнейшей работы с ними.

3. *Вычисления.* После ввода всех значений светил оператор может получить местоположение наблюдателя и выполнить обсервацию. Задача может решаться, как по нескольким одновременным наблюдениям светил (по звездам), так и по разновременным (по местоположению Солнца в течение нескольких часов).

Графический интерфейс ПО разработан с учетом пожеланий пользователей (штурманов). В настоящее время секстан, оборудованный аппаратно-программным комплексом, проходит испытания на учебном судне.

Используя секстан с аппаратно-программным комплексом со встроенным ЭЦМ, можно добиться высокой точности измерений географических координат места, что при отсутствии спутниковых и других радионавигационных систем может стать альтернативным источником географических координат на судне или корабле.

ЛИТЕРАТУРА

1. Матусевич Н.Н. Основы мореходной астрономии. – М.: Изд.ГУН и О, 1956.
2. Красавцев Б.И. Мореходная Астрономия. – М.: Транспорт, 1986. ■

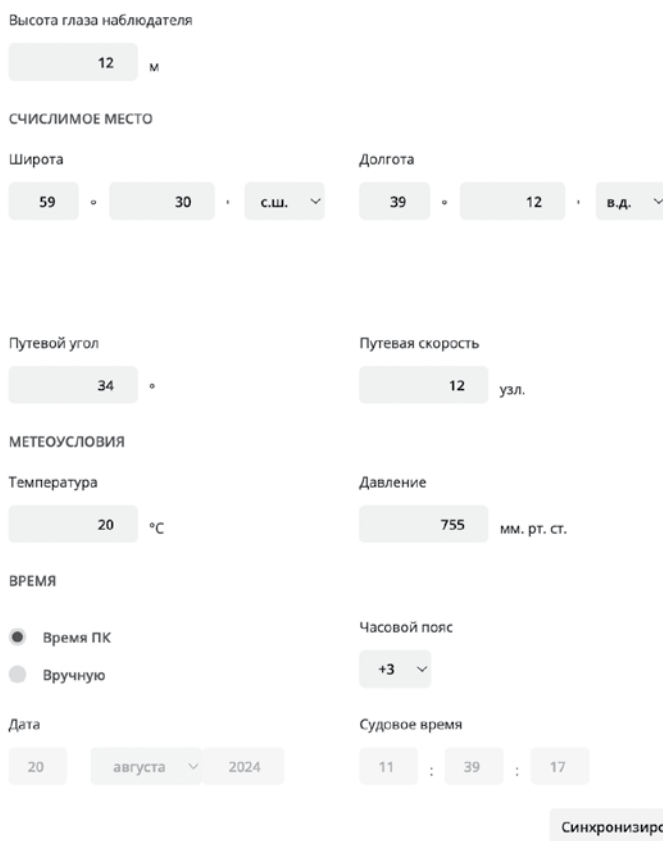


Рис. 3. Фрагмент графического интерфейса ПО (исходные данные и синх-
ронизация)

Под таким названием вышел в свет новый учебник объемом 615 страниц под научной редакцией доктора технических наук профессора М. А. Кутейникова. Авторы – профессора Р. Н. Караев и В. Н. Тряскин.

В учебнике с системных позиций описан непрерывный процесс эволюции этапов промышленного освоения нефтегазовых месторождений континентального шельфа. Представлены основные направления научно-технического прогресса в условиях инновационного развития современных технических средств морской нефтегазовой индустрии.

Рассмотрены классификация морских нефтегазовых платформ и нефтегазопромысловых судов по назначению и в соответствии с организацией движения флота, а также транспортная классификация грузов, перевозимых на судах нефтегазопромыслового флота.

Подробно проанализированы технико-эксплуатационные и архитектурно-конструктивные особенности нефтегазовых сооружений с выявлением спецификационных достоинств, проблемных вопросов, перспективных направлений развития и даны рекомендации по использованию в процессе проектирования, строительства и эксплуатации этих сооружений.

Широко освещено инфраструктурное обеспечение процесса освоения углеводородных месторождений Арктического шельфа. Рассмотрены условия формирования баз обслуживания, структурный состав арктической группы плавсредств, особенности их эксплу-

«ОКЕАНОТЕХНИКА И МОРСКИЕ ОПЕРАЦИИ НА ШЕЛЬФЕ»

Р. Н. Караев, В. Н. Тряскин. «Океанотехника и морские операции на шельфе». – СПб.: Изд-во СПбГМТУ, 2023. – 615 с.



атации и взаимодействия с ледяными полями и необходимость управления ледовой обстановкой.

Особое внимание уделено верхним строениям (ВС) как ключевым сегментам платформ, которые определяют стоимостные показатели, производственно-технические возможности, архитектурную выразительность, рациональность формы и конструктивную целостность морского нефтегазового сооружения.

На основе современных трендов строительно-монтажных работ изложены инновационные способы интегрирования мегаблочных конструкций верхних строений и опорных оснований (весом по 15 000 т и более) в море.

Рассмотрена аварийность нефтяных платформ на различных этапах промышленного освоения углеводородных месторождений. Проанализированы причины аварий и приведены основные требования к безопасному взаимодействию судов обеспечения с нефтяными платформами в процессе проведения морских операций на акватории морских нефтепромыслов.

С учетом специфики эксплуатации морских нефтегазовых сооружений изложены эргономические основы проектирования ВС, экологическая и противопожарная безопасность, а также вопросы сохранения человеческой жизни на акватории морских нефтегазовых провинций.

Учебник предназначен для студентов, аспирантов и преподавателей высших учебных заведений соответствующего профиля, а также для широкого круга научных и инженерных работников судостроительной, нефтяной и газовой промышленности. ■



Этот недавно вышедший в свет труд знакомит с многогранной деятельностью выдающегося флотоводца и организатора строительства ВМФ, видного государственного и военного, общественного деятеля, учено-

«ЭПОХА ГЛАВКОМА С.Г. ГОРШКОВА - ВЗГЛЯД ИЗ XXI ВЕКА»

С.Ю. Иванов, В.Н. Половинкин. «Эпоха главкома С.Г. Горшкова – взгляд из XXI века»/Под общей редакцией адмирала В.В. Чиркова. – СПб.: АИР, 2024. – 668 с.

го, Адмирала флота Советского Союза, дважды Героя Советского Союза Сергея Георгиевича Горшкова, почти три десятилетия возглавлявшего Военно-морской флот нашей страны.

Главным достижением адмирала С. Г. Горшкова стало превращение России в великую морскую державу, с силой и мощью которой были вынуждены считаться все страны мира, в том числе и те, которые в прошлом являлись традиционно морскими державами.

В книге рассматривается конкретный период жизни и деятельности выдающегося флотоводца, Главнокомандующего Военно-морским фло-

том – заместителя министра обороны Советского Союза с 1956 по 1985 г. Анализируется его бесценный опыт применительно к новым геополитическим условиям XXI в., который может служить вдохновляющим ориентиром. Также рассмотрены вопросы морской стратегии и обеспечения национальной безопасности в современных условиях и в перспективе.

Труд может быть интересен читателям, которым дорога судьба, настоящее и будущее отечественного военного флота.

Книга издана при содействии АО «Центральное конструкторское бюро морской техники «Рубин». ■

19 июля в Санкт-Петербурге состоялась 56-я (летняя) Ассамблея Санкт-Петербургского Морского собрания, посвященная Дню ВМФ России, 320-летию со дня основания крепости Кронштадт и 325-летию Андреевского флага.

По традиции Ассамблею открыли солисты Мариинского театра. В исполнении артистов прозвучали арии из опер Ж. Бизе «Кармен» и Д. Россини «Севильский цирюльник», а также морские и флотские песни.

Открыл Ассамблею настоятель Николо-Богоявленского морского собора протоиерей Алексей (Скляров), который сердечно поздравил всех присутствующих с юбилейными датами, особо отметив важность единства и сплоченности россиян.

С докладом о наиболее знакомых этапах деятельности СПбМС в 2024 г. выступил его председатель Сергей Николаевич Ирютин. Он отметил, что в Морском собрании наметилась преемственность поколений: за последние три года членами Собрания стали свыше 60 человек. Это лучшие представители ВМФ, науки, культуры, судостроения и судоремонта, известные и выдающиеся государственные и политические деятели России.

Большое внимание традиционно уделялось работе по военно-патриотическому воспитанию молодежи – кадетов, курсантов, нахимовцев, учащихся школ.

20 февраля Собрание организовало прием воспитанников Клуба юных моряков «Флагман» в своем здании на Английской набережной. На приеме присутствовали дети – участники летних 2023 г. походов по местам боевой славы героев Великой Отечественной войны.

В стенах Собрания состоялись «круглые столы» с участием учеников морских кадетских классов ГБОУ «Морская школа» Московского района Санкт-Петербурга, с которыми Собрание работает на договорной основе: 31 марта – «200 лет военному морю, художнику-маринисту Алексею Петровичу Боголюбову» (готовится к изданию сборник материалов научной конференции «Моряк и художник на службе Отечеству», посвященной юбилею А. П. Боголюбову); 14 апреля – «Первая русская кругосветная экспедиция».

Члены Собрания – частые гости в Кронштадтском морском кадетском военном корпусе: они провожали кадетов для участия в Параде Победы в Москве, принимали участие в церемониях выпуска из корпуса, посвященные в кадеты и др.

56-АЯ АССАМБЛЕЯ САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОГО МОРСКОГО СОБРАНИЯ

*С. Н. Ирютин, канд. воен. наук, доцент, председатель,
В. Н. Торба, историограф, Санкт-Петербургское Морское Собрание,
контакт. тел. (812) 312 7092*



Председатель СПбМС встречает гостей Ассамблеи



Духовник СПбМС, настоятель Николо-Богоявленского морского собора протоиерей Алексей (Скляров) приветствует председателя и членов СПбМС, старшин Собрания



Экскурсия учеников морских кадетских классов ГБОУ «Морская школа» Московского района Санкт-Петербурга в музей Собрания



С докладом выступает С. Н. Ирютин



С. Н. Ирютин вручает награды СПБМС кадетам – отличникам учебы Кронштадтского морского кадетского военного корпуса



Председатель Собрания С. Н. Ирютин вручает экипажу судна «Николай Орлов», названного в честь Председателя СПБМС с 1995 по 2021 гг. Николая Владимировича Орлова, книги для судовой библиотеки и ценные подарки

За время, прошедшее после 55-й (зимней) ассамблеи, состоявшейся 9 февраля 2024 г., произошло много знаковых событий.

12 июля 2024 г. делегация Собрания во главе с председателем С. Н. Ирютиним посетила сухогрузное судно «Николай Орлов», названного в честь председателя СПБМС с 1995 по 2021 г. Николая Владимировича Орлова. Судно было ошвартовано на набережной Лейтенанта Шмидта. Сергей Николаевич вручил экипажу книги для судовой библиотеки и ценные подарки.

Ряд мероприятий состоялись в преддверии и в ходе празднования Дня ВМФ России. 8–9 июня проведена «Историческая гонка «Кубок 100 миль». Члены парусной секции активно участвуют в ней и не раз становились призерами. В этом году на яхте «Афина» в гонке приняли участие члены секции старшина Собрания В. В. Камлюк и действительный член В. Н. Наумов. Для победителей были подготовлены специальные призы на тему памяти адмирала С. О. Макарова, чей 175-летний юбилей отмечается в этом году.

27–28 июля прошла 10-я, юбилейная, регата «Гонки парусных яхт, посвященная также Дню ВМФ России» под руководством старшины Собрания В. В. Камлюка. Главный трофей – Кубок Почетного председателя СПБМС в этом году получил представитель класса яхт ORC – команда «Комильфо» (comme il faut).

В эти же дни в Ярославской области состоялся Фестиваль «Паруса Плещеева озера» с участием действительного члена Собрания А. Г. Гайнутдинова и члена собрания, командора яхт-клуба «Паруса Плещеева озера» Д. В. Козлова. А. Г. Гайнутдинов награжден Знаком отличия «За заслуги перед Донецкой народной республикой» за помощь населению Донбасса. Награда была вручена в Представительстве ДНР в Москве.

С 3 по 10 августа в акватории восточной части Финского залива прошла одна из крупнейших в России и самая протяженная на Северо-Западе регата «Балтийский ветер». В ней приняли участие 40 экипажей и 248 участников из Санкт-Петербурга, Москвы, Тольятти, Самары, Выборга и Приморска. Один из этапов традиционно проводится как гонка на призы Собрания. В этом году экипаж яхты «Славия» под командованием действительного члена Собрания, председателя парусной секции при СПБМС В. И. Мироненко стал победителем в своем дивизионе яхт класса ORC1. СПБМС является одним из организаторов этого мероприятия.

В 2024 г. Собрание заключило договор и начало работать с Государственным историко-архитектурным и природным музеем-заповедником «Изборск». Ко Дню России в музее-заповеднике открыта выставка «В сиянии Андреевского флага». Только за первый месяц ее работы экспонаты осмотрели более 1500 туристов из многих регионов страны. А в День России в музее-заповеднике в рамках XX Псковской парусной регаты проведен «круглый стол», посвященный 320-летию победы войск Петра I при Омовже и 320-летию основания крепости Кронштадт.

Накануне Дня работников морского и речного флота прошли мероприятия, посвященные 30-летию Администрации портов Балтийского моря. Председатель Собрания С. Н. Ирютин вручил награды лучшим работникам.

Флагманским кораблем Главного Военно-морского Парада России в Санкт-Петербурге 28 июля был головной патрульный корабль ледового класса «Иван Папанин» под командованием члена Собрания капитана 2 ранга Кирилла Ткаченко. По приглашению командира корабля С. Н. Ирютин посетил корабль, стоящий в парадном строю. Экипажу корабля переданы книги для укомплектования корабельной библиотеки. Лучшим военнослужащим вручены награды Собрания.

Накануне Дня ВМФ набор книг для корабельной библиотеки передан экипажу большого противолодочного корабля «Североморск».

В августе 2024 г. в рамках выполнения Указа Президента РФ от 8 мая 2024 г. № 314 «Об утверждении Основ государственной политики Российской Федерации в области исторического просвещения» СПбМС организовало экспедицию на яхте «Морской ангел» под командованием капитана яхты, члена Собрания А. А. Овсянникова. Маршрут экспедиции: Санкт-Петербург–Соловецкие острова–Санкт-Петербург. В ходе экспедиции состоялось возложение венков к Памятнику соловецким юнгам на Соловецких островах и к Мемориалу Великой Отечественной войны в г. Кемь.

В завершении С. Н. Ирютин пожелал всем присутствующим крепкого здоровья, счастья, активной плодотворной работы во славу Родины и Флота, веры в их достойное будущее. Далее состоялось награждение орденами, медалями и знаками СПбМС в соответствии с приказом председателя от 27 июля 2024 г. № 6:



«Круглый стол», посвященный к 320-летию победы войск Петра I при Омовже и 320-летию основания крепости Кронштадт в Государственном историко-архитектурном и природном музее-заповеднике «Изборск»



С.Н. Ирютин на борту флагманского корабля Главного Военно-морского парада России в Санкт-Петербурге 28 июля патрульного корабля ледового класса «Иван Папанин» с командиром корабля, членом Собрания капитаном 2 ранга Кириллом Ткаченко



Возложение венка к Памятнику соловецким юнгам на Соловецких островах от Санкт-Петербургского Морского собрания

- орденом «За заслуги» А. Л. Кашина, старшины СПбМС;
- орденом «За заслуги» 1-й степени А. В. Кременчугского, действительного члена СПбМС;
- орденом «За заслуги» А. Н. Груненьшев, действительного члена СПбМС; Г. В. Варанаускаса, действительного члена СПбМС; А. Б. Давыдова, действительного члена СПбМС;
- орденом «За заслуги в морской деятельности» 1-й степени С. Н. Савина, действительного члена СПбМС, С. Г. Фокина, члена СПбМС;
- орденом «За заслуги в морской деятельности» 2-й степени М. Б. Рыбина, старшины СПбМС, С. А. Куликова, старшины СПбМС;
- орденом «За трудовую доблесть» 1-й степени Р. Ш. Нехая, действительного члена СПбМС; В. А. Скального, действительного члена СПбМС; А. Б. Волкова, действительного члена СПбМС;
- орденом «За трудовую доблесть» 2-й степени Г. Н. Муру, члена СПбМС; М. Ю. Сенаторова, действительного члена СПбМС; И. В. Макеева, члена СПбМС;
- медалью имени Петра I А. В. Елисеева, действительного члена СПбМС.
- медалью Крылова М. В. Малюшина, действительного члена;
- медалью имени адмирала Нахимова И. А. Василенко, действительного члена СПбМС; В. Е. Попова, члена СПбМС;
- медалью Адмирала флота Советского Союза Кузнецова А. В. Кораблева, действительного члена СПбМС;
- медалями «В память 250-летия Чесменской битвы» и «В память 300-летия Гангутской битвы» вновь принятых в 2024 г. членов СПбМС, а также солистки Мариинского театра О. О. Пудовой и концертмейстера Е. В. Булановой (медалью «В память 250-летия Чесменской битвы»);
- ценным подарком Б. В. Фреймана, действительного члена СПбМС, кортиком морским СПбМС «Ко-2» «Честь. Флот. Отечество»;
- знаком «Лидер отрасли» Г. А. Фокина, старшины МС (серебро) С. С. Пустынникова, действительных членов СПбМС (бронза). ■



Награждение орденом старшины СПбМС А. Л. Кашина



Награждение орденом «За трудовую доблесть» 1-й степени действительного члена СПбМС Р. Ш. Нехая



Награждение серебряным знаком «Лидер отрасли» старшины СПбМС Г. А. Фокина

1. Автор представляет статью в электронном виде объемом до 20 000 знаков, включая рисунки. Текст набирается в редакторе MS Word под Windows, формулы – в формульном редакторе MathType. Иллюстрации, помещенные в статье, должны быть представлены дополнительно в форматах: TIFF CMYK (полноцветные), TIFF GRAYSCALE (полутонные), TIFF BITMAP (штриховые), EPS, JPEG, с разрешением 300 dpi для полутонных, 600 dpi для штриховых и в размерах, желательных для размещения.

2. Статья должна содержать реферат объемом до 300 знаков, ключевые слова и библиографо-библиотечный индекс УДК. Автор указывает ученую степень, ученое звание, место работы, должность и контактный телефон, а также дает в письменной форме разрешение редакции журнала на размещение статьи в Интернете и Научной электронной библиотеке после

публикации в журнале. Статья представляется с рецензией.

3. Статьи соискателей и аспирантов принимаются к публикации на бесплатной и безгонорарной основе.

4. Контрольное рецензирование этих статей осуществляет редакционная коллегия с привлечением при необходимости профильных специалистов. Рецензии на статьи хранятся в редакции журнала в течение 5 лет.

5. В случае отказа в публикации автору высылается рецензия. Копии рецензий направляются в Минобрнауки России при поступлении соответствующего запроса в редакцию журнала.

6. Содержание журнала ежеквартально представляется на рассмотрение редакционному совету. Решение о выпуске очередного номера оформляется протоколом.

РЕФЕРАТЫ

УДК 621.039+629.5 **Ключевые слова:** ЦМКБ «Алмаз», проектирование, катер, корабль, тральщик, многопрофильность, информационные технологии

К. Г. Голубев. Многогранность мысли – совершенство технологий. ЦМКБ «Алмаз» – 75 лет//Морской вестник. 2024. № 3 (91). С. 6

Статья посвящена итогам 75-летней работы АО «ЦМКБ «Алмаз». По проектам бюро в СССР и затем в России построено более 26 тысяч кораблей и катеров самого разного назначения – ударных, патрульных, десантных, специальных – малого и среднего водоизмещения. Многие из разработанных проектов кораблей и судов – первые в мире и опередившие свое время. Ил. 19.

УДК 629.5.02 **Ключевые слова:** северный завод, Северный морской путь, плавучий автономный комплекс, судно снабжения, судно обеспечения, модульная компоновка

С. Ю. Афанасьева, А. В. Кошелев, С. М. Тимофеев, В. В. Чугунов. Универсальное судно снабжения нового поколения//Морской вестник. 2024. № 3 (91). С. 11

Рассмотрены проблемы, связанные с обеспечением северного завода с помощью морского транспорта. Представлен проект судна, оптимальным образом подходящего для решения указанных проблем. Приведено обоснование выбора характеристик и особенностей разрабатываемого судна, дана оценка модели использования. Т. 2. Ил. 4.

УДК 620+691 **Ключевые слова:** эргономика, техническая эстетика, проектирование, жилые и служебные помещения, перспективные надводные корабли и суда, сложные технические системы

П. А. Зубков. Инновационный взгляд компании ООО «Морские комплексные системы» на эргономическое обеспечение проектирования жилых и служебных помещений перспективных кораблей и судов//Морской вестник. 2024. № 3 (91). С. 15

Статья написана на важную и актуальную для ВМФ тему, в которой акцентируется внимание на эргономике и технической эстетике жилых и служебных помещений, которым ранее не уделялось должного внимания при проектировании современных надводных кораблей. Ил. 6. Библиогр. 4 назв.

УДК 629.58 **Ключевые слова:** буксируемая антенна, АНПА, метод конечных элементов

А. В. Юрканский, И. И. Ремизов, Е. В. Корнилова. Определение изгиба буксируемых антенн, выпущенных из подводных аппаратов//Морской вестник. 2024. № 3 (91). С. 18

Рассмотрены основные параметры, влияющие на изгиб буксируемой антенны вблизи кормовой оконечности подводных аппаратов. Приведена последовательность расчета изгиба буксируемой антенны. Получены характерные зависимости изгиба буксируемой антенны при варьировании ее жесткостных характеристик, угла кормового конуса и скорости хода подводного аппарата. Предложены критерии для оценки возможности попадания антенны в диск гребного винта. Т. 1. Ил. 12. Библиогр. 7 назв.

УДК 629.5.06:621.431.74 **Ключевые слова:** судовая пропульсивная установка, дизель, осо-

бенности конструкции, тенденции, перспективы

В. К. Румб. Мировые тенденции развития судового дизелестроения//Морской вестник. 2024. № 3 (91). С. 27

Отмечены проблемы отечественного судового дизелестроения. Сформулированы требования к вновь создаваемым главным судовым дизелям. Приведены технико-экономические показатели дизелей зарубежных производителей. Составлен собирательный образ конструкции современного судового дизеля. Указаны перспективные пути развития судовых установок с дизелями. Библиогр. 3 назв.

УДК 621.512.3 **Ключевые слова:** диагностика, поршневой компрессор, системы управления, анализ, робастный метод

А. В. Бураков, Р. Р. Хотский, П. Ю. Зуев, А. И. Абрамов. Разработка систем управления, обеспечивающих диагностику с применением робастного метода для перспективных судовых поршневых компрессоров//Морской вестник. 2024. № 3 (91). С. 33

Изложен опыт предприятия в области создания систем автоматического управления для компрессорного оборудования, проанализированы различные способы автоматизации и диагностики компрессоров для применения в судовых компрессорных установках. С учетом специфики работы поршневого компрессора предложены способы диагностики с применением робастного метода, проанализирован богатый опыт применения испытания компрессоров. Ил. 7. Библиогр. 14 назв.

УДК 621.785 **Ключевые слова:** режимы термической обработка, примеси, микроструктура, фазовый состав, высокотемпературный отжиг

С. А. Поляков, Д. В. Федосеев, А. А. Шатульский. Влияние различных режимов термической обработки и количественного содержания примесей на микроструктуру и механические свойства СЛС-сплава КХ28М6//Морской вестник. 2024. № 3 (91). С. 38

Изучено влияние различных режимов термической обработки (высокотемпературный отжиг, изотермическое старение, увеличенные скорости охлаждения) и количественного содержания примесей (азот, углерод) на конечные микроструктуру и механические свойства СЛС-сплава КХ28М6. Предложены режимы термической обработки, позволяющие достичь оптимальных пластичности и прочности. Т. 6. Ил. 5. Библиогр. 12 назв.

УДК 621.3.048.004.58 **Ключевые слова:** гребная электрическая установка, Azipod, поиск неисправностей

В. В. Романовский, А. А. Бежик, А. Л. Богословский. Анализ технических неисправностей гребной электрической установки типа AZIPOD//Морской вестник. 2024. № 3 (91). С. 44

Гребная электрическая установка типа Azipod – подходящее решение для судов ледового класса, отвечает ряду критериев, необходимых для безопасного мореплавания. Рассмотрены способы поддержания рабочего состояния узла контактных колец, поиска масляных протечек в гондоле. Представлен случай неправильного применения тормозного механизма с возможными последствиями. Описаны способы оценки технического состояния гребного электрического двигателя, защиты вала от паразитных напряжений и токов, способных ускорить разрушение подшипников. Т. 1. Ил. 28. Библиогр. 7 назв.

УДК 621.355 **Ключевые слова:** диоксид углерода, физическая абсорбция, заборное давление, температура воды, продуктовый газ, массообменный аппарат, проскальзывание, пузырьковый поток

А. В. Балакин, А. Н. Дядик, Д. С. Маловик. Исследование влияния внешней среды на параметры системы удаления диоксида углерода//Морской вестник. 2024. № 3 (91). С. 52

Условия работы судовых воздухозависимых энергоустановок, в ходе которой удаляется углекислый газ, могут существенно различаться, что будет оказывать влияние на параметры энергоустановки в целом. Выполнено расчетное исследование влияния параметров заборной воды на процессы, протекающие при физической абсорбции углекислого газа. Т. 3. Ил. 3. Библиогр. 8 назв.

УДК 621.165:621.438 **Ключевые слова:** бинарный цикл, газотурбинная установка, паротурбинная установка, котел-утилизатор, судно, мощность, аналитическое выражение, парогазовая установка, судовая энергетическая установка, электростанция

Э. В. Балашова, В. В. Толмачев. Аналитическое выражение соотношения мощностей газотурбинной и паротурбинной установок, работающих в составе бинарной парогазовой установки//Морской вестник. 2024. № 3 (91). С. 56

Приведены термодинамические выкладки для разработки универсального аналитического выражения соотношения мощностей газовой (ГТУ) и паровой (ПТУ), работающих в составе тепловой схемы бинарной парогазовой установки (ПГУ). На основе разработанного аналитического соотношения мощностей ГТУ и ПТУ приведены результаты расчетных исследований этого показателя для типовых схем ПГУ. Т. 1. Ил. 1. Библиогр. 2 назв.

УДК 62–567.142 **Ключевые слова:** газостатический амортизатор, металлопневматический амортизатор (МПА), акустическая эффективность, виброизоляция, механические сопротивления, динамическая жесткость, когерентность, свободные колебания, номинальная нагрузка

А. Н. Андрюнин, Н. В. Андрюнин, А. С. Кухтик, В. Н. Половинкин. Анализ разработки и исследования характеристик металлопневматических амортизаторов для энергетического оборудования кораблей ВМФ//Морской вестник. 2024. № 3 (91). С. 58

Показан результат анализа состояния разработки и исследования характеристик МПА, выполненных в виде сварного сильфона с днищем и соединенных с демпферной камерой через демпферный узел, для энергетического оборудования кораблей ВМФ. Разработаны рабочие чертежи и созданы опытные образцы МПА. Исследован анализ состояния, проведены измерения и оценка акустических характеристик МПА для обеспечения рациональной акустической эффективности. Ил. 4. Библиогр. 27 назв.

УДК 681.518.5, 004.896, 621.824 **Ключевые слова:** диагностическая аппаратура, бортовой микроконтроллер, робототехническое устройство, встраиваемое программное обеспечение

А. Е. Васильев, А. В. Вегнер, Д. Е. Голубева, В. А. Карпенко, В. Д. Ковалев. Робототехнический комплекс

средств диагностики внутренней поверхности судовых валопроводов//Морской вестник. 2024. № 3 (91). С. 62

Рассмотрен вариант реализации робототехнического устройства со встраиваемыми микроконтроллерными средствами управления для осуществления диагностических процедур на внутренних поверхностях судовых валопроводов. Описаны особенности конструкции этого устройства, а также организация его аппаратного и программного обеспечения. Ил. 6. Библиогр. 5 назв.

УДК 004.891.3, 519.876.5 **Ключевые слова:** экспертная система, интеллектуальная система, компьютерная модель, дизель-генератор, судовое энергетическое оборудование

В.А. Одинаев, И.И. Шигапов, В.Д. Долгов, К.Г. Саськов. Применение переносных диагностических комплексов для объективной оценки технического состояния судового энергетического оборудования//Морской вестник. 2024. № 3 (91). С. 66

Описан переносной диагностический комплекс (ПДК) определения технического состояния (ТС) судового энергетического оборудования. Рассмотрена методика оценки ТС дизель-генератора (ДГ) и на ее основе и прогнозов по его изменению сформулированы рекомендации по эксплуатации, проведению технического обслуживания и ремонту. Т. 2. Ил. 5. Библиогр. 16 назв.

УДК 629.5.06 **Ключевые слова:** обратный осмос, опреснительные мембраны, селективность, проницаемость, аксиально-плунжерный насос, химическая очистка, индекс SDI, антискалант, морская вода

А.Г. Мальцев, А.Л. Смирнов, Е.В. Русанова. Модернизация серийной установки опреснения воды ПРО-5 в целях замены импортных комплектующих изделий//Морской вестник. 2024. № 3 (91). С. 75

С введением санкций в отношении поставок оборудования, производимого странами Западной Европы, потребовалась его замена на узлы и комплектующие российского производства. В статье рассмотрен пример замены импортных изделий на отечественные. Ил. 4. Библиогр. 9 назв.

УДК 621.396.67, 004.942 **Ключевые слова:** передающая фазированная антенная решетка, КВ диапазон, объект связи, потенциал, радиолиния

С.В. Русин, В.Д. Пашкевич, В.А. Казначеев, Я.А. Демидов, А.М. Шанин. Модульная передающая фазированная антенная решетка//Морской вестник. 2024 № 3 (91). С. 79

Описана передающая фазированная антенная решетка (ФАР) КВ диапазона, разработанная АО «НТИ «Радиосвязь». Модульная ФАР является базовым элементом автоматизированного передающего подвижного или стационарного объекта связи. ФАР предназначена для радиосвязи, в том числе с подвижными объектами. Основные аппаратно-технические средства комплексирования и программное обеспечение являются собственными разработками. Ил. 4. Библиогр. 15 назв.

УДК 621.396 **Ключевые слова:** канал связи, коротковолновый диапазон, ионосферный канал, программный имитатор, модель Ваттерсона

Е.В. Галузов, И.В. Галуц, К.В. Гольдибаев, Е.И. Глушанков, Е.А. Рылов, А.В. Сорокин. Разработка программного имитатора ионосферного канала связи на основе модели Ваттерсона//Морской вестник. 2024. № 3 (91). С. 83

Рассмотрены особенности распространения сигнала в ионосферном коротковолновом канале связи. При проектировании систем связи для исследования характеристик канала, синтеза и анализа алгоритмов преобразования и первичной обработки сигналов важное значение имеют программные имитаторы непрерывных каналов связи, с использованием которых проводится апробация алгоритмов без натуральных испытаний. Т. 1. Ил. 11. Библиогр. 10 назв.

УДК 629.5.07 **Ключевые слова:** ледокол, плавучий атомный энергоблок, атомный флот, атомное судостроение, Арктика, история

В.Е. Мартышенков, Е.А. Кудрявцев. К 65-й годовщине атомного ледокольного флота России//Морской вестник. 2024. № 3 (91). С. 88

Представлена история становления и обновления атомного ледокольного флота России, от первого атомного ледокола «Арктика» до постройки современных ледоколов пр. 22220 и единственных в мире плавучих атомных энергоблоков. Отражен объем разрабатываемого и сданного в эксплуатацию концерном «НПО «Аврора» оборудования. Ил. 9. Библиогр. 3 назв.

УДК 621.391 **Ключевые слова:** радиообмен, радиосредство, радиолиния, протокол обмена, взаимодействие, система связи, установление связи

А.С. Батурин, Б.П. Верба, Р.А. Тратканов. Пути организации взаимодействия радиосредств различных систем связи//Морской вестник. 2024. № 3 (91). С. 91

Рассматриваются проблемы взаимодействия радиосредств различных систем связи, а также типы служебной информации, необходимой для организации возможных протоколов взаимодействия радиосредств, находящихся в распоряжении различных структур. Также проанализированы варианты хранения и передачи служебных параметров. Предложен специальный протокол межвидового взаимодействия, предполагающий автоматическое установление связи. Для полноценной организации межвидового взаимодействия определены несколько структур информационных кадров: «запрос», «аутентификация», «готовность к радиообмену», «радиообмен», «отбой». Оценены ситуации, когда средство связи, с которым необходимо установить связь прослушивает дежурную частоту нерегулярно, предложены варианты. Т. 6. Ил. 3. Библиогр. 10 назв.

УДК 621.396 **Ключевые слова:** диапазон промежуточных волн, морская радиосвязь, демодулятор сигналов BPSK, помехоустойчивость приема, кодирование сообщений кодом ITA2

А.А. Погорелов, А.В. Селезнёв, С.С. Дворников, К.Е. Копысова, А.Ю. Федосов, С.В. Дворников. Повышение достоверности приема сигналов морской радиосвязи ПВ/КВ диапазона за счет уточнения порога принятия решения в демодуляторе//Морской вестник. 2024. № 3 (91). С. 95

Представлены результаты разработки демодулятора сигналов BPSK, кодированных кодом ITA2. Обоснован подход к повышению помехоустойчивости приема за счет учета вероятности проявления нулей и единиц в обрабатываемой последовательности. Показан выигрыш в помехоустойчивости, позволяющий снизить до 30% ошибок в канале после реализации разработанного технического решения. Сформулированы выводы и определены перспективы дальнейшего развития средств морской радиосвязи диапазона промежуточных волн нового поколения. Т. 2. Ил. 5. Библиогр. 28 назв.

УДК 004.032.26 **Ключевые слова:** машинное обучение, встраиваемые системы, искусственный интеллект, операционные системы реального времени, «Нейтрино», синтактика, интерференционная модель

Н.А. Бабич, А.М. Чуманов. Встраиваемая платформа искусственного интеллекта для выявления аномалий в работе систем//Морской вестник. 2024. № 3 (91). С. 99

В настоящее время технологии машинного обучения проникают во множество сфер, в том числе и в промышленность. Однако специфика некоторых технических процессов зачастую ставит ограничения на использование этих технологий. Примером может послужить применение машинного обучения для анализа активности в некоторой информационной системе на объектах критической инфраструктуры. Ил. 3. Библиогр. 5 назв.

УДК 681.5.001.1 **Ключевые слова:** тренажер, система, управление, технология, оператор, обуче-

ние, обучающийся, искусственный интеллект, концепция, компьютер, сервер, этап, программное обеспечение, тест, клиент-серверная архитектура, операционная система, структура, сеть

В.В. Кобзев, В.В. Меледин. Направления развития тренажеростроения в АО «Концерн НПО «Аврора»//Морской вестник. 2024. № 3 (91). С. 103

Рассмотрены и проанализированы основные направления развития тренажеростроения и программных средств подготовки специалистов управления корабельными техническими средствами. Новая стратегия разработки технических средств обучения (ТСО) заключается в их интеллектуализации на основе методов и средств искусственного интеллекта, расширении номенклатуры ТСО в интересах широкого круга заказчиков, использовании комплектующих изделий собственной разработки, повышении педагогической эффективности учебных средств. Изложена концепция создания ТСО. Ил. 6. Библиогр. 19 назв.

УДК 004.624 **Ключевые слова:** алгоритм, информационная система, атрибут, идентификатор, информационный обмен

С.А. Гейко. Алгоритмическое и информационное обеспечение центра управления нормативно-справочной информацией, используемой при проектировании//Морской вестник. 2024. № 3 (91). С. 109

Предлагается решение проблемы информационного и алгоритмического обеспечения центра по управлению нормативно-справочной информацией (информацией о применяемых изделиях и материалах), применяемой при проектировании сложных наукоемких изделий в рамках кооперации. Т. 1. Ил. 2. Библиогр. 6 назв.

УДК 614.843 **Ключевые слова:** корабельная система пожарной сигнализации, предпочтительная ситуация, противопожарная защита

В.Н. Грачев, Ю.В. Беляев, Н.С. Давыдов. Корабельный аппаратно-программный комплекс мониторинга предожарных ситуаций, выработки прогноза развития пожара и рекомендаций в сложившейся обстановке//Морской вестник. 2024. № 3 (91). С. 111

Рассмотрен аппаратно-программный комплекс, который определяет предпочтительную ситуацию на основе обработки данных от средств контроля среды и различных корабельных систем. Ил. 3. Библиогр. 3 назв.

УДК 656.61 **Ключевые слова:** безопасность плавания, а-Навигация, электронная картографическая навигационная информационная система, автономная навигационная система, навигационные задачи, система координированного управления, автономный навигационный комплекс

А.С. Корнев, А.С. Скрыпка, С.П. Хабаров. Навигационные системы автономного судна: режимы работы и требования к навигационным приборам//Морской вестник. 2024. № 3 (91). С. 115

Описаны режимы работы автономной навигационной системы (АНС) и системы координированного управления движением (СКУ), которые в составе автономного навигационного комплекса (АНК) осуществляют управление движением судна во всем диапазоне скоростей хода. Для каждого режима работы АНС и СКУ приведен минимально необходимый состав навигационных датчиков и статус критичности в случае их отказа. Т. 3. Ил. 4. Библиогр. 13 назв.

УДК 527.621 **Ключевые слова:** электронный навигационный секстан, обсервация, «Звездочёт», аппаратно-программный комплекс

А.С. Кемеров, А.В. Матвеев, А.В. Нестеров, Т.Е. Самсонова, Д.Н. Мосичкин. Секстан со встроенным аппаратно-программным комплексом «Звездочёт»//Морской вестник. 2024. № 3 (91). С. 119

Приводится описание разработанного АО «Морские навигационные системы» нового облика навигационного секстана «Звездочёт» со встроенным аппаратно-программным комплексом. Ил. 4. Библиогр. 2 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 621.039+629.5 **Keywords:** Almaz Central Marine Design Bureau, design, boat, ship, minesweeper, versatility, information technology

K.G. Golubev. Versatility of thought – perfection of technology. Almaz Central Marine Design Bureau – 75 years//Morskoy Vestnik. 2024. No. 3 (91). P. 6

The article is devoted to the results of 75 years of work of JSC Almaz CMDB. According to the designs of the bureau, more than 26 thousand ships and boats of various purposes – attack, patrol, landing, special – of small and medium displacement were built in the USSR and then in Russia. Many of the developed designs of ships and vessels are the first in the world and ahead of their time. Fig. 19.

UDC 629.5.02 **Keywords** northern delivery, Northern Sea Route, floating autonomous complex, supply vessel, support vessel, modular layout

S. Yu. Afanas'yeva, A. V. Koshelev, S. M. Timofeev, V.V. Chugunov. Universal supply vessel of the new generation//Morskoy Vestnik. 2024. No. 3 (91). P. 11

The problems associated with ensuring the northern delivery using sea transport are considered. A design of a vessel that is optimally suited to solving these problems is presented. A rationale for the choice of characteristics and features of the vessel being developed is given, and an assessment of the use model is given. T. 2. Fig. 4.

UDC 620+691 **Keywords** ergonomics, technical aesthetics, design, residential and service spaces, advanced surface ships and vessels, complex technical systems

P.A. Zubkov. Innovative view of the company Marine Complex Systems LLC on ergonomic support for designing residential and service spaces of advanced ships and vessels//Morskoy Vestnik. 2024. No. 3 (91). P. 15

The article is written on an important and relevant topic for the Navy, focusing on the ergonomics and technical aesthetics of residential and service spaces, which have not previously been given due attention in the design of modern surface ships. Fig. 6. Bibliography 4 titles.

UDC 629.58 **Keywords:** towed antenna, AUV, finite element method

A. V. Yurkansky, I. I. Remizov, E. V. Kornilova. Determination of the bending of towed antennas released from underwater vehicles//Morskoy Vestnik. 2024. No. 3 (91). P. 18

The main parameters influencing the bending of a towed antenna near the stern end of underwater vehicles are considered. The sequence of calculating the bending of a towed antenna is given. Characteristic dependencies of the bending of a towed antenna with varying its rigidity characteristics, the angle of the stern cone and the speed of the underwater vehicle are obtained. A criterion is proposed for assessing the possibility of the antenna hitting the propeller disk. T. 1. Fig. 12. Bibliography 7 titles.

UDC 629.5.06:621.431.74 **Keywords:** marine

propulsion plant, diesel, design features, trends, prospects

V.K. Rumb. World trends in the development of marine diesel engineering//Morskoy Vestnik. 2024. No. 3 (91). P. 27

The problems of domestic marine diesel engineering are noted. The requirements for newly created main marine diesel engines are formulated. The technical and economic indicators of diesel engines of foreign manufacturers are given. A collective image of the design of a modern marine diesel engine is compiled. Promising ways of developing marine installations with diesel engines are indicated. Bibliography 3 titles.

UDC 621.512.3 **Keywords** diagnostics, piston compressor, control systems, analysis, robust method

A.V. Burakov, R.R. Khotskiy, P.Yu. Zuev, A.I. Abramov. Development of control systems providing diagnostics using a robust method for promising marine piston compressors//Morskoy Vestnik. 2024. No. 3 (91). P. 33

The article presents the company's experience in the field of creating automatic control systems for compressor equipment, analyzes various methods of automation and diagnostics of compressors for use in marine compressor units. Taking into account the specifics of the piston compressor operation, diagnostic methods using a robust method are proposed, and the rich experience of compressor testing is analyzed. Fig. 7. Bibliography 14 titles.

UDC 621.785 **Keywords:** heat treatment modes, impurities, microstructure, phase composition, high-temperature annealing

S.A. Polyakov, D.V. Fedoseyev, A.A. Shatul'sky. Effect of various heat treatment modes and quantitative impurity content on the microstructure and mechanical properties of the SLS alloy KH28M6//Morskoy Vestnik. 2024. No. 3 (91). P. 38

The effect of various heat treatment modes (high-temperature annealing, isothermal aging, increased cooling rates) and quantitative content of impurities (nitrogen, carbon) on the final microstructure and mechanical properties of the KH28M6 SLS alloy was studied. Heat treatment modes that allow achieving optimal ductility and strength are proposed. T. 6. Fig. 5. Bibliography 12 titles.

UDC 621.3.048.004.58 **Keywords:** propulsion electric plant, Azipod, troubleshooting

V.V. Romanovsky, A.A. Bezhik, A.L. Bogoslovsky. Analysis of technical malfunctions of the electric propeller installation of the AZIPOD type//Morskoy Vestnik. 2024. No. 3 (91). P. 44

Azipod type propulsion electric plant is a suitable solution for ice-class vessels, meets a number of criteria necessary for safe navigation. Methods for maintaining the working condition of the slip ring unit, searching for oilleakages in the nacelle are considered. A case of improper use of the brake mechanism with possible consequences is presented. Methods for assessing the technical condition of the propulsion electric motor, protecting the shaft from parasitic voltages and currents that can accelerate the destruction of bearings are described. T. 1. Fig. 28. Bibliography 7 titles.

UDC 621.355 **Keywords:** carbon dioxide, physical absorption, outside pressure, water temperature, product gas, mass transfer apparatus, slippage, bubble flow

A.V. Balakin, A.N. Dyadik, D.S. Malovik. Study of the influence of the external environment on the parameters of the carbon dioxide removal system//Morskoy Vestnik. 2024. No. 3 (91). P. 52

The operating conditions of marine air-independent power plants, during which carbon dioxide is removed, may vary significantly, which will affect the parameters of the power plant as a whole. A computational study of the influence of outside water parameters on the processes occurring during the physical absorption of carbon dioxide has been carried out. T. 3. Fig. 3. Bibliography 8 titles.

UDC 621.165:621.438 **Keywords:** binary cycle, gas turbine plant, steam turbine plant, waste heat boiler, ship, power, analytical expression, combined-cycle plant, marine power plant, power plant

E.V. Balashova, V.V. Tolmachev. Analytical expression of the ratio of the capacities of gas turbine and steam turbine plants operating as part of a binary combined-cycle plant//Morskoy Vestnik. 2024. No. 3 (91). P. 56

Thermodynamic calculations are given for the development of a universal analytical expression for the ratio of the capacities of gas (GTU) and steam (STU), operating as part of the thermal scheme of a binary combined-cycle plant (CCP). Based on the developed analytical ratio of the capacities of GTU and STU, the results of calculation studies of this indicator for typical CCP schemes are presented. T. 1. Fig. 1. Bibliography 2 titles.

UDC 62–567.142 **Keywords:** gas-static shock absorber, metal-pneumatic shock absorber (MPA), acoustic efficiency, vibration isolation, mechanical resistances, dynamic stiffness, coherence, free vibrations, nominal load

A. N. Andryunin, N. V. Andryunin, A. S. Kukhtik, V. N. Polovinkin. Analysis of the development and study of the characteristics of metal-pneumatic shock absorbers for power equipment of naval ships//Morskoy Vestnik. 2024. No. 3 (91). P. 58

The article shows the result of the analysis of the state of development and study of the characteristics of MPA, made in the form of a welded bellows with a bottom and connected to the damper chamber through a damper unit, for power equipment of naval ships. Working drawings have been developed and prototypes of MPA have been created. The analysis of the condition, measurements and assessment of the acoustic characteristics of the MPA were studied to ensure rational acoustic efficiency. Fig. 4. Bibliography 27 titles.

UDC 681.518.5, 004.896, 621.824 **Keywords:** diagnostic equipment, on-board microcontroller, robotic device, embedded software

A.E. Vasil'ev, A.V. Wegner, D.E. Golubeva, V.A. Karpenko, V.D. Kovalev. Robotic complex of diagnostic tools for the inner surface of ship shafting systems//Morskoy Vestnik. 2024. No. 3 (91). P. 62

A variant of the implementation of a robotic device with embedded microcontroller control tools for performing diagnostic procedures on the inner surfaces of ship shafting systems is considered. The design features of this device, as well as the organization of its hardware and software, are described. Fig. 6. Bibliography 5 titles.

UDC 004.891.3, 519.876.5 **Keywords:** diagnostics, expert system, intelligent system, computer model, diesel generator, marine power equipment

V.A. Odinaev, I.I. Shigapov, V.D. Dolgov, K.G. Saskov. Application of portable diagnostic complexes for objective assessment of the technical condition of marine power equipment//Morskoy Vestnik. 2024. No. 3 (91). P. 66

A portable diagnostic complex (PDC) for determining the technical condition (TC) of marine power equipment is described. A methodology for assessing the TC of a diesel generator (DG) is considered and, based on it, and forecasts for its change, recommendations for operation, maintenance and repair are formulated. T. 2. Fig. 5. Bibliography 16 titles.

UDC 629.5.06 **Keywords:** reverse osmosis, desalination membranes, selectivity, permeability, axial plunger pump, chemical treatment, SDI index, antiscalant, sea water

A.G. Mal'tsev, A.L. Smirnov, E.V. Rusanova. Modernization of the serial water desalination plant PRO-5 in order to replace imported components//Morskoy Vestnik. 2024. No. 3 (91). P. 75

With the introduction of sanctions against the supply of equipment manufactured by Western European countries, it was necessary to replace it with units and components of Russian production. The article considers an example of replacing imported products with domestic ones. Fig. 4. Bibliography 9 titles.

UDC 621.396.67, 004.942 **Keywords:** modular transmitting phased array antenna, HF range, communication facility, potential, radio link

S.V. Rusin, V.D. Pashkevich, V.A. Kaznacheev, Ya.A. Demidov, A.M. Shanin. Modular transmitting phased array antenna//Morskoy Vestnik. 2024. No. 3 (91). P. 79

The article describes a transmitting phased array antenna (PAA) of the HF range, developed by JSC NTI Radiosvyaz. The modular PAA is a basic element of an automated transmitting mobile or stationary communication facility. The PAA is intended for radio communication, including with mobile objects. The main hardware and software for integration and software are our own developments. Fig. 4. Bibliography 15 titles.

UDC 621.396 **Keywords:** communication channel, shortwave range, ionospheric channel, software simulator, Watterson model

E.V. Galuzov, I.V. Galuts, K.V. Gol'dibaev, E.I. Glushankov, E.A. Rylov, A.V. Sorokin. Development of a software simulator of an ionospheric communication channel based on the Watterson model//Morskoy Vestnik. 2024. No. 3 (91). P. 83

The features of signal propagation in an ionospheric shortwave communication channel are considered. When designing communication systems for studying channel characteristics, synthesis and analysis of algorithms for conversion and primary signal processing, software simulators of continuous communication channels are of great importance, using which algorithms are tested without full-scale tests. T. 1. Fig. 11. Bibliography 10 titles.

UDC 629.5.07 **Keywords:** icebreaker, floating nuclear power unit, nuclear fleet, nuclear shipbuilding, Arctic, history

V.E. Martyshenkov, E.A. Kudryavtsev. On the 65th Anniversary of the Nuclear Icebreaker Fleet of Russia//Morskoy Vestnik. 2024. No. 3 (91). P. 88

The article presents the history of the formation and renewal of the nuclear icebreaker fleet of Russia, from the first nuclear icebreaker «Arktika» to the construction of project 22220 modern icebreakers and the only floating nuclear power units in the world. The volume of equipment developed and commissioned by the Concern SPA Aurora is reflected. Fig. 9. Bibliography 3 titles.

UDC 621.391 **Keywords:** radio exchange, radio facility, radio link, exchange protocol, interaction, communication system, establishing communication

A.S. Baturin, B.P. Verba, R.A. Tratkanov. Ways of organizing the interaction of radio facilities of various communication systems//Morskoy Vestnik. 2024. No. 3 (91). P. 91

The article considers the problems of interaction of radio facilities of various communication systems, as well as the types of service information necessary for organizing possible protocols for interaction of radio facilities at the disposal of various structures. The options for storing and transmitting service parameters are also analyzed. A special protocol for interspecific interaction is proposed, which assumes automatic establishment of communication. For a full-fledged organization of interspecific interaction, several structures of information frames are defined: «request», «authentication», «readiness for radio exchange», «radio exchange», «hang up». Situations are assessed when the means of communication with which it is necessary to establish a connection listens to the duty frequency irregularly, options are proposed. T. 6. Fig. 3. Bibliography 10 titles.

UDC 621.396 **Keywords:** intermediate wave range, marine radio communication, BPSK signal demodulator, noise immunity of reception, message coding with ITA2 code

A.A. Pogorelov, A.V. Seleznev, S.S. Dvornikov, K.E. Kopysova, A.Yu. Fedosov, S.V. Dvornikov. Increasing the reliability of reception of marine radio communication signals in the MF/HF range by specifying the decision threshold in the demodulator//Morskoy Vestnik. 2024. No. 3 (91). P. 95

The results of the development of a demodulator for BPSK signals encoded with the ITA2 code are presented. An approach to increasing the noise immunity of reception by taking into account the probability of occurrence of zeros and ones in the processed sequence is substantiated. The gain in noise immunity is shown, which allows to reduce up to 30% of errors in the channel after the implementation of the developed technical solution. Conclusions are formulated and prospects for further development of marine radio communication facilities of the intermediate wave range of the new generation are determined. T. 2. Fig. 5. Bibliography 28 titles.

UDC 004.032.26 **Keywords:** machine learning, embedded systems, AI, real-time operating system, Neutrino, Sinaptica, interference library

N.A. Babich, A.M. Chumanov. Embedded artificial intelligence platform for anomalous activity detection//Morskoy Vestnik. 2024. No. 3 (91). P. 99

Machine learning technologies are emerging in many areas, including industrial areas. However, the specifics of some technical processes often impose restrictions on the use of these technologies. An example would be the use of machine learning to analyze activity in some information system at critical infrastructure facilities. In this case, special requirements are placed on the speed of response, fault tolerance and safety of the system. To meet these requirements, a software package for monitoring anomalous processes was developed. It's based on the secure real-time Neutrino operating system. Fig. 3. Bibliography 5 titles.

UDC 681.5.001.1 **Keywords:** simulator, system, control, technology, operator, training, stu-

dent, artificial intelligence, concept, computer, server, stage, software, test, client-server architecture, operating system, structure, network

V.V. Kobzev, V.V. Meledin. Directions of development of simulator manufacturing in JSC Concern SPA Aurora//Morskoy Vestnik. 2024. No. 3 (91). P. 103

The main directions of development of simulator manufacturing and software for training specialists in the management of ship technical facilities are considered and analyzed. The new strategy for the development of technical training tools (TTS) consists in their intellectualization based on the methods and means of artificial intelligence, expanding the range of TTS in the interests of a wide range of customers, using components of our own design, and increasing the pedagogical effectiveness of training tools. The concept of creating TSO is outlined. Fig. 6. Bibliography 19 titles.

UDC 004.624 **Keywords:** algorithm, information system, attribute, identifier, information exchange

S.A. Geiko. Algorithmic and information support of the control center for normative and reference information used in design//Morskoy Vestnik. 2024. No. 3 (91). P. 109

A solution is proposed for the problem of information and algorithmic support of the center for managing normative and reference information (information on the products and materials used) used in the design of complex science-intensive products within the framework of cooperation. T. 1. Fig. 2. Bibliography 6 titles.

UDC 614.843 **Keywords:** ship fire alarm system, pre-fire situation, fire protection

V.N. Grachev, Yu.V. Belyaev, N.S. Davydov. Ship hardware and software complex for monitoring pre-fire situations, developing a fire development forecast and recommendations in the current situation//Morskoy Vestnik. 2024. No. 3 (91). P. 111

The article considers the hardware and software complex that determines the pre-fire situation based on the processing of data from environmental monitoring equipment and various ship systems. Fig. 3. Bibliography 3 titles.

UDC 656.61 **Keywords:** navigation safety, a-Navigation, electronic cartographic navigation information system, autonomous navigation system, navigation tasks, coordinated control system, autonomous navigation complex

A.S. Korenev, A.S. Skrypka, S.P. Khabarov. Autonomous Vessel Navigation Systems: Operating Modes and Requirements for Navigation Instruments//Morskoy Vestnik. 2024. No. 3 (91). P. 115

The article describes the operating modes of the autonomous navigation system (ANS) and the coordinated motion control system (CMS), which, as part of the autonomous navigation complex (ANC), control the vessel's movement in the entire range of speeds. For each operating mode of the ANS and CMS, the minimum required composition of navigation sensors and the criticality status in case of their failure are given. T. 3. Fig. 4. Bibliography 13 titles.

UDC 527.621 **Keywords:** electronic navigation sextant, observatory, Zvezdochet, hardware and software complex

A.S. Kemerov, A.V. Matveyev, A.V. Nesterov, T.E. Samsonova, D.N. Mosichkin. Sextant with built-in hardware and Zvezdochet software complex//Morskoy Vestnik. 2024. No. 3 (91). P. 119

A description is given of the new design of the Zvezdochet navigation sextant with a built-in hardware and software complex developed by Marine Navigation Systems JSC. Fig. 4. Bibliography 2 titles.