

Морской

Вестник



№1 (89)

М а р т

2 0 2 4

ISSN 1812-3694

Morskoy Vestnik

АО «СЕВЕРНОЕ ПКБ» МЫ ПРОЕКТИРУЕМ БОЕВЫЕ КОРАБЛИ!

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ
БОЕВЫХ КОРАБЛЕЙ
ОСНОВНЫХ КЛАССОВ**

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ
ГРАЖДАНСКИХ СУДОВ**

ИНЖИНИРИНГ

**АВТОРСКИЙ НАДЗОР
ЗА СТРОИТЕЛЬСТВОМ
И ЭКСПЛУАТАЦИЕЙ**

**ИССЛЕДОВАНИЕ
РЫНКА**

АО «Северное ПКБ»
Санкт-Петербург, ул. Корабельная,
д. 6, корпус 2, литера А

+7 (812) 702-30-05
spkb@mail.seanet.ru



Президент России Владимир Владимирович Путин 26 января 2024 года накануне выездного совещания Совета безопасности посетил Санкт-Петербургский государственный морской технический университет, где встретился со студентами и военнослужащими – участниками специальной военной операции.

СПбГМТУ на протяжении многих лет является опорным вузом отечественного судостроения. За последние годы под руководством ректора Г. А. Турчина Морской технический университет не только сохранил свои позиции, но и превратился в динамично развивающийся научно-образовательный центр мирового уровня, являющийся флагманом высокотехнологичных отраслей промышленности, выполняющий НИОКР и обучающий специалистов по заказу предприятий и корпораций реального сектора экономики (ГК «Роскосмос», ГК «Росатом», АО «ОДК», АО «ОСК» и других).

Перед началом встречи Глеб Турчин показал Главе государства инженерные классы университета. Корабелка – флагманский вуз проекта судостроительных инженерных классов. Школьные педагоги проходят здесь профессиональную переподготовку и могут преподавать математику, физику, информатику с учетом требований судостроительной отрасли. Для старшеклассников из Петербурга и Ленинградской области в вузе проводятся занятия по оптике лазеров, морской робототехнике, компьютерному моделированию и технологическому предпринимательству. Ректор СПбГМТУ продемонстрировал Президенту телеуправляемый необитаемый подводный аппарат «Трионикс» и автономный необитаемый подводный аппарат «Гуппи». С 2023 г. Корабелка начала серийное производство для оснащения школьных инженерных классов. Также Глеб Турчин рассказал Владимиру Путину о произведенном на базе университета корабельном оборудовании, винтах, дронах, показал детали, изготовленные с помощью технологии прямого лазерного выращивания.

Владимиру Путину доложили о подготовке офицеров для службы по контракту и офицеров запаса в Военном учебном центре (ВУЦ) при СПбГМТУ, осуществляющем подготовку граждан по программам высшего образования в интересах Министерства обороны Российской Федерации. Обучающиеся в ВУЦ получают одновременно две специальности: гражданскую и военную.

В процессе обучения в ВУЦ занятия проходят на специализированных учебных тренажерах.

Г. А. Турчин ознакомил Президента с планами развития инфраструктуры университета. Отдельное внимание рек-

ПРЕЗИДЕНТ РФ В.В. ПУТИН ПОСЕТИЛ СПБГМТУ

Д.И. Кузнецов, д-р техн. наук, доцент, проректор по научной работе СПбГМТУ, контакт. тел. +7 (931) 956 5553



Ректор СПбГМТУ Г.А. Турчин демонстрирует В.В. Путину научные разработки сотрудников Университета



Встреча Президента со студентами – участниками специальной военной операции

тор уделил внеучебной и спортивной деятельности – в ближайшие годы на территории вуза будет построен центр единоробств.

Одной из ключевых целей приезда Президента РФ стало проведение на базе СПбГМТУ совещания по социально-экономическому развитию агломераций Санкт-Петербурга. Участниками мероприятия стали полномочный представитель Президента в Северо-Западном федеральном округе Александр Гуцан, губернатор Санкт-Петербурга Александр Беглов, губернатор Ленинградской области Александр Дрозденко, заместитель Председателя Правительства РФ Марат Хуснуллин, министр науки и высшего образования РФ Валерий Фальков и другие.

Президент побывал в Конгресс-центре, в Музее кораблестроения и кораб-

лестроительного образования, в новом Медико-профилактическом центре СПбГМТУ – Центре морской промышленной медицины Федерального медико-биологического агентства. Медицинский центр оснащен современным медицинским оборудованием: кардиореспираторными мониторами, барокамерой, аппаратом, создающим атмосферу высокогорья, мультимедийным комплексом виртуальной нейрореабилитации, многофункциональным комплексом для профилактики морской болезни.

В Спортивном комплексе СПбГМТУ Глава государства встретился с волейболистками: командой СПбГМТУ «Корабелка» и командой лицея № 211 им. Пьера де Кубертена. В конце встречи спортсмены подарили Главе государства волейбольный мяч. ■

Морской Вестник



№ 1 (89)

м а р т

2 0 2 4

Morskoy Vestnik

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Редакционный совет

Сопредседатели:

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

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

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

Г.А. Турчин, ректор СПбГМТУ

Члены совета:

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

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

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

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

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

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

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

М.В. Исполов, директор ЗАО «ЦНИИ СМ»

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

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. Кулик, генеральный директор АО «НПО Завод «Волна»

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

И.М. Мухутдинов, 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. Щербаков, генеральный директор ООО ПКБ «Петробалт»

СОДЕРЖАНИЕ

Д.И. Кузнецов. Президент РФ В.В. Путин посетил СПбГМТУ 1

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И КОНСТРУКЦИЯ СУДОВ

С.Ю. Афанасьева, А.В. Кошелев, И.В. Щербаков. Рефрижераторные суда: реализация требований инвестиционных квот 7

П.А. Зубков. Аналитическая модель оценки эффективности тепловой изоляции корпуса корабля при использовании современных теплоизоляционных материалов 10

Н.С. Вахрушина, А.Н. Дядик. Анализ изменения параметров спутной струи подводного объекта 16

ТЕХНОЛОГИЯ СУДОСТРОЕНИЯ, СУДОРЕМОНТА И ОРГАНИЗАЦИЯ СУДОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

П.А. Лукашевич. Цифровизация производства в АО «Северное ПКБ» 20

М.Д. Мовчанова, Н.А. Беляков, А.С. Недорезанок, В.В. Трусов, А.Б. Фомичев. Оптимизация судостроительного производства путем внедрения альбомов труб 24

На Средне-Невском судостроительном заводе заложен корабль противоминной обороны «Семен Агафонов» 29

СУДОВЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ И ИХ ЭЛЕМЕНТЫ

В.В. Камлюк, И.О. Прутчиков, И.В. Гречушкин. Комбинированные энергоустановки для обеспечения комплексной безопасности автономных объектов инфраструктуры водного транспорта 30

А.В. Балакин, А.Н. Дядик, Д.С. Маловик, М.А. Щегольков. Алгоритмы управления процессом очистки рабочего газа от углекислого газа 34

А.А. Халявкин, Д.В. Лошадкин, М.В. Старкова, Н.П. Безруков, Ю.Ю. Яковлев. Разработка дейдвудного подшипника с эллиптическими вкладышами 38

В.Г. Кирикова, И.А. Сорокин. Оценка возможности применения пассивного принципа охлаждения главного конденсатора ПТУ перспективных АПЛ 43

А.Е. Васильев, Р.Р. Касимов, В.Д. Ковалев, Д.Е. Кунгурцев, С.А. Токаренко. Технологические основы исследования применимости расходомеров общего назначения в судовой аппаратуре топливоподдачи 46

С.А. Казанов. Текущее состояние и перспективы развития способов генерации электроэнергии в системах электродвижения судов 48

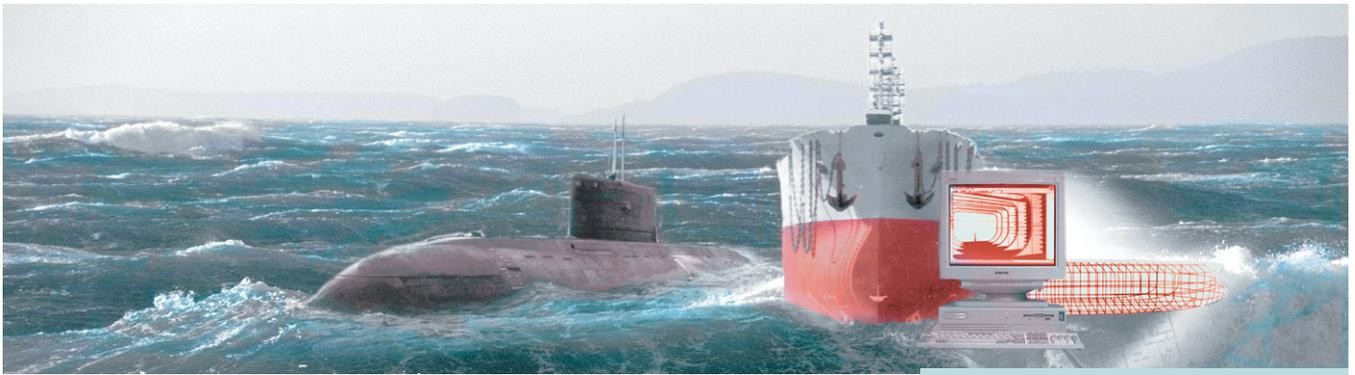
И.Л. Титов. Различные типы и системы управления шаговыми двигателями 54

Д.М. Кучинский, Д.О. Глазырина, С.А. Паимцев, Я.А. Бойко. Выбор значений показателя адиабаты реального газа 58

А.З. Багерман. Объединение малоциклового усталости и выносливости никелевых сплавов 60

А.Н. Дядик, Д.С. Маловик, С.Н. Бударин, М.А. Кича. Генерация водорода с использованием органических носителей на борту морских подводных объектов 62

Ю.А. Лебедев. Анализ мировой практики и тенденций конструктивного развития приводов успокоителей качки 65



Б. Ю. Семёнов. Анализ преимуществ одноклового режима управления силовым инвертором в статических преобразователях для систем компенсации магнитного поля корабельных конструкций 73

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ ПРИБОРОСТРОЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ

- А. А. Катанович, Е. А. Рылов, В. А. Цыванюк.** Корабельное устройство широкополосной связи 79
- А. С. Батурич, Б. П. Верба.** Разработка и исследование модели комплекса интегрированных средств для повышения эффективности информационного обмена в среде гетерогенной системы связи 85
- К. А. Смирнов, Р. А. Андреюк, Д. С. Бабкин, А. А. Малов.** Ультразвуковые системы защиты от обрастания судов 89
- С. А. Якушенко, С. В. Дворников, В. К. Снежко.** Обоснование требований к точности позиционирования речных безэкипажных судов 90
- С. С. Дворников, С. В. Дворников, М. Р. Бибарсов, Г. Н. Москалец.** Анализ помехоустойчивости передач морской радиосвязи ПВ/КВ диапазона 93
- В. Д. Пашкевич, В. М. Голубев, А. А. Павлов, С. В. Русин, Я. А. Демидов.** О методах разработки антенных систем кв диапазона. Часть 2 97

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ И УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ

- В. Г. Пушин, В. В. Филиппов, Л. А. Просвирякова.** Пути оптимизации технического сопровождения изделий военного назначения с использованием информационных технологий 103
- А. Е. Васильев, А. В. Вегнер, В. А. Карпенко, Йе Мин Хтет, Хтун Шайн.** Аппроксимация поверхности изделий судового машиностроения методами теории нечетких множеств 106
- С. Л. Ильменков.** О возможностях численного определения характеристик отражения звука объектами конечных размеров 109
- В. И. Комашинский.** На пути к педагогической парадигме 4.0, или особенности применения искусственного интеллекта в системе образования РФ 112

ИСТОРИЯ СУДОСТРОЕНИЯ И ФЛОТА

Д. Ю. Литинский, Ю. В. Слесарев. Малоизвестные страницы деятельности ученого-кораблестроителя инженера-капитана 1 ранга В. Н. Перегудова 115

В АССОЦИАЦИИ СУДОСТРОИТЕЛЕЙ

Итоги собрания Ассоциации судостроителей Санкт-Петербурга и Ленинградской области 123

В МОРСКОМ СОБРАНИИ

И. А. Лещенко. 55-я Ассамблея Санкт-Петербургского Морского собрания 124

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. 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.

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 300 экз. Заказ № 332

Дата выхода в свет – 15. 03. 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 SSTS,
President of the Association
of Shipbuilders of St. Petersburg and Leningrad Region

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

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

G.A. Turichin, Rector SPbSMTU

Council Members:

A.A. Aslanyan, General Director
JSC RPF Meridian

V.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

M.V. Ispolov, Director JSC CRIME

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 Aurora

K.A. Smirnov, General Directors JSC MNS

I.S. Sukhovinsky, Director JSC VINETA

V.S. Tatarsky, General Director JSC ERA

N.M. Vikhrov, General Director

JSC Kanonersky Shiprepairing Yard

M.V. Zakharov, General Director

JSC Pumori-north-west

ABSTRACTS

D.I. Kuznetsov. *President of the RF V. V. Putin visited SPbSMTU*..... 1

SHIP DESIGN AND CONSTRUCTION

S. Yu. Afanas'eva, A. V. Koshelev, I. V. Shcherbakov. *Reefer ships: implementation of investment quota requirements* 7

P.A. Zubkov. *Analytical model for assessing the effectiveness of thermal insulation of a ship's hull using modern thermal insulation materials* 10

N. S. Vakhrushina, A. N. Dyadik. *Analysis of changes in the parameters of the wake of an underwater object* 16

TECHNOLOGY OF SHIPBUILDING, SHIP REPAIR AND ORGANIZATION OF SHIPBUILDING

P.A. Lukashevich. *Digitalization of production at JSC Severnoye DB*..... 20

M. D. Movchanova, N. A. Belyakov, A. S. Nedorezanyuk, V. V. Trusov, A. B. Fomichev. *Optimization of shipbuilding production by introducing pipe albums*..... 24

The mine defense ship «Semyon Agafonov» was laid down at the Sredne-Nevsky Shipyard..... 29

SHIP POWER PLANTS AND THEIR ELEMENTS

V. V. Kamlyuk, I. O. Prutchikov, I. V. Grechushkin. *Combined power plants to ensure comprehensive safety of autonomous water transport infrastructure facilities* 30

A. V. Balakin, A. N. Dyadik, D. S. Malovik, M. A. Shchegolkov. *Algorithms for controlling the process of purifying working gas from carbon dioxide* 34

A. A. Khalyavkin, D. V. Loshadkin, M. V. Starkova, N. P. Bezrukov, Yu. Yu. Yakovlev. *Development of a stern tube bearing with elliptical liners* 38

V. G. Kirikova, I. A. Sorokin. *Assessment of the possibility of using the passive principle of cooling the main condenser of the STU of promising nuclear submarines* .. 43

A. E. Vasil'ev, R. R. Kasimov, V. D. Kovalev, D. E. Kungurtsev, S. A. Tokarenko. *General-purpose flowmeters applicability in the ship fuel supply equipment* 46

S. A. Kasanov. *Current state and prospects for the development of methods for generating electricity in electric propulsion systems of ships* 48

I. L. Titov. *Various types and control systems for stepper motors*..... 54

D. M. Kuchinsky, D. O. Glazyrina, S. A. Paimtsev, Ya. A. Boyko. *Selection of values of the adiabatic index of real gas*..... 58

A. Z. Bagerman. *Combining low-cycle fatigue and endurance of nickel alloys* 60

A. N. Dyadik, D. S. Malovik, S. N. Budarin, M. A. Kicha. *Generation of hydrogen using organic carriers on board marine underwater objects* 62

Yu. A. Lebedev. *Analysis of world practice and trends in the design development of pitch stabilizer drives* 65



B. Yu. Semyonov. Analysis of the advantages of a single-key control mode of a power inverter in static converters for magnetic field compensation systems of ship structures 73

DESIGN AND TECHNOLOGY OF INSTRUMENT MAKING AND RADIO ELECTRONIC EQUIPMENT

A. A. Katanovich, E. A. Rylov, V. A. Tsyvanyuk. Ship broadband device 79

A. S. Baturin, B. P. Verba. Development and research of a model of a complex of integrated tools for increasing the efficiency of information exchange in the environment of a heterogeneous communication system 85

K. A. Smirnov, R. A. Andreyuk, D. S. Babkin, A. A. Malov. Ultrasonic antifouling systems for ships 89

S. A. Yakushenko, S. V. Dvornikov, V. K. Snezhko. Justification of the requirements for positioning accuracy of unmanned river vessels 90

S. S. Dvornikov, S. V. Dvornikov, M. R. Bibarsov, G. N. Moskalets. Analysis of the noise immunity of marine radio communication transmissions in the MF/HF range 93

V. D. Pashkevich, V. M. Golubev, A. A. Pavlov, S. V. Rusin, Ya. A. Demidov. On methods for developing HF antenna systems. Part 2 97

INFORMATION-MEASURING AND MANAGEMENT SYSTEMS

V. G. Pushin, V. V. Filippov, L. A. Prosviryakova. Ways to optimize the technical support of military products using information technology 103

A. E. Vasil'ev, A. V. Wegner, V. A. Karpenko, Ye Min Htet, Htet Shine. Fuzzy approximation of marine engineering details surface 106

S. L. Il'menkov. On the possibilities of numerical determination of the characteristics of sound reflection by objects of finite sizes 109

V. I. Komashinsky. On the way to the pedagogical paradigm 4.0, or features of the use of artificial intelligence in the education system of the Russian Federation 112

THE HISTORY OF SHIPBUILDING AND FLEET

D. Yu. Litinsky, Yu. V. Slesarev. Little-known pages of the activities of the scientist-shipbuilder, engineer-captain 1st rank V. N. Peregudov 115

IN THE ASSOCIATION OF SHIPBUILDERS

Results of the meeting of the Association of Shipbuilders of St. Petersburg and the Leningrad Region 123

IN THE MARINE ASSEMBLY

I. A. Leshchenko. 55th Assembly of the St. Petersburg Maritime Assembly 124

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. 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. Podopyokhin, D. Sc., Prof., member of the Academy of Rocket and Artillery of Sciences of Russia

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

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

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

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

Editorial staff

Phone/Fax +7 (812) 6004586

E-mail: morvest@gmail.com

Editor

T. I. Ilyichiova

Design, imposition

S. A. Kirillov, V. L. Kolpakova

Editorial office

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

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

ПИ № 77-12047 of 11 march 2002

Founder-Publisher

JSC Publishing House «Mor Vest»

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

The magazine electronic version

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

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

www.perechen.vak2.ed.gov.ru

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

Printed by Premium Press Printing House LLC

Printing house address 190020 St. Petersburg

Narvsky prospect, 18, letter A

Circulation 300. Order № 332

Publication date – 15. 03. 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 to publication in open press.

Reprinting is allowed only with permission of the editorial staff

ВВЕДЕНИЕ

Современная технология морской добычи рыбной продукции предусматривает распределение технологических процессов рыболовства между судами различного назначения. Так, основные функции выполняют следующие специализированные суда:

- непосредственный вылов рыбы – траулеры, сейнеры, краболовы;
- первичную и глубокую обработку рыбной продукции – плавучие рыбоперерабатывающие заводы, траулеры-процессоры и др.;
- прием рыбной продукции с судов промыслового флота и ее доставку в порты – транспортные рефрижераторные суда.

Применение транспортных рефрижераторных судов позволяет эффективнее использовать промысловый флот благодаря исключению переходов из удаленных зон рыболовства к местам передачи рыбной продукции в дальнейшую обработку.

Российские рыбодобывающие компании активно эксплуатируют транспортные рефрижераторные суда. Однако на сегодняшний день средний возраст судов этого типа превышает 30 лет [1], и в ближайшее время рыбопромышленники столкнутся с их нехваткой.

Рядом рыбопромышленных компаний – АО «Океанрыбфлот» [2], ООО «РРПК» [3], Рыболовецкий колхоз им. В. И. Ленина [4] и др. – обозначена заинтересованность в строительстве новых транспортных рефрижераторов.

Для стимулирования обновления флота 7 августа 2023 г. Постановлением Правительства Российской Федерации были утверждены требования к объектам инвестиций и инвестиционным проектам в рыбопромышленной отрасли в рамках второго этапа программы инвестиционных квот [5, 6]. Одним из новых объектов инвестиций, обозначенных в постановлении, стал транспортный рефрижератор для доставки рыбной продукции с мест промысла в порты [7].

РАЗМЕРЕНИЯ ТРАНСПОРТНОГО РЕФРИЖЕРАТОРНОГО СУДА

Модель использования транспортного рефрижераторного судна для рыболовного флота предполагает приемку, хранение и транспортировку разноразмерной продукции, производимой рыболовными судами-процессорами, а также обеспечение этих судов топливом, расходными материалами, провизией и сменными экипажами. Перегрузка рыбной продукции в море проводится в основном с помощью грузовых стрел и сетей, так как грузоподъемность паллета ограничена 2 т.

Требования к транспортному рефрижераторному судну, обозначенные в постановлении [5], приведены в табл. 1.

РЕФРИЖЕРАТОРНЫЕ СУДА: РЕАЛИЗАЦИЯ ТРЕБОВАНИЙ ИНВЕСТИЦИОННЫХ КВОТ

С.Ю. Афанасьева, инженер-конструктор 2-й категории,
А.В. Кошелев, гл. конструктор по перспективному проектированию,
И.В. Щербаков, ген. директор, ООО ПКБ «Петробалт»,
контакт. тел. (812) 644 5686

Таблица 1

Требования к транспортному рефрижераторному судну

Регион	Дальневосточный рыбохозяйственный бассейн
Длина, м	Не менее 120
Объем грузовых трюмов, м ³	Не менее 10 000
Валовая вместимость (ГТ), т	Более 5000

Характеристики судна ограничиваются не только требованиями инвестиционных квот, но и максимальной осадкой, позволяющей выполнение заходов в порты. Так, обязательные постановления морских портов Дальневосточного бассейна [8] регламентируют осадку судна не более 7,5 м.

В ходе разработки своих проектов ООО «ПКБ «Петробалт» выполнило анализ характеристик более 150 существующих транспортных рефрижераторных судов, классифицированных РМРС, а также строящихся новых иностранных проектов.

В табл. 2 приведены некоторые существующие суда, которые имеют длину около 120 м, отвечающую требованиям постановления правительства.

Для обеспечения топливной экономичности при транспортировке рыбной продукции используются и строятся суда, имеющие максимальную скорость 15–16,5 уз. Используются и более быстрые рефрижераторы (19–22 уз), построенные с целью перевозки скоропортящихся продуктов. В соответствии с требованиями к объектам инвестиций целесообразно проектировать

транспортный рефрижератор, имеющий скорость среднюю для судов, специализированных под рыбопромысловую отрасль, – 15–16,5 уз. Это допускает выполнение обводов корпуса с достаточно большими для данного типа судов коэффициентами общей полноты C_b (более 0,67), что позволит увеличить грузоместимость при сохранении габаритов. Значения C_b при различных значениях дедвейта рефрижераторных судов приведены на рис. 1.

РАСЧЕТ ЗНАЧЕНИЙ

При разработке проекта транспортного рефрижератора особое внимание привлекают требуемые постановлением [5] значения длины (не менее 120 м) и грузоместимости (не менее 10 000 м³).

Очевидно, что характеристики части судов, отраженных в табл. 2, в приемлемой степени отвечают этим требованиям по длине и значению ГТ. Однако ни одно из приведенных судов не имеет достаточного объема грузовых трюмов.

Анализ зависимости объема трюма, м³, от дедвейта рефрижераторного суд-

Таблица 2

Характеристики судов, имеющих длину около 120 м

Характеристика	«Arctic Spirit»	«Andromeda»	«Tuna Queen»	«Ice River»	«Crystal Arctica»	«Frio Sapfir»	«Полтава»
№ ИМО	8907204	9000364	9940693	9078452	8509571	9014793	9175286
Год постройки	1991	1990	2022	1993	1991	1992	2004
Длина наибольшая, м	120,50	120,70	121,00	121,90	124,50	126,00	133,81
Ширина, м	18,55	16,60	16,80	18,20	19,24	19,00	21,00
Осадка, м	7,91	7,39	7,11	7,30	7,20	7,93	7,89
Высота борта, м	10,15	10,00	10,20	9,90	10,50	10,30	10,70
Дедвейт, т	6807,0	6007,0	4848,0	6000,0	6232,0	7456,0	7846,0
Объем трюмов, м ³	8498,0	6707,0	5108,0	7157,0	8194,0	9829,0	7620,0
ГТ	6419	4488	4902	4833	7392	6082	6971
Скорость, уз	16,0	15,8		17,0	17,0	21,0	16,0

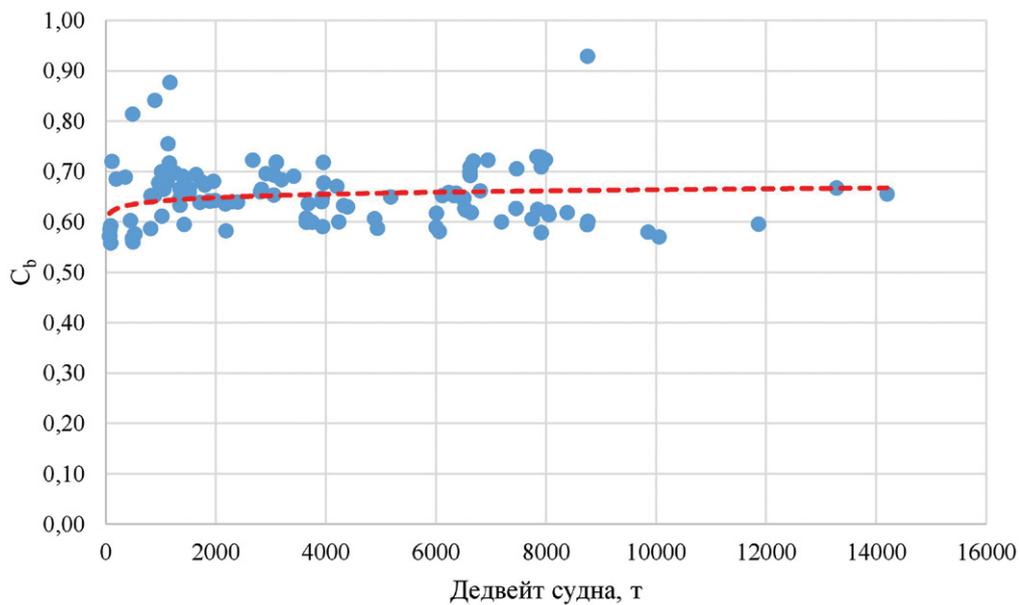


Рис. 1. Зависимость C_b от дедвейта

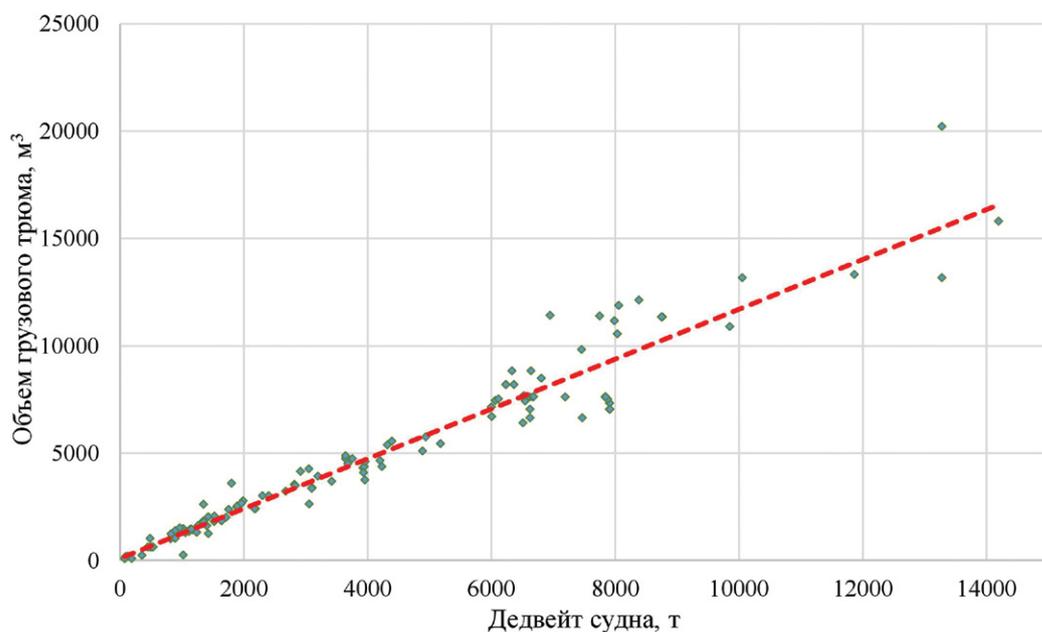


Рис. 2. Зависимость объема грузового трюма от дедвейта

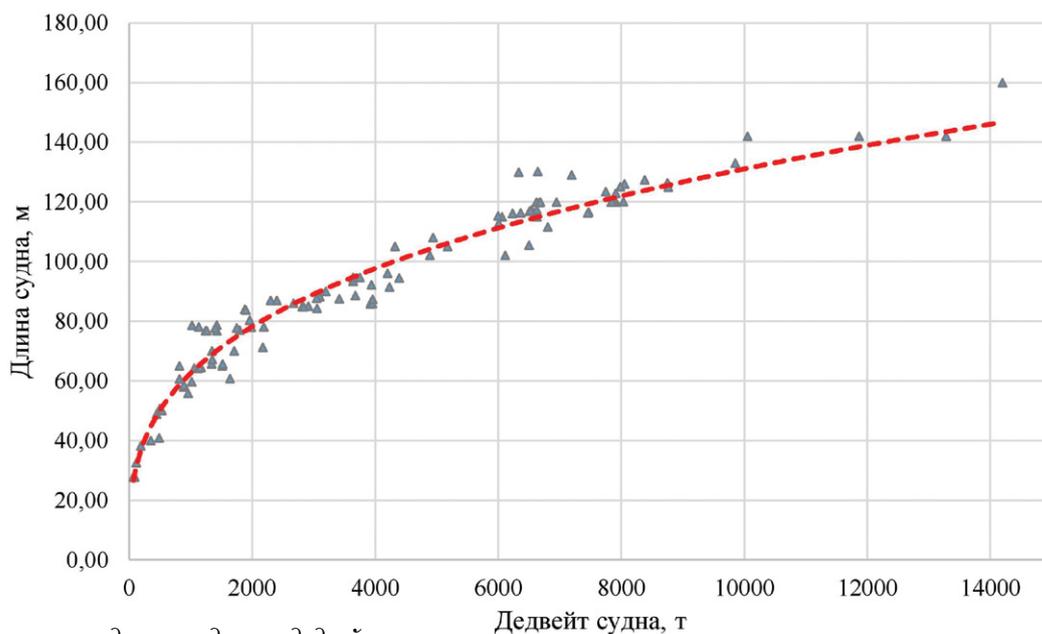


Рис. 3. Зависимость длины судна от дедвейта

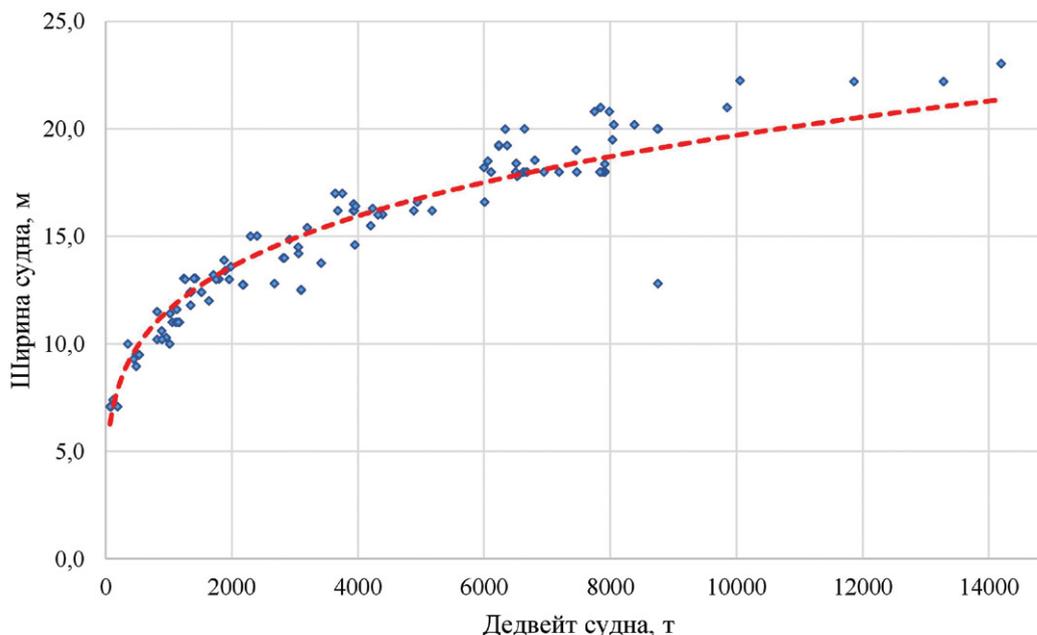


Рис. 4. Зависимость ширины судна от дедвейта

на, т, показывает линейную зависимость между этими величинами (рис. 2). Так, уверенно можно определить, что среднестатистическое значение дедвейта рефрижераторного судна с требуемым объемом трюма ($10\,000\text{ м}^3$) составит ок. 8563 т.

Зависимости длины и ширины искомого судна от его дедвейта аппроксимируются степенными функциями и приведены на рис. 3 и рис. 4 соответственно.

Требуемая грузоподъемность судна может быть рассчитана исходя из данных о перевозимой им продукции и значения требуемой грузоместимости ($10\,000\text{ м}^3$). Анализ вместимостей рыболовных судов показывает, что в среднем около 75% полезного объема транспортного рефрижератора будет заполняться мороженой продукцией, в то время как на консервную (при наличии) и мучную продукцию придется около 25%. Кроме того, следует учитывать особые условия транспортировки рыбной муки, которые требуют организации специальных зон и систем в трюмах.

В табл. 3 приведены значения требуемой грузоподъемности при условии заполнения трюмов каждым из перечисленных видов продукции. Для расчета требуемой грузоподъемности использован коэффициент заполнения грузового трюма 0,8, учитывающий неоднородность укладки, размеры применяемой для разной продукции тары, выступающее оборудование, необходимость пространства для вентиляции. При росте этого коэффициента требования к грузоподъемности будут увеличиваться. В случае использования паллетов для транспортировки требуемая грузоподъемность судна будет уменьшаться.

Таблица 3

Требуемая грузоподъемность судна

Тара	Объем, м ³	Удельный объем, м ³ /т	Требуемая грузоподъемность, т
Консервная продукция			
Ящик с банками массой 0,185 кг (60 шт.) № 17	0,025	2,250	3555,56
Ящик с банками массой 0,230 кг (48 шт.) № 52	0,020	1,812	4414,23
Мороженая продукция			
Картонный ящик			
1 блок, 6,81 кг	0,007	1,051	7614,26
3 блок, 6,81 кг	0,024	1,195	6692,10
4 блок, 5,5 кг	0,031	1,426	5611,46
4 блок, 6,0 кг	0,031	1,307	6121,59
4 блок, 6,5 кг	0,031	1,206	6631,72
3 блок, 7,0 кг, № 7 М (мороженая рыба)	0,027	1,283	6233,766
3 блок, 7,484 кг, № 7 Т (сурими, рыба)	0,023	1,044	7663,616
3 блок, 7,6 кг, № 32 (икра, молоки, филе минтая, фарш)	0,027	1,172	6823,793
Бумажные мешки для брикетов			
Крафт-мешок 25 кг	0,029	1,166	6861,06
Крафт-мешок 50 кг	0,059	1,188	6734,01
Мучная продукция			
Крафт-мешок 30 кг	0,021	0,715	11 188,81
Крафт-мешок 35 кг	0,029	0,824	9711,60
Крафт-мешок 40 кг	0,037	0,935	8560,73
Мучной мешок ППЛ с клапаном	0,051	1,285	6224,71
Мучной мешок ППЛ	0,058	1,444	5541,13
Мучной мешок ППЛ	0,043	1,069	7485,38
Среднее значение (75/25%)		1,226	6 526,39

ВЫВОДЫ

Исходя из приведенных данных, проект будущего судна, отвечающий минимальным требованиям Постановления Правительства РФ [5] и способный заходить в порты Дальневосточного бассейна [8], должен иметь характеристики, приведенные в табл. 4.

Опыт и компетенции, полученные ООО «ПКБ «Петробалт» при выполне-

нии работ по проектированию рыбопромысловых судов, позволили разработать концепции транспортных рефрижераторов, характеристики которых соответствуют указанным выше.

Следует учитывать, что строительство судов таких размерений возможно только на верфях, не ограниченных габаритными требованиями шлюзов и внутренних водных путей при выполнении перегона судна в море.

Полученные характеристики судна

Характеристика	Значение
Длина габаритная, м	Ок. 138–142
Длина между перпендикулярами, м	Ок. 129–135
Ширина, м	Ок. 21–22
Высота борта, м	Ок. 10,5–11
Осадка, м	7,5
ГТ	Не менее 5000
Дедвейт, т	Ок. 8563
Грузоподъемность, т	Не менее 6526
Объем грузовых трюмов, м ³	Не менее 10000
Скорость, уз	Ок. 15–16,5

ЛИТЕРАТУРА

1. Материалы конференции «Обновление и развитие промыслового флота: конструктивный диалог ради общего дела». – Международная выставка «Нева–2023», Санкт-Петербург, 19.09.2023.
2. АО «Океанрыбфлот» – URL: <https://oceanrybflot.ru/> (дата обращения: 07.02.2024).
3. АО «РРПК» – URL: <https://russianfishery.ru/> (дата обращения: 07.02.2024).
4. Рыболовецкий колхоз им. В. И. Лени-

- на – URL: <http://www.kolhozleninaka-mchatka.ru/attestacziya.html> (дата обращения: 07.02.2024).
5. Постановление Правительства Российской Федерации «О требованиях к объектам инвестиций и инвестиционным проектам в области рыболовства, а также о порядке расчета обеспечения реализации указанных инвестиционных проектов» от 7.08.2023 № 1287.
 6. Федеральное агентство по рыболовству (Росрыболовство) URL: <https://fish.gov.ru/> (дата обращения: 07.02.2024).

7. Федеральный закон от 20.12.2004 № 166-ФЗ «О рыболовстве и сохранении водных биологических ресурсов» (с изм. и доп.).
8. Обязательные постановления в морских портах Дальневосточного бассейна Минтранса России. ФГУП «Росморпорт» URL: <https://www.rosmorport.ru/> (дата обращения: 07.02.2024).
9. Постановление Правительства Российской Федерации «О закреплении и предоставлении долей квот добычи (вылова) водных биологических ресурсов, предусмотренных пунктами 11 и 13 части 1 статьи 30 Федерального закона «О рыболовстве и сохранении водных биологических ресурсов» от 7.08.2023 № 1286.
10. Информация (уведомление) о проведении 2-й заявочной кампании в рамках 2-го этапа инвестиционных квот (пункт 13 части 1 статьи 30 Федерального закона от 20.12.2004 № 166-ФЗ «О рыболовстве и сохранении водных биологических ресурсов»).
11. *Илья Шестаков*. Мы не бросаем рыбаков // «Ведомости» URL: <https://www.vedomosti.ru/business/characters/2023/10/30/1003180-mine-brosaem-ribakov> (дата обращения: 07.02.2024). ■

Тепловая изоляция корпуса корабля – важнейший фактор, на основе которого рассчитываются экономические затраты как на его строительство, так и на эксплуатацию. Актуальность темы повышения эффективности тепловой изоляции корпуса корабля обуславливается необходимостью разработки новых технических решений с целью улучшения их эксплуатационных характеристик и условий обитаемости экипажей, получения рациональной совокупности технических и эксплуатационных характеристик кораблей, которые, соответствуя установленным требованиям, способны к выполнению задач по назначению.

Для повышения эффективности тепловой изоляции корпуса корабля необходимы инструменты, позволяющие оценивать эффективность существующих и перспективных разработок с учетом современных условий проектирования и эксплуатации боевых кораблей. Анализ информации показал нецелесообразность применения существующих методик оценки эффективности изоляции корпусов боевых кораблей [1, 2], поскольку указанная методика [1] сводится к определению ее оптимальной толщины, а оценка эффективности выполняется с учетом технико-экономических показателей судна как инженерного сооружения. При этом метод оценки срока окупа-

емости соизмеряет первоначальные капитальные вложения с текущими годовыми расходами и соотносится с максимальным значением нормативного срока окупаемости в годах. Очевидно, что определение затрат для современных условий проектирования боевых кораблей – весьма сложная задача. Причина состоит в ограниченных объемах информации, а также в длительных сроках строительства кораблей, когда стоимостные показатели одних и тех же работ с течением времени существенно изменяются. Также следует отметить характерную особенность существующей методики [1], заключающейся в отсутствии связи с климатическими условиями

районов, в которых эксплуатируются корабли и суда, а также анализа их стоянки в различных портах.

Цель исследования – разработка аналитической модели оценки эффективности технических решений в части тепловой изоляции корпуса корабля с учетом экономических затрат на его строительство и эксплуатационных расходов на содержание.

Исследование влияния характеристик тепловой изоляции проводится при одном основополагающем допущении, когда ее толщина $\delta_{из}$ принимается в пределах возможных ее отклонений в соответствии с допусками, указанными в технических условиях. При этом при варьировании в расчетах

АНАЛИТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛОЙ ИЗОЛЯЦИИ КОРПУСА КОРАБЛЯ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СОВРЕМЕННЫХ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

*П.А. Зубков, канд. техн. наук,
ген. директор ООО «Морские комплексные системы»,
контакт. тел. (812) 441 2401*

значений $\delta_{из}$ прочие основные конструктивные элементы и физические характеристики корпуса корабля остаются неизменными. С учетом принятых допущений эксплуатационные расходы, связанные с возмещением потерь тепла через корпус корабля в течение года (на отопление в холодное время года и систему кондиционирования в жаркое время), зависящие от размеров корабля, будут постоянными. Варьируемыми параметрами являются температура забортной воды $t_{зв}$ и температура окружающего воздуха $t_{взх}$. Тепловой поток q_t через теплоизоляционную конструкцию определяется указанными параметрами вместе с несколькими уровнями температур внутренних помещений $t_{п}$. Кроме того, при расчетах учитывается интенсивность использования корабля в различные периоды времени, соответственно q_t зависит не только от $t_{зв}$, $t_{взх}$ и $t_{п}$, но и от продолжительности периодов нахождения корабля в базе или в море. В зависимости от указанных параметров изменяется как q_t , так и общий поток тепла Q_t через теплоизоляционную конструкцию корпуса корабля.

При условии поддержания во внутренних помещениях корабля заданных параметров микроклимата ($t_{п}$), тепловой поток Q_t утечки тепла наружу или притока тепла во внутрь корпуса корабля должен быть компенсирован соответствующей работой технических средств (например, отсечных узлов вентиляции, электрических грелок, либо холодильных машин (ХМ)). Таким образом, расход электроэнергии, затраченной на работу указанных технических средств корабля, может быть принят в качестве критерия эффективности теплоизоляционной конструкции.

Обозначим $N_{тсл}$ – затраты энергии на компенсацию теплового потока $Q_{тсл}$ через теплоизоляционную конструкцию корабля в течение срока его службы $T_{сл}$. Совокупность характеристик, варьируемых при проведении исследований и расчетов, обозначим вектором X с компонентами $x_1, x_2 \dots x_m$. Отдельным компонентом обозначим x_e при $e = \{1, m\}$, к числу которых относятся все температурные показатели $t_{п}$, $t_{зв}$, $t_{взх}$. Сюда же входят все временные показатели полного цикла эксплуатации корабля в течение срока службы $T_{сл}$, а также $\delta_{из}$ и коэффициент ее теплопроводности λ_t в функции от текущего времени $\tau_{сл}$. Все характеристики корабля, принимаемые постоянными, включаются в вектор D с компонентами d_1, d_2, \dots, d_p отдельным компонентом которого является d_b при $b = \{1, f\}$. Введем также допустимое поле темпера-

тур в помещениях корабля $t_{доп}$:

$$t_{max} \geq t_{доп} \geq t_{min}, \quad (1)$$

где t_{max} – максимально допустимая температура в помещениях, °С; t_{min} – минимально допустимая температура в помещениях, °С.

Тогда критерий эффективности тепловой изоляции корпуса корабля формулируется как минимальное значение затрат энергии $N_{тсл}$ в течение его срока службы – $T_{сл}$. Математически это записывается следующим образом:

$$\min N_{тсл}(X, D), \\ t_{max} \geq t_{доп} \geq t_{min}. \quad (2)$$

Достаточно точное решение задачи поддержания заданной температуры воздуха внутри помещений корабля путем отведения тепла ХМ может быть получено при использовании так называемого холодильного коэффициента [3, 4], который определяется следующим образом:

$$\epsilon_k = \frac{Q_2}{Q_1 - Q_2}, \quad (3)$$

где Q_2 – тепло, отводимое от воздуха внутри помещений корабля; Q_1 – тепло отводимое от рабочего тела ХМ, при этом $Q_1 > Q_2$.

Разность $Q_1 - Q_2$ в выражении (3) представляет собой работу, затрачиваемую на отведение соответствующего количества теплоты.

Зная холодильный коэффициент ϵ_k и количество теплоты Q_2 , которое нужно отвести, можно определить и затраченную на это энергию:

$$N_{тх} = Q_2 \epsilon_k, \text{ Вт}. \quad (4)$$

Порядок расчета затрат энергии на компенсацию поступившего из-за борта через тепловую изоляцию тепла заключается в выборе наименьшего по потреблению электрической энергии режима работы ХМ, при котором обеспечивается отвод определенного количества теплоты.

Расчет затрат тепла на подогрев воздуха внутри помещений корабля проводится с учетом допущения о том, что перенос влаги вместе с потоком тепла считается пренебрежимо малой величиной. Необходимый расход воздуха для компенсации уходящего за борт тепла может быть определен по формуле

$$G_t = \frac{Q_t}{c_p \Delta t_n} \text{ кг/с}, \quad (5)$$

где Q_t – поток тепла за борт, Вт, c_p – удельная теплоемкость воздуха, Дж/кг·с; t_n – перепад температур при прохождении воздуха через нагреватель, °С.

Зная общий расход воздуха G_t и характеристики технических средств для его нагрева, можно определить их потребное количество:

$$N_b = \frac{G_t}{G_{вн}}, \quad (6)$$

где G_t – потребный расход воздуха, кг/с; $G_{вн}$ – номинальная производительность одного вентилятора, кг/с.

Если в отсечный узел входит один вентилятор и один нагреватель, общая мощность, потребляемая отсечными узлами вентиляции для подогрева воздуха помещений, будет равна

$$N_{тн} = N_{в} (N_{вент} + N_{нагр}), \quad (7)$$

где $N_{вент}$ – номинальная мощность одного вентилятора, Вт; $N_{нагр}$ – номинальная мощность одного электрического нагревателя воздуха, Вт.

Тепловые потоки через теплоизоляционную конструкцию корпуса корабля определяются на основе среднемесячных температур, соответственно мощность технических средств, затрачиваемая на компенсацию этих потоков, также будет представлять собой среднемесячную за τ_k -й месяц величину:

$$N_{элк} = N_{тнк} + N_{тхк}, \text{ Вт}. \quad (8)$$

При этом общее потребление электроэнергии $N_{эл}$ за любой $\tau_{сл}$ -й год срока службы составит

$$N_{эл} = 24 \times 365 \times \sum_{\tau_k=1}^{\tau_k=12} N_{элк}, \text{ кВт·ч}. \quad (9)$$

За весь срок службы корабля потребление электроэнергии

$$N_{тсл} = \sum_{\tau_{сл}} N_{эл}, \text{ кВт·ч}. \quad (10)$$

С использованием приведенной методики выполнены расчеты годовых затрат электроэнергии на компенсацию потоков тепла через теплоизоляционные конструкции корпусов кораблей, базирующихся в Баренцевом (рис. 1, а) и в Черном (рис. 1, б) морях при различных значениях коэффициента теплопроводности $K_{он}$. Результаты представлены в виде диаграмм на рис. 1.

Анализируя информацию, представленную на рис. 1, можно сделать выводы, аналогичные ранее отмеченным для тепловых потоков. Так, при одной и той же толщине изоляции вследствие ухудшения коэффициента теплопроводности с течением времени соответственно увеличиваются и затраты электроэнергии. Кроме того, при большем значении $K_{он}$ (т. е. при большем времени нахождения корабля в море) аналогичные энергетические затраты также увеличиваются.

Значение $N_{эл}$ за соответствующий год эксплуатации корабля с местом базирования в Баренцевом море больше, что объясняется климатическими условиями этого региона (низкой температурой окружающей среды t_{cp}), а также большей площадью поверхности F_t .

В графическом виде зависимости $N_{тсл}$ от толщины изоляции, значения $K_{он}$ и района базирования корабля представлены на рис. 2.

Из анализа информации, представленной на рис. 2, следует, что пропорционально увеличению толщины изоляции корпуса корабля происходит снижение затрат электроэнергии $N_{\text{тсл}}$ на компенсацию утечек/притока тепла. Степень снижения затрат по мере увеличения толщины изоляции приблизительно одинаково для обоих рассматриваемых районов базирования кораблей.

На основе соотношения годовых затрат электроэнергии на компенсацию потоков тепла через теплоизоляционную конструкцию корпуса корабля с использованием разработанной методики можно проводить расчеты эффективности применения различных изоляционных материалов. На рис. 3 и рис. 4 представлены результаты расчетов значения годовых затрат электроэнергии на компенсацию потоков тепла для изоляционных материалов Rockwool [5], выполненного на основе базальтового волокна, и традиционно используемого ПТЭ-150 для различных значений $K_{\text{он}}$ при базировании корабля в Баренцевом (рис. 3) и Черном (рис. 4) морях.

Из анализа диаграмм, представленных на рис. 3 и рис. 4, можно сделать вывод о том, что использование изоляционного материала Rockwool по сравнению с традиционно используемым материалом ПТЭ-150 позволяет снижать годовые затраты электроэнергии на компенсацию потоков тепла через теплоизоляционную конструкцию корпуса кораблей примерно на 25%.

Учитывая, что генерация электроэнергии на корабле, как правило, производится за счет работы корабельных технических средств (за исключением случаев стоянки кораблей у причальной стенки и подачи электроэнергии с берега), оценку эффективности использования теплоизоляционного материала Rockwool более целесообразно выполнить на примере годовой экономии топлива, необходимого для обеспечения работы корабельных технических средств. Для оценки приняты значения удельного расхода дизельного топлива $b_e \approx 0,225$ кг/(кВт·ч) при низшей теплотворной способности топлива $Q_{\text{н}}^{\text{д}} = 42700$ кДж/кг.

Посчитав годовые затраты электроэнергии на компенсацию потоков тепла через теплоизоляционную конструкцию корпуса корабля, можно рассчитать годовые затраты топлива в тоннах с использованием зависимости

$$V_{\text{год}}^{\text{топл}} = \frac{N_{\text{эл}} \times b_e}{1000} \quad (11)$$

Годовую экономию финансовых средств в рублях на компенсацию по-

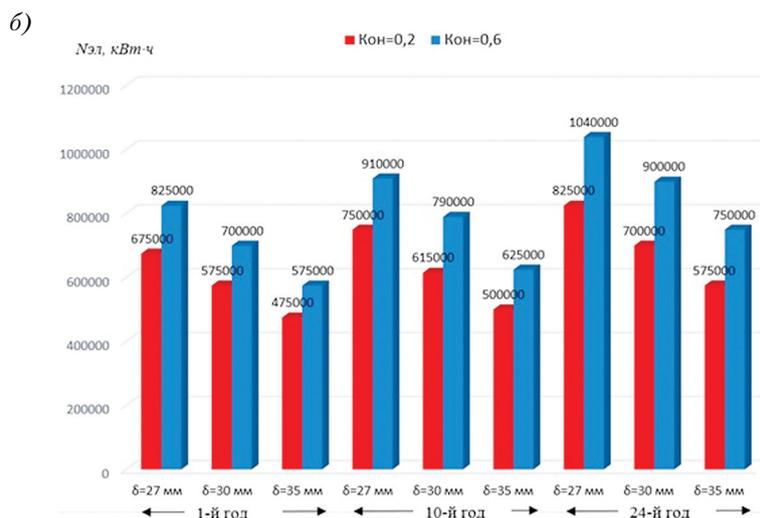
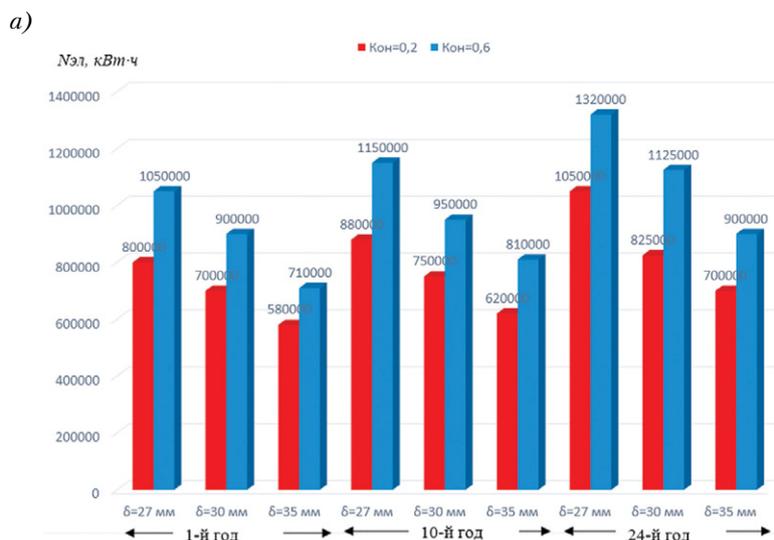


Рис. 1. Затраты электроэнергии на компенсацию потоков тепла через теплоизоляционную конструкцию корпуса корабля с течением времени при стоянке в Баренцевом (а) и Черном (б) морях

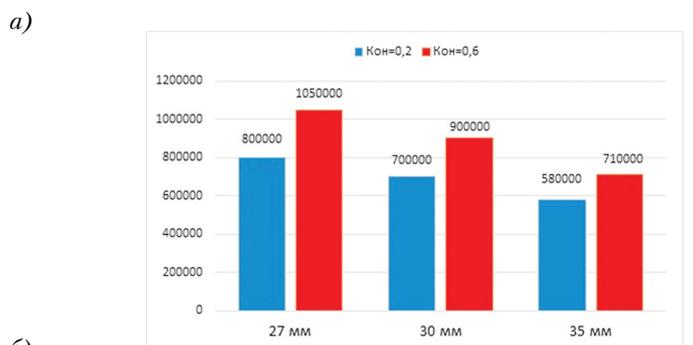
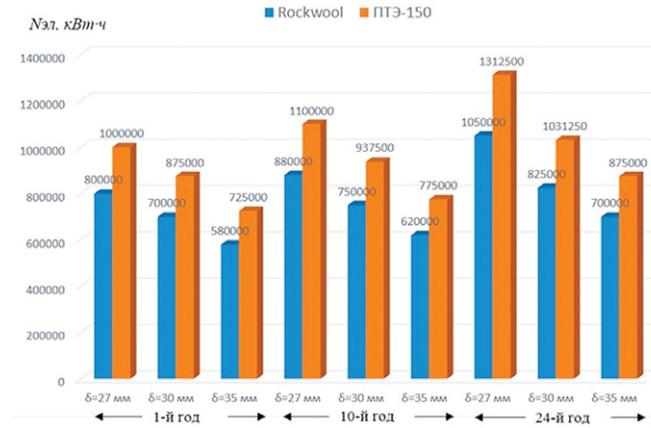


Рис. 2. Изменение затрат электроэнергии на компенсацию потоков тепла через теплоизоляционную конструкцию корпуса корабля с изменением толщины изоляции при базировании корабля в Баренцевом (а) и Черном (б) морях

а)



б)

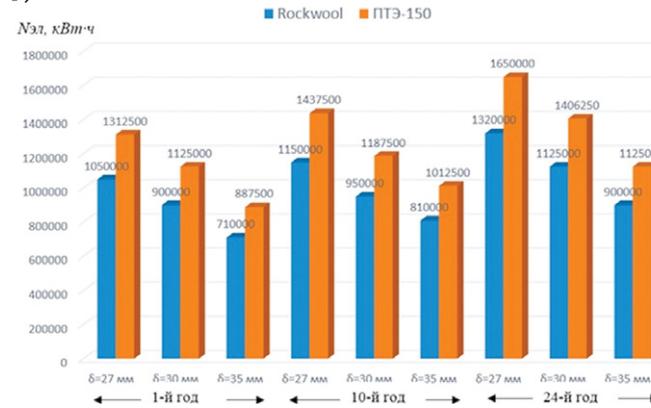
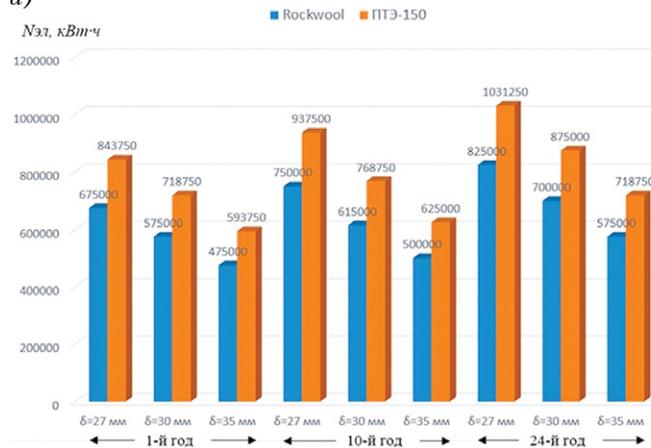


Рис. 3. Соотношение затрат электроэнергии на компенсацию потоков тепла через теплоизоляционную конструкцию корпуса корабля с изменением толщины изоляции при базировании в Баренцевом море для $K_{OH} = 0,2$ (а) и $K_{OH} = 0,6$ (б)

а)



б)

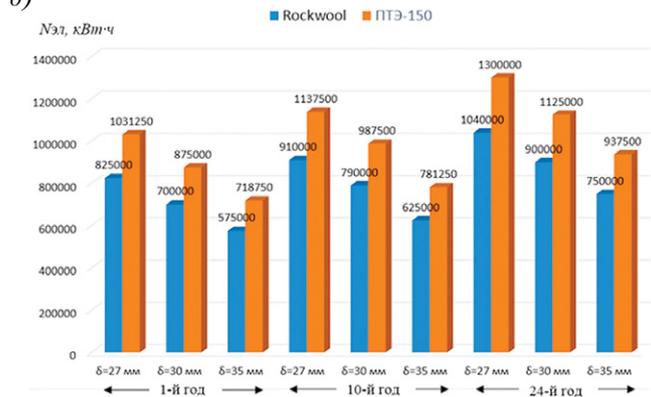
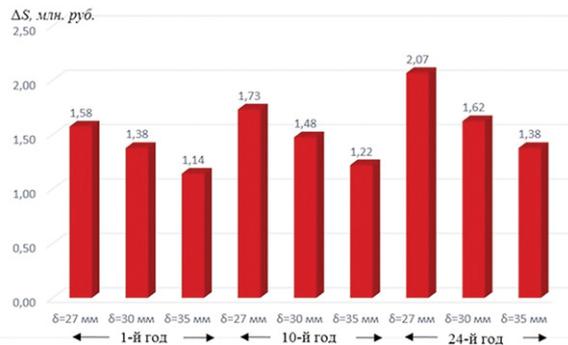


Рис. 4. Соотношение затрат электроэнергии на компенсацию потоков тепла через теплоизоляционную конструкцию корпуса корабля с изменением толщины изоляции при базировании в Черном море для $K_{OH} = 0,2$ (а) и $K_{OH} = 0,6$ (б)

а)



б)

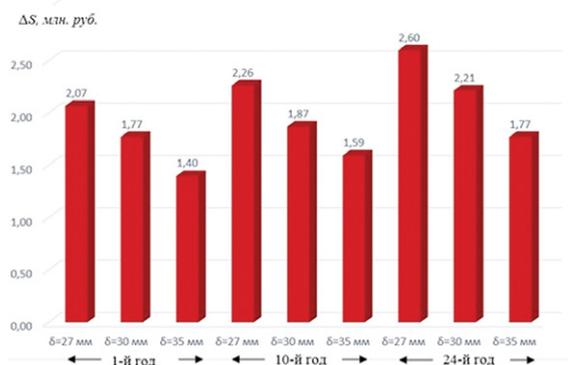
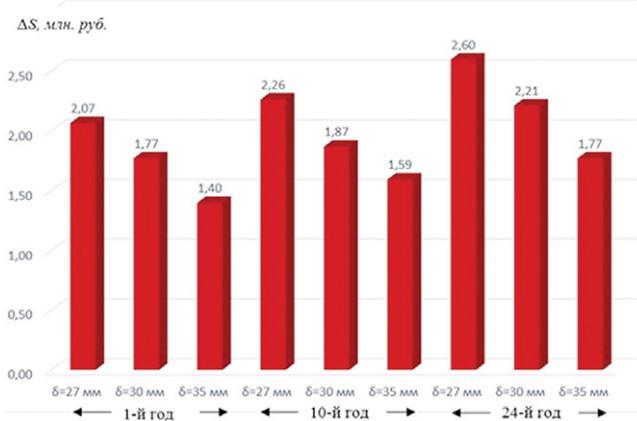


Рис. 5. Годовая экономия затрат на топливо для компенсации потоков тепла через теплоизоляционную конструкцию корпуса корабля при базировании в Баренцевом море для $K_{он} = 0,2$ (а) и $K_{он} = 0,6$ (б)

а)



б)

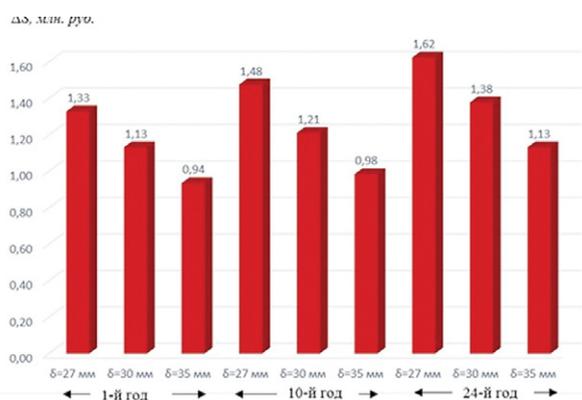


Рис. 6. Годовая экономия затрат на топливо для компенсации потоков тепла через теплоизоляционную конструкцию корпуса корабля при базировании в Черном море для $K_{он} = 0,2$ (а) и $K_{он} = 0,6$ (б)

токов тепла через теплоизоляционную конструкцию корпуса корабля можно рассчитать по формуле

$$\Delta S = \Delta B_{год}^{топл} \times S, \quad (12)$$

где S – оптовая цена дизельного топлива (в июле 2021 г. $S \approx 35\,000$ руб./т).

Результаты расчетов годовой экономии финансовых средств на компенсацию потоков тепла через теплоизоляционную конструкцию корпуса корабля за счет использования теплоизоляционного материала Rockwool при базировании корабля в различных районах базирования и интенсивности его использования представлены на рис. 5 и рис. 6.

Из анализа информации, представленной на рис. 5 и рис. 6, можно сделать вывод о том, что использование изоляционного материала на основе базальтового волокна Rockwool по сравнению с традиционно используемым материалом ПТЭ-150 позволяет снижать годовые затраты на топливо в диапазоне 1,0–2,6 млн. руб. в зависимости от толщины изоляции, срока службы корабля, интенсивности использования по прямому назначению и района базирования.

ВЫВОДЫ

Таким образом, представленную аналитическую модель исследования эффективности теплоизоляционной конструкции корпуса корабля с учетом срока его службы, интенсивности использования по прямому назначению и района базирования, а также толщины изоляции можно использовать в конструкторских бюро для оценки соотношения затрат на компенсацию тепловых потоков через корпуса кораблей в течение их срока службы, для различных теплоизолирующих материалов. Также можно сделать вывод о целесообразности использования в качестве изоляционного материала на основе базальтового волокна Rockwool вместо традиционно используемого ПТЭ-150.

ЛИТЕРАТУРА

1. Нестеров Ю. Ф. Теория и расчет судовой тепловой изоляции. – Л.: Судостроение, 1973.
2. РД5.3051–83. Руководящий документ. Изоляция тепловая судовых помещений. Нормы и правила проектирования.
3. Розенфельд Л. М., Ткачев А. Г. Холодильные машины и агрегаты. – М.: Госторгиздат, 1955.
4. Технические условия. Машина холодильная морская винтовая МХМВ-0,1. – Омск: НТК «Криогенная техника», 2004.
5. Технические условия на звукоизоляционные маты БЗМ-К. – СПб.: ЦНИИ КМ «Прометей», 1999. ■

В статье [1] сотрудников АО «ЦКБ МТ «Рубин» приведен материал по определению характеристик водометного движителя и параметров гидродинамического следа от атомных подводных лодок (АПЛ). Авторы этой работы с использованием суперкомпьютера на трехмерной сетке, содержащей около 100 млн. конечных объемов, и программного комплекса Ansys Fluent реализовали численное интегрирование осредненных по Рейнольдсу уравнений Навье–Стокса. Расчет одного варианта занял двое суток.

Не имея в своем распоряжении суперкомпьютера, авторы настоящей статьи разработали алгоритм и написали программу на языке Mathcad-15. В данной статье рассмотрен только тепловой след от кильватерной струи американской АПЛ типа «Огайо» [2]. Как известно, факт обнаружения подводных лодок – главная задача при борьбе с ними [3]. Основное преимущество подводных лодок – скрытность. Энергетическая установка АПЛ по термодинамическим понятиям второго закона обладает определенным КПД преобразования теплоты в работу. При этом предполагается наличие горячего (ядерный реактор) и холодного (заборная вода) источников теплоты. КПД нерегенеративных ЯЭУ подводных лодок достаточно низкий и на номинальном режиме не превышает 20% [2]. Поэтому колоссальная часть вырабатываемой ядерным реактором тепловой энергии теряется в заборной воде и ведет к ее нагреву вблизи АПЛ.

ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ В ОСЕСИММЕТРИЧНОЙ ЗАТОПЛЕННОЙ СТРУЕ

Вид осесимметричной затопленной струи на большом удалении от выходного патрубка представлен на рис. 1.

Характер распределения избыточных величин температуры в затопленной струе аналогичен характеру распределения скорости [4]. В ядре постоянной скорости начального участка струи температура постоянна и равна температуре воды на нем. На основном участке по мере удаления от выходного патрубка температурные границы струи расширяются, тогда как избыточная температура на оси потока убывает.

Распределение осредненной температуры в изобарической слабо подогретой осесимметричной турбулентной струе несжимаемой жидкости определяется решением уравнения энергии

$$\rho C_p \left(U \frac{\partial T}{\partial x} + u \frac{\partial T}{\partial y} \right) = \frac{1}{y} \frac{\partial}{\partial y} (y q_T), \quad (1)$$

где $q_T = -\rho C_p u' \cdot T'$ – плотность теплового потока; U – осевая скорость струи; u – радиальная скорость потока в струе.

АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ СПУТНОЙ СТРУИ ПОДВОДНОГО ОБЪЕКТА

*Н.С. Вахрушина, аспирант,
А.Н. Дядик, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой, СПбГМТУ,
контакт. тел. +7 (981) 767 7237, +7 (911) 299 9736*

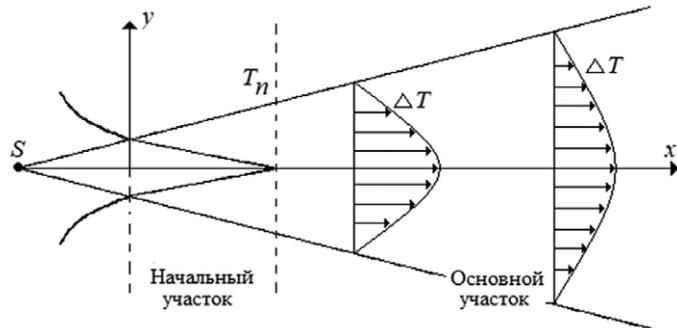


Рис. 1. Схема осесимметричной затопленной струи с основными параметрами

Осевую и радиальную скорости в струе можно определить при помощи функции тока ψ следующим образом

$$U = \frac{1}{y^i} \frac{\partial \psi}{\partial y}; \quad u = -\frac{1}{y^i} \frac{\partial \psi}{\partial x}. \quad (2)$$

Величину плотности теплового потока представим в виде, аналогичном касательному напряжению трения:

$$\tau_r = \rho l_v^2 \left| \frac{\partial U}{\partial y} \right| \frac{\partial U}{\partial y} = \mu_T \left| \frac{\partial U}{\partial y} \right|; \quad (3)$$

$$q_T = \lambda_T \frac{\partial T}{\partial y} = C_p a_T \frac{\partial T}{\partial y},$$

где $a_T = \rho l_q \left| \frac{\partial U}{\partial y} \right|$ – коэффициент турбулентной температуропроводности; l_v – длина струи, где происходит смешение жидкости; l_q – длина струи, где происходит перенос теплоты; μ_T – динамический коэффициент турбулентной вязкости.

Аналогично с молекулярным критерием Прандтля $Pr = \mu_T C_p / \lambda_T$ введем турбулентный критерий Прандтля

$$Pr_T = \frac{\mu_T C_p}{\lambda_T} = \frac{l_v}{l_q}. \quad (4)$$

Турбулентный критерий Прандтля по экспериментальным данным для начального участка осесимметричной струи составляет величину $\sim 0,5$, а для основного $\sim 0,75-0,8$. Подставив в уравнение для коэффициента турбулентной температуропроводности величину $l_q = l_v / Pr_T$, получим выражение для плотности потока теплоты в виде

$$q_T = -\rho C_p \frac{l_v^2}{Pr_T} \frac{\partial U}{\partial y} \frac{\partial T}{\partial y}. \quad (5)$$

В уравнении (5) учтено, что в осесимметричной струе $\frac{\partial U}{\partial y} < 0$. С учетом выражения (5) уравнение энергии (1) запишется так:

$$U \frac{\partial T}{\partial x} + u \frac{\partial T}{\partial y} = -\frac{1}{y} \frac{l_v^2}{Pr_T} \left(y \frac{\partial U}{\partial y} \frac{\partial T}{\partial y} \right). \quad (6)$$

Уравнению (6) соответствуют граничные условия для основного участка струи

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial T}{\partial y} = 0 \text{ при } y = 0; \\ T = T_\delta \text{ при } y = \delta, \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

где T_δ – температура на границе струи и окружающей жидкости; δ – толщина струи от центра к границе с окружающей жидкостью (радиус внешней границы струи).

Поскольку критерий Прандтля в нашем случае близок к единице, то различием толщин теплового и гидродинамического слоев в первом приближении можно пренебречь. Заменяя в уравнении (5) T на $\Delta T = T - T_\delta$ и l_v^2 на произведение $c^2 x^2$, окончательно получим

$$U \frac{\partial \Delta T}{\partial x} + u \frac{\partial \Delta T}{\partial y} = -\frac{1}{y} \frac{c^2 x^2}{Pr_T} \frac{\partial}{\partial y} \left(y \frac{\partial U}{\partial y} \frac{\partial \Delta T}{\partial y} \right) \quad (8)$$

при граничных условиях

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \Delta T}{\partial y} = 0 \text{ при } y = 0; \\ \Delta T = 0 \text{ при } y = \delta. \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

Полагая, что наряду с подобием профилей скорости на основном участке струи наблюдается также подобие профилей избыточной температуры, а именно

$$\frac{\Delta T}{\Delta T_m} = \theta(\varphi), \quad (10)$$

аргумент $\varphi = \frac{y}{a \cdot c}$; $\Delta T_m = T_m - T_\delta$,

где T_m – максимальная температура струи в центре; a, c – эмпирические постоянные.

Характер зависимости избыточной температуры от величины максимальной температуры определится с использованием условия сохранения избыточной энтальпии в струе, а именно:

Характеристики затопленной осесимметричной струи жидкости

Характеристика струи	Численные результаты расчета параметров струи			
Расстояние по оси струи x , м	1			
Радиус струи $R(x)$, м	0,11			
Максимальная скорость на оси струи на расстоянии x : $u_{\max}(x)$, мс ⁻¹	0,89			
Точки радиуса струи на расстоянии x : $r(x)$, м	0,0275	0,055	0,0825	0,11
Величина скорости струи в расчетных точках по радиусу: $\bar{u}_x(x, r)$, мс ⁻¹	0,845	0,73	0,58	0,445

$$2\pi r C_p \int_0^{\sigma} U \Delta T_y \cdot dy = Q = \text{const.} \quad (11)$$

На основном участке струи можно использовать преобразование автосимметричности в обычной форме для осевой скорости: $U/U_m = F(\varphi)$. Тогда с использованием зависимости (10) запишем

$$2\pi r C_p a^2 x^2 U_m \Delta T_m \int_0^{\varphi_{\text{ас}}} F' \theta \cdot d\varphi = Q. \quad (12)$$

Величина максимальной скорости струи на оси [5]

$$U_m = \frac{n}{a^2 x}, \quad (13)$$

где n определяется по формуле [5]

$$n = \frac{U_0 a r_0}{\left(2 \int_0^{\varphi_{\text{ас}}} \frac{F'^2}{\varphi} d\varphi\right)^{1/2}}. \quad (14)$$

С учетом равенств (13), (14) из уравнения (12) можно получить величину избыточной температуры в виде

$$\Delta T_m = \frac{k}{x}, \quad (15)$$

где

$$k = \frac{Q}{2\pi r C_p n \int_0^{\varphi_{\text{ас}}} F' \theta \cdot d\varphi} = \frac{U_0 r_0^2 \Delta T_0}{2n \int_0^{\varphi_{\text{ас}}} F' \theta \cdot d\varphi} = \text{const.} \quad (16)$$

В формуле (16) U_0 , $\Delta T_0 = T_0 - T_8$ – скорость и избыточная температура на срезе выходного патрубка.

С использованием зависимости (2), а также формул (10) и (15) равенство (16) преобразуется к виду [6]

$$\text{Pr}_{\tau} (F \cdot \theta)' = \left[\varphi \left(\frac{F'}{\varphi} \right)' \theta' \right]. \quad (17)$$

Выполнив ряд преобразований, получим

$$\theta(\varphi) = \left(\frac{F'(\varphi)}{\varphi} \right)^{\text{Pr}_{\tau}} \quad \text{или} \quad \frac{\Delta T}{\Delta T_m} = \left(\frac{U}{U_m} \right)^{\text{Pr}_{\tau}}. \quad (18)$$

В табл. 1 приведены результаты расчета величины скорости в нескольких точках по радиусу в сечении на расстоянии x от выходного патрубка.

Как следует из рассмотрения приведенных в табл. 1 данных, величины скорости струи в расчетных точках соответствуют ее профилю, приведенному на рис. 1.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ ПАРАМЕТРОВ ЗАТОПЛЕННОЙ СТРУИ

С использованием приведенных зависимостей были составлен алгоритм и написана программа на языке Mathcad-15, позволившая выполнить варианты расчеты с целью определения длины кильватерной струи за иностранной АПЛ, где происходит выравнивание температур в струе и забортной воде. Кроме того, определено время этого выравнивания температур.

Алгоритм предусматривал исследование кильватерной струи на малом ходу АПЛ, когда скорости подводного движения находятся в диапазоне от 3 до 9 уз. Известно, что из-за особенностей конструкции корпуса и соотношения площадей горизонтальных рулей АПЛ плохо управляется на скоростях менее 3 уз, что и предопределило установление нижней границы скоростного интервала, в то же время при скоростях свыше 8 – 9 уз возможно появление акустических шумов, что также нежелательно по условиям скрытности.

За исследуемую подводную лодку была выбрана АПЛРБ «Огайо» длиной 170 м и диаметром легкого корпуса 13 м

[2]. Алгоритм расчета составлен таким образом, что в исходных данных можно задавать любую скорость движения АПЛ. Граничным условием здесь установлена длина кильватерного следа, ограниченная величиной в 2000 м. Если при выборе скорости достигается эта длина кильватерной струи, то в программе скорость уменьшается на 0,5 уз. Это позволяет сделать вывод, что маломощный ход АПЛ типа «Огайо» ограничен 9 уз по параметру длины кильватерной струи.

В табл. 2 приведены результаты расчета по этой модели.

На рис. 2 показаны результаты расчета в графическом виде для температуры забортной воды +25 °С.

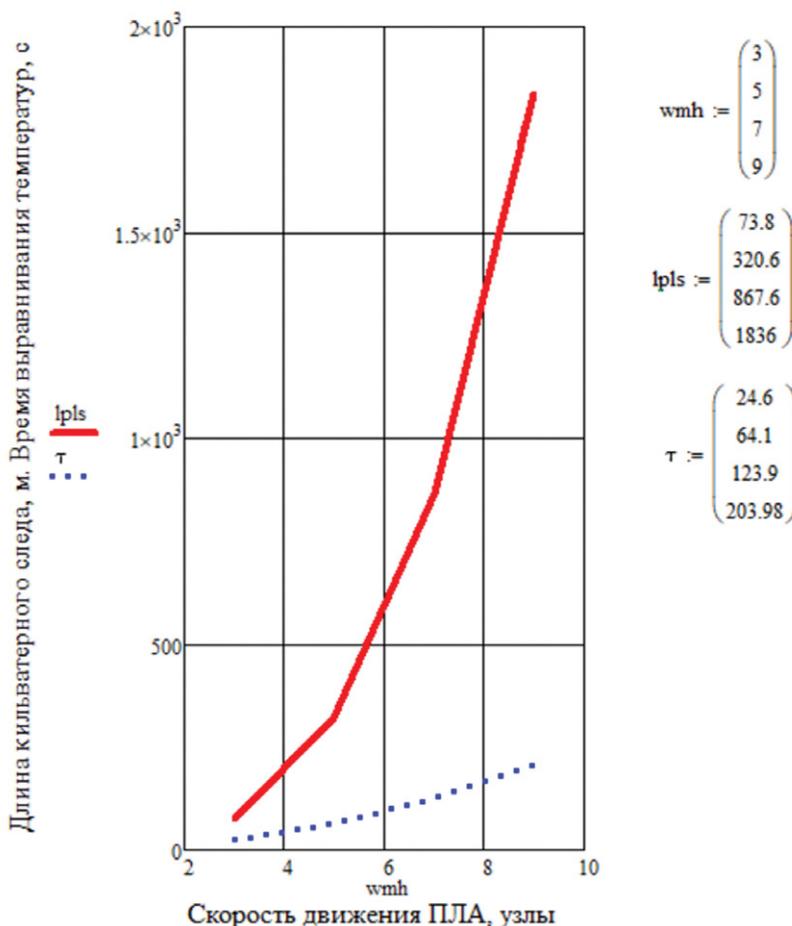


Рис. 2. Изменение параметров кильватерной струи в функции скорости движения иностранной атомной подводной лодки для температуры забортной воды +25 °С

Результаты расчета по программе

Характеристика	Значения при температуре забортной воды, °С			
	5	15	25	32
При скорости движения иностранной АПЛ 3 уз				
Длина кильватерной струи, м	69,3	71,4	73,8	75,5
Время исчезновения теплового следа, с	23,1	23,8	24,6	25,2
При скорости движения иностранной АПЛ 5 уз				
Длина кильватерной струи, м	301,2	310,5	320,6	328,3
Время исчезновения теплового следа, с	60,24	62,1	64,1	65,7
При скорости движения иностранной АПЛ 7 уз				
Длина кильватерной струи, м	815	840	867,6	888,4
Время исчезновения теплового следа, с	116,4	120	123,9	126,9
При скорости движения иностранной АПЛ 9 уз				
Длина кильватерной струи, м	1725	1778	1836	1880
Время исчезновения теплового следа, с	191,6	197,5	203,98	208,9

На основе результатов проведенных расчетов можно сделать вывод об относительно слабом влиянии температуры забортной воды на длину кильватерной струи и время исчезновения теплового следа по сравнению со скоростью АПЛ. По мере увеличения температуры забортной воды длина кильватерного следа и время его исчезновения растут.

На рис. 3 изображена диаграмма

изменения длины кильватерной струи, когда полностью выравнивается температура в струе и забортной воде.

На рис. 4 изображена диаграмма изменения времени исчезновения теплового следа ($\Delta T = 0$) от движущейся АПЛ в зависимости от температуры забортной воды и скорости иностранной АПЛ. Диаграммы рис. 3 и рис. 4 построены по данным табл. 2.

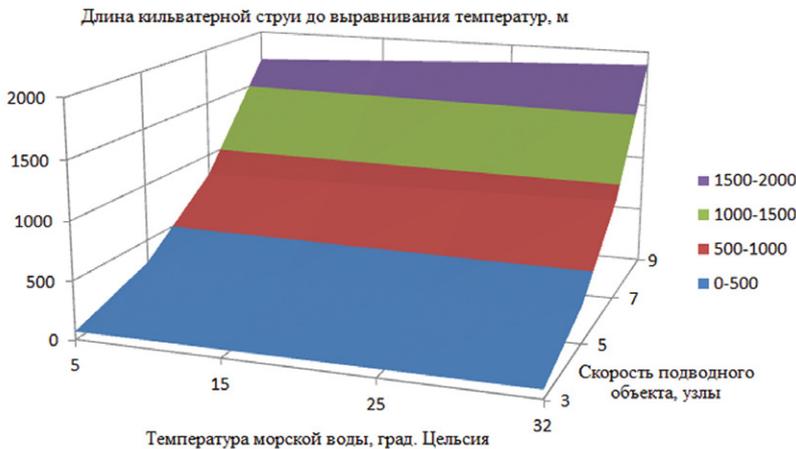


Рис. 3. Диаграмма изменения длины кильватерной струи, когда полностью выравниваются температуры в струе и забортной воде ($\Delta T = 0$)

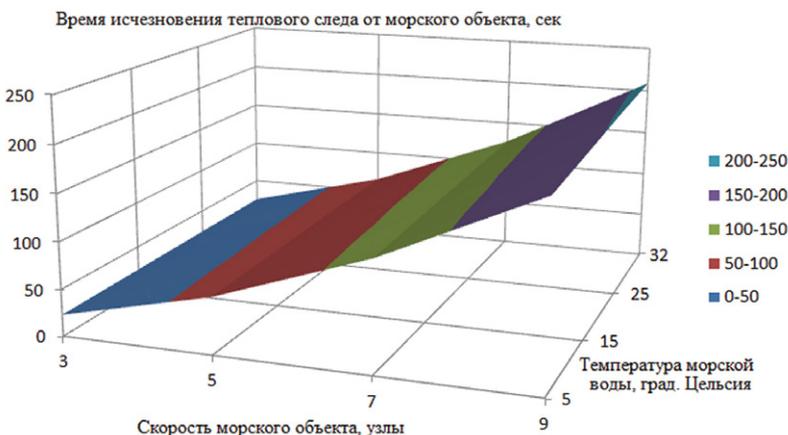


Рис. 4. Диаграмма зависимости времени исчезновения теплового следа от иностранной АПЛ в секундах в функции скорости движения АПЛ и температуры забортной воды ($\Delta T = 0$)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изложенный метод определения перепада температур в кильватерной струе и окружающей морской воде в виде математических зависимостей для анализа характеристик затопленной струи решается аналитически с некоторыми приближениями, в частности рассматривается стационарное автомодельное течение. Другой способ решения поставленной задачи – это решение с использованием программного комплекса Ansys Fluent на суперкомпьютере. Поэтому полученные уравнения решались численно с использованием приближенных зависимостей для конвективного теплообмена закрученной кильватерной струи и окружающей массы забортной воды.

Из приведенных расчетных материалов следует, что с увеличением скорости подводного объекта на маломощном ходу растет и длина кильватерного теплового следа. Особенно заметно это проявилось, начиная со скорости подводного хода 7 уз. Вместе с длиной теплового кильватерного следа увеличивается и время до выравнивания температур в струе и окружающей забортной воде, когда $\Delta T = 0$. Причем температура забортной воды, хотя и влияет на длину кильватерной струи, однако не так заметно, как скорость подводного хода АПЛ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сухоруков А. Л., Чернышев И. А. Определение характеристик водометного движителя и параметров гидродинамического следа за подводным объектом на основе методов вычислительной гидродинамики // *Фундаментальная и прикладная гидрофизика*. – 2020. – Т. 13. – № 1. – С. 56 – 72.
2. Дядик А. Н., Сурич С. Н. Энергетика атомных судов. – СПб.: Судостроение, 2014. – 477 с.
3. Стефаник Том. Неакустические методы обнаружения подводных лодок. 1988. – <https://www.jstor.org/stable/24989015>.
4. Балакин А. В., Богданов Д. С., Дядик А. Н., Ларионов М. В., Сурич С. Н. Расчет теплофизических и кинетических параметров затопленной двухфазной струи // *Системы управления и обработки информации: научн.-техн. сб./ АО «Концерн «НПО «Аврора»*. – 2022. – Вып. 3 (58). – С. 5 – 10.
5. Абрамович Г. Н. и др. Теория турбулентных струй. – М.: Наука, 1984. – 715 с.
6. Кильдибаева С. Р. Особенности истечения затопленной струи // *Современные научные исследования и инновации*. – 2017. – № 12. – [Электронный ресурс]. URL: <http://web.snauka.ru/issues/2017/12/85123> (Дата обращения: 14.01.2021). ■

В современных реалиях предприятиям судостроительной отрасли, как заводам, так и конструкторским бюро, критически важно сохранять высокую конкурентоспособность, в том числе за счет оптимизации внутренних производственных процессов. Одним из способов решения этой задачи является улучшение автоматизации на базе программы 1С.

АО «Северное проектно-конструкторское бюро» ориентировано на проектирование боевых надводных кораблей и выпуск конструкторской документации. Бюро тесно сотрудничает с иностранными заказчиками. В организационной структуре бюро существует подразделение, ответственное за письменный и устный перевод на разные языки, а также проверку и корректировку переводов технической документации – это отдел Внешнеэкономической деятельности №15. Поскольку весь объем конструкторской документации, предназначенный для передачи инозаказчику, поступает в отдел ВЭД, уровень занятости переводчиков чрезвычайно высок. С целью сокращения времени на выполнение рутинных задач, не связанных с переводом или проверкой документации, было принято решение оптимизировать вспомогательные рабочие процессы.

Выбранный проект улучшения, уже осуществленный в отделе ВЭД, – это подсистема «Переводы», созданная на базе 1С, которая обеспечивает автоматизацию исполнения однообразных делопроизводственных задач не только в указанном отделе, но и в перспекти-

ЦИФРОВИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА В АО «СЕВЕРНОЕ ПКБ»

*П.А. Лукашевич, переводчик 2-й категории отдела ВЭД,
АО «Северное проектно-конструкторское бюро»,
контакт. тел. (812) 702 3005*

ве во всей организационной структуре бюро.

До ввода в эксплуатацию подсистемы «Переводы» основная проблема, с которой сталкивались переводчики, заключалась в том, что для регистрации поступающей документации специалисту отдела ВЭД необходимо было каждый раз вручную вводить все данные по входящей служебной записке, отвлекаясь от своих первоочередных обязанностей.

Данный процесс требовал предельного внимания и аккуратности. Время на заполнение таблицы (табл. 1) в среднем занимало около 1,5 часа в день при нормальной ежедневной нагрузке 3–5 часов в день и максимальной нагрузке, в зависимости от количества документов в партии. Как известно, конструкторская документация на строительство корабля поступает заказчику в составе отдельных партий или этапов. На сдачу каждого этапа отводится несколько месяцев, в ходе которых необходимо передать определенное количество документов точно в срок. Например, в партии может быть от 1500 и более документов, каждый из которых следует зарегистрировать

с учетом следующих данных: номер служебной записки, дата поступления документа, формат листов, заказчик, отдел заказчика, исполнитель перевода/проверки, срочность исполнения, примечание к заданию.

При нормальном темпе работы конструкторы своевременно присылают документы на перевод и проверку в течение всего этапа, однако в непредвиденных ситуациях или случаях форс-мажора может произойти так, что большая часть документации будет передана в работу в короткий срок. При этом существенная часть рабочего времени отводится на регистрацию. В результате образуется затратный по времени процесс мониторинга входящих заявок в отдел ВЭД и заполнения базы данных вручную, что может привести к пиковой нагрузке и многочасовой переработке переводчиков.

Ручной ввод всей входящей информации имеет ряд существенных недостатков. Например, затраты времени на поиск и обработку информации, ошибки, отсутствие единой базы данных, доступной для руководства и, как следствие, сложность отслеживания выполнения заданий.

Таблица ведения учета

Таблица 1

№ С/з и дата	НАЗВАНИЕ ДОКУМЕНТА	ФОРМАТ	ЛИСТОВ	ЗАКАЗЧИК	ОТДЕЛ	ИСПОЛНИТЕЛЬ	ВЫПОЛНЕНО	СРОЧНОСТЬ	ПРИМЕЧАНИЕ
513/8.24 от 10.01.2024	11356.360285.426G	doc	14	Колгунов ИА	513			этап 3.1.2	русский текст помечен желтым
31/28.24 от 15.01.2024	<ul style="list-style-type: none"> • 11356.363464.443Г + СБ • 11356.363464.796Г • 11356.363464.797Г • 11356.363464.787Г + СБ • 11356.363464.798Г • 11356.363464.799Г • 11356.363464.408Г • 11356.363464.417Г • 11356.363464.418Г • 11356.362476.012Г-00 	doc,dwg		Черейская КВ	313	Козаченко		этап 2.5.3	перевод
524/85.24 от 19.01.2024	то, что надо переводить указано в файле Excel	doc,dwg	63	Алексеев ВД	524	Козаченко	05.02.2024	этап 2.5.3	перевод
34/39.24 от 18.01.2024	PMR-5067532-01_R01	pdf	1	Шаров АВ	343	Булавкина	05.02.2024	этап 2.5.3	перевод
522/100.24 от 22.01.2024	11356.360285.274G 11356.360285.275G 11356.360285.276G	doc,dwg		Юрченко ЕГ	522	Козаченко (лист оформления результатов)	23.01.2024	этап 3.2	проверка+перевод
11/63.24 от 22.01.2024	11356.360080.003G	doc		Динцер АИ	113			ЭД	проверка
513/165.24 от 22.01.2024	11356.360289.041E 11356.360289.041A_L2-9	doc,dwg	9	Хакман ДА	513	Козаченко	02.02.2024	Янтарь	проверка
522/111.24 от 23.01.2024	11356.364724.095Г, 11356.364724.096Г, 11356.364724.097Г, 11356.364724.098Г, 11356.364724.099Г,	doc,dwg	15	Степанова СВ	522	Сысоев	05.02.2024	этап 2.5.3	перевод

Для того чтобы минимизировать потери в процессе работы и исключить снижение качества переводимой документации, был проведен тщательный анализ культуры производства. В результате на основании работы отдела была поставлена цель максимально сократить время на регистрацию заявок, тем самым увеличив полезное время для непосредственных задач отдела, а именно – перевода технической документации на иностранные языки и осуществления проверки.

Идея была положительно воспринята руководством и одобрена к реализации. Для осуществления задуманного сотрудники отдела ВЭД в кооперации со специалистами отдела информационных технологий создали на базе 1С подсистему «Переводы». После проведения тестирования и внесения необходимых корректировок, связанных с функционированием,

подсистема была успешно введена в эксплуатацию. В настоящее время она решает следующие задачи:

1. Автоматическое создание и обновление единой базы с детальным отображением информации по входящим служебными запискам и статусу их исполнения.
2. Анализ объемов обрабатываемой информации.
3. Контроль объемов и сроков выполнения заданий руководством отдела.
4. Ответственность о выполненных переводах.
5. Автоматическая генерация подробного отчета в виде таблицы, что позволяет наглядно показать интенсивность поступления документов в ВЭД в течение этапа, а также посмотреть, сколько страниц различной документации было зарегистрировано на перевод, переведено и осталось перевести.

6. Доступ к информации не только для переводчиков, но и для других отделов АО «Северное ПКБ».

Подсистема «Переводы» предназначена для учета плановых и фактических данных перевода конструкторских документов в подразделении и на определенном этапе работ. Принцип работы следующий: данные конструкторских документов загружаются конструкторами по текущему этапу из единой информационной системы «Портал», в базе данных которой уже содержится необходимая информация: обозначение, формат, тип листа, количество листов. После определения объемов перевода в системе создается электронный документ «Заявка на перевод» и запускается бизнес-процесс согласования/исполнения. Переводчики отдела ВЭД получают комплект документов для обработки и приступают к своим первоочередным

Таблица 2

Отчет системы 1С

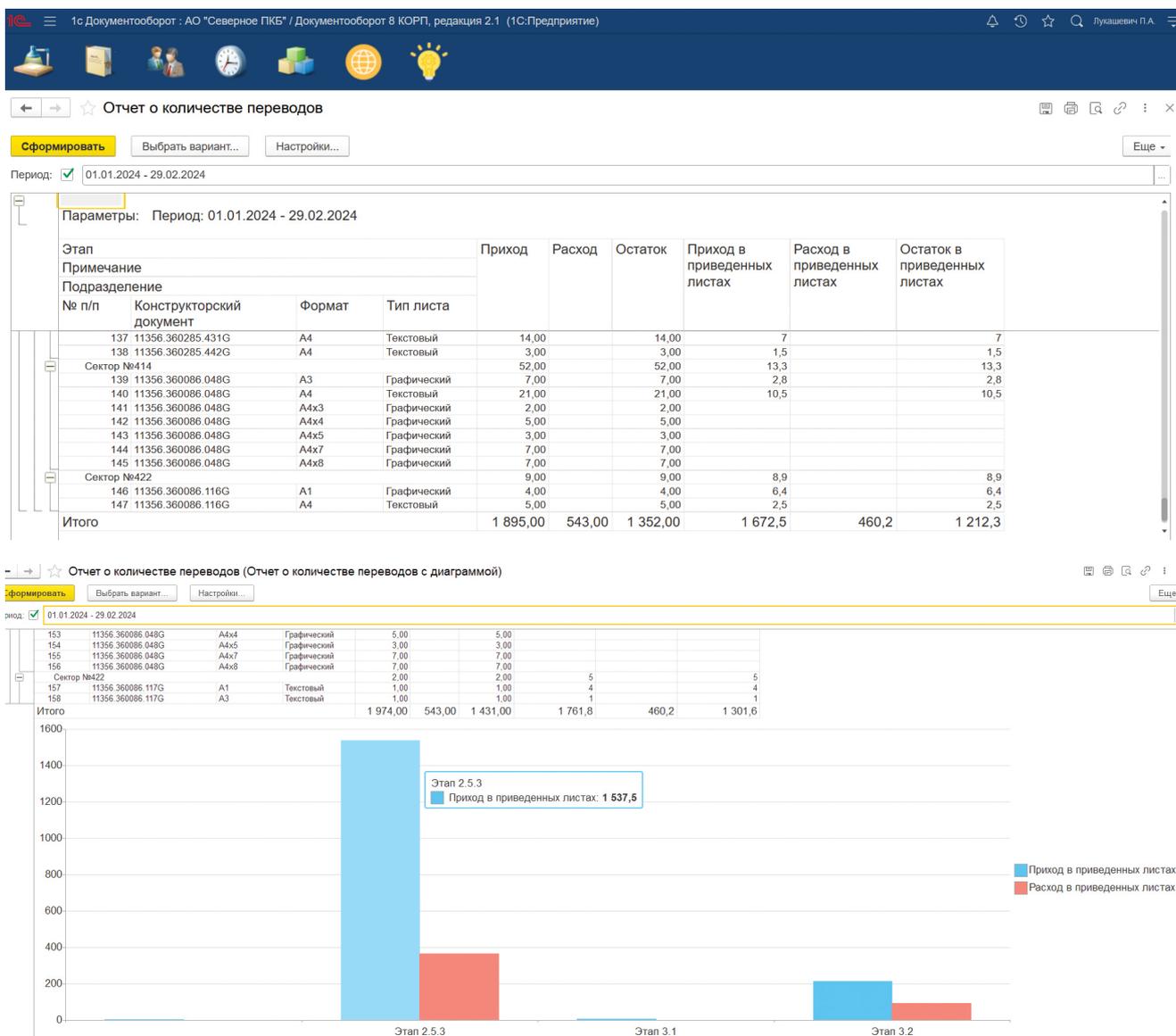


Рис. 1. Графическая форма отчета системы 1С

обязанностям, минуя процесс регистрации, поскольку входящие данные уже загружены и отображены в отчете. Подсистема автоматически сортирует задачи по переводу и проверке, группирует документацию по секторам и пересчитывает количество физических страниц в переводческие, используя соответствующие коэффициенты. Примечательно наличие функции вывода отчета в графическую плоскость с построением диаграммы или графика (табл. 2 и рис. 1), которые наглядно демонстрируют интенсивность и объем поступления документации, отображая соответствующий отдел, дату направления задачи, количество документов, дату исполнения.

Таким образом, интеграция подсистемы «Переводы» полностью исключает ручной ввод информации, автоматизирует отчетность сотрудников, статистику и учет поступающей и обрабатываемой документации. Становятся очевидными преимущества нововведения, в числе которых ключевыми являются: сокращение времени на регистрацию входящей информации; полное исключение возникновения печатных ошибок; повышение производительности труда; прозрачная отчетность и расширение возможностей контроля со стороны руководства; рост исполнительности и сознательности сотрудников отделов, вовлеченных в работу с иностранным заказчиком. Соответственно, следует отметить увеличение полезного времени на исполнение непосредственных задач отдела ВЭД и качества выполняемых работ.

Благодаря введению в действие подсистемы «Переводы» успешно достигнута цель по снижению и балансировке загрузки, сокращению трудоемкости выполнения задач переводчиков. Доказательством этому служат следующие показатели:

1. Время на регистрацию входящих задач, благодаря автоматизации – 0 минут.

2. Назначение задач и скачивание файлов – 10 минут в день.

3. Формирование отчета занимает 2 минуты, поскольку теперь это делают не сотрудники, а автоматизированная система на основании базы данных.

Суммарно внедрение подсистемы позволило повысить следующие производственные показатели отдела ВЭД:

– *эффективность*: ускорение процесса назначения заданий и отслеживания их выполнения руководителем подразделения, значительное сокращение рисков возникновения ошибок;

– *производительность*: увеличение производительности сотрудников отдела ВЭД за счет сокращения времени на обработку информации вручную (ведение таблиц учета);

– *надежность*: единая система позволяет исключить ошибки, связанные с ручной обработкой информации.

– *качество*: автоматизация контроля объемов обработанной и требующей обработки технической документации позволяет обеспечить своевременную сдачу этапов, исключить риск потери качества выполняемых работ по переводу и проверке;

– *контроль*: отображение всех данных в удобном и понятном формате в единой электронной базе, генерация отчетов и статистики, а также упрощение ведения учета и приведение таблиц к общему стилю, что делает работу с системой более удобной и простой для всех сотрудников, включая высшее руководство компании.

Особенно важно отметить *экономический эффект*, определенный специалистами отдела качества и стандартизации, по результатам введения подсистемы «Переводы»:

– сокращение времени на регистрацию задач: **950** часов в год;

– сокращение времени на отчетность: **80** часов в год;

– экономический эффект: около **1 млн рублей** в год.

Внедренное решение позволяет объективно оценивать объем входящих задач, грамотно распределять работу среди переводчиков отдела ВЭД, избегая переработок и срывов сроков.

Отдельно следует отметить особое внимание как со стороны отдела качества и стандартизации АО «Северное ПКБ», так и представителей АО «ОСК» к вышеописанной подсистеме «Переводы». Предложение по улучшению «Автоматизации процесса назначения заданий на перевод документации и отслеживания их выполнения» было признано высокоэффективным и лучшим в бюро. Впоследствии проект прошел все этапы отбора, попав в финал конкурса лучших предложений среди предприятий АО «ОСК».

Масштаб применения данного улучшения гораздо шире, чем может показаться с первого взгляда. Алгоритм подсистемы «Переводы» на базе 1С для автоматизации многих других бизнес-процессов, связанных с регистрацией документов и ведением учета исполнения задач, позволяет тем самым контролировать эффективность работы специалистов и повысить производительность компании. Например, система может быть использована для управления проектами, а также отслеживания решения задач, контроля сроков выполнения работ и управления ресурсами.

В перспективе применение подсистемы может быть распространено на руководство высшего звена. Система может быть настроена таким образом, чтобы автоматически отслеживать сроки выполнения работ в каждом отделе, тем самым проводить анализ производительности отделов с помощью автоматической генерации подробного отчета на основе получаемых данных. Это позволит создать единую базу отображения работы всех отделов компании, а высшее руководство получит полную картину о состоянии дел и сможет выстраивать стратегическое планирование в реалиях динамично меняющегося мира. ■

Согласно «Стратегии развития судостроительного производства до 2035 года» областями отставания российского судостроения от ведущих верфей мира в производственно-технологической сфере являются: использование современных управленческих технологий, которые направлены на повышение эффективности процессов планирования проектирования и производства; использование средств автоматизации и роботизации производства; работы по 3D-моделям судов и кораблей в тесном контакте с научно-исследовательскими и проектно-конструкторскими организациями. Так как одна из целей Стратегии – создание современной продукции судостроения за счет увеличения в 2,2 раза объема производства при одновременном росте в 2 раза производительности труда, то одним из приоритетных векторов оптимизации судостроительного производства становится разработка и внедрение наиболее передовых технологий на всех этапах жизненного цикла кораблей, судов и морской техники для сокращения времени их строительства [10].

Решение задач внедрения цифровых технологий в области судостроительного производства возможно в рамках производственной системы, которая представляет собой систему управления операционной эффективностью корпорации, ориентированной на максимизацию ценностей для потребителя путем улучшения бизнес-процессов и устранения потерь на каждом этапе жизненного цикла изделия. Основная задача производственной системы – создание системы управления реализацией проектов на основе концепции бережливого производства. Параметрами эффективности производственной системы являются безопасность, сроки, качество, затраты, производительность, сокращение потребности в инвестициях, вовлеченность и экономический эффект. Все действия, которые не относятся напрямую к производственному процессу и важны только для производителя (устранение дефектов, хранение и транспортировка продукции и т.п.), относят к потерям.

В 2007 г. Президент РФ В. В. Путин подписал указ о создании Объединенной судостроительной корпорации (АО «ОСК»), являющейся в настоящее время крупнейшей судостроительной компанией России. Одним из приоритетов АО «ОСК» является выполнение работы «точно в срок» [2, с. 3]. Цель такого подхода – организация эффективной системы выполнения работ в нужное время с использованием минимума оборудования, материалов и человеческих ресурсов. Следование рекомендациям специалистов производственной систе-

ОПТИМИЗАЦИЯ СУДОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА ПУТЕМ ВНЕДРЕНИЯ АЛЬБОМОВ ТРУБ

*М.Д. Мовчанова, аспирант СПбГМТУ,
Н.А. Беляков, инженер-технолог цеха № 22,
А.С. Недорезанюк, начальник БТП цеха № 22,
В.В. Трусов, зам. начальника цеха № 22,
АО «Адмиралтейские верфи»,
А.Б. Фомичев, д-р техн. наук, проф., и.о. зав. кафедры технологии судостроения СПбГМТУ, зам. ген. директора по науке АО «НПО Спецматериалов»,
movchanova.m@yandex.ru, trusov.vv@ashipyards.com, fomichev61@mail.ru
контакт. тел. +7 (981) 984 7868*

мы в рамках данного подхода позволит свести к минимуму потери во время изготовления продукции.

Потеря возникает при любом действии на всех уровнях организации, при осуществлении которого потребляются ресурсы, но ценность не создается [2, с. 3]. В концепции бережливого производства выделяют следующие виды потерь: перепроизводство, ненужные движения или перемещения, ненужная транспортировка, избыток запасов, дополнительная обработка, задержки, ожидания, брак [2, с. 14].

В данной статье предложен способ оптимизации судостроительного производства путем сокращения ненужных движений, лишних этапов обработки и перделки. «Ненужные движения», такие как поиск информации, документов, инструментов, длительные переходы за инструментами или материалами, лишние наклоны и приседания, чреватые потерями времени. К «лишним этапам обработки» относятся потери, связанные с выполнением большего объема работ, чем требуется заказчику (например, повторное выполнение операции).

Научно-технический прогресс XX в. стал отправной точкой применения систем автоматизированного проектирования. Быстрое развитие компьютерных технологий позволило разработать программное обеспечение для выполнения моделей в трехмерном пространстве [1, с. 52; 9, с. 82; 6, с. 42], благодаря которому судостроительный завод получает качественную документацию. Модели в трехмерном пространстве позволяют избежать пересечений судовых систем, оборудования и корпусных конструкций, а также с точностью выполнить строительство заказа.

Изготовление и монтаж трубопроводов, которые выполняются на протяжении всего этапа постройки судна, занимают от 15 до 30% общей трудоемкости этого процесса. Выполнение проектной организацией точных сборочных чертежей по судовым систе-

мам сокращает сроки моделирования шаблонов труб на строящемся заказе. Развитие трехмерного моделирования привело к созданию альбомов труб, по которым рабочий может изготавливать трубы по чертежу без похода на заказ. Альбом труб представляет собой вид конструкторской документации, в котором каждая позиция трубопровода представлена на отдельном листе, показана ее конфигурация во всех плоскостях, заданы ее размеры с точностью до 1 мм, а также углы поворота и изгиба с точностью до 1°. Как правило, в альбом занесены трубы диаметром свыше Ду50 (РД5 Р0005–93, п. 3.1.2.), так как трубы меньших диаметров выполняются по месту после монтажа насыщения корпусных конструкций, оборудования и смежных систем. Использование альбомов труб позволяет изготовить около 40% труб заранее [8, с. 22].

Если размеры труб, присоединяемых к механизмам и арматуре, неточны, применяют забойные трубы, изготавливаемые также по месту. В качестве забойных выбирают трубы несложной конфигурации с минимальным числом погибов без отрывков, расположенные в наиболее доступных для пригонки местах. Забойные трубы составляют 30% от общего количества трубопроводов (35% труб имеют диаметр свыше Ду50, 65% труб – менее или равный Ду50). Альбомы этих труб не составляют, так как эти трубы компенсируют допуски на отклонения по размерам и координатам, выявляемых при обработке, сборке, монтаже и т.д.

Проектные бюро для создания альбома труб используют трехмерную модель судна. При помощи отечественной системы автоматизированного проектирования (САПР) проектировщик проверяет спроектированные системы, далее выбирает нужную позицию и настройки листа, на котором будет представлена эта позиция. Корректировка размеров и текстовых данных в САПР разрешена, интерфейс программного обеспечения позволяет также указывать ко-

ординатные оси и шангоутную сетку. Автоматически на листе альбома труб выводятся следующие данные: углы погибов и поворотов трубы, ее масса, состав позиции, номер чертежа системы, номер позиции и помещение, в котором эта позиция должна быть установлена.

Основная проблема заключается в прохождении проверок так называемых чек-ов, в программе. В зависимости от количества погибов и наличия отростков проектант затрачивает на создание листа альбома труб одной позиции от получаса до нескольких часов.

Цель настоящей работы – сравнить хронометражи выполнения одной позиции трубопровода с использованием альбома труб и с пригонкой по месту, а также выявить процент ускорения работ трубообрабатывающего цеха. *Теоретическая значимость*: развитие отечественного судостроения в целом и оптимизация судостроительного производства путем уменьшения затрат в частности. *Практическая значимость* состоит в экономии средств и увеличении конкурентоспособности предприятия, что весьма актуально в настоящее время.

В ходе написания работы были использованы следующие методы исследования:

- организационный (анализ литературных источников в области оптимизации судостроительного производства),
- производственный эксперимент,
- интерпретационный (сравнительный анализ и описание полученных данных).

Базой исследования был выбран монтажно-трубоднищный цех № 22 АО «Адмиралтейские верфи», работающий над пр. СТ-192 рыболовецкого траулера, разработанного на основе концепта ST-192RFC норвежского бюро Skiptekniksk. Технический проект был подготовлен в компании «МИБ-ДизайнСПб», а рабочую конструкторскую документацию выпустило конструкторское бюро «Вымпел». Проект нетипичен для «Адмиралтейских верфей», так как завод не нацелен на серийное производство гражданских судов.

На головном судне серии все трубы были выполнены по снятым шаблонам с заказа. Ввиду большого объема работ на первых двух заказах и сжатых сроков модель не успевали корректировать по замечаниям заказчика. В результате корректные альбомы труб выпустить было невозможно. Поэтому было принято решение внедрить альбомы труб для изготовления судовых систем при строительстве последующих заказов.

Эксперимент провел сотрудник бюро технологических процессов, который сопровождал процесс изготов-

ления одной позиции трубы системы и с секундомером засекал время выполнения каждой операции рабочим. Вторая часть эксперимента состояла в определении времени, затраченного рабочим на монтаж той же позиции с использованием альбома труб на серийном судне пр. СТ-192. На базе полученных результатов эксперимента был выполнен сравнительный анализ.

Рабочему цеха необходимо было выполнить ряд действий – они перечислены в табл. 1 и табл. 2.

Стоит отметить, что в данном эксперименте рассчитывалось время изготовления позиции без окончательного монтажа на заказе.

Суммарная длительность изготовления одной позиции креновой системы пр. СТ-19 без применения альбома труб составила 7 ч 29 мин. = 7,43 н/ч, в том числе время, затраченное на переходы и ожидания, равно 2 ч 27 мин. (см. табл. 1).

Аналогично было зафиксировано при помощи секундомера время вы-

Таблица 1

Хронометраж изготовления трубы Ф108/В20 по чертежу креновой системы пр. СТ-192 по шаблону, снятому на заказе

№	Операция	Усредненное значение, мин	Примечание
1	Перемещение по заказу к месту выполнения работ	8	
2	Осмотр зоны монтажа, проведение замеров	16	
3	Перемещение до автобусной остановки	9	
4	Переход от заказа до слесарного участка (перемещение на автобусе)	8	
5	Получение материалов для изготовления шаблонов	2	
6	Переход от слесарного участка до помещения на заказе	27	
7	Снятие шаблона (труба Ф108х5, 2 погиба, 1 отросток)	12	
8	Переход из помещения на заказе до заготовительного участка для получения труб	26	
9	Получение труб	8	
10	Переход от заготовительного участка на трубоднищный участок	3	
11	Ожидание доступа к трубогибочному станку	3	
12	Наладка станка	5	
13	Гибка трубы Ф108, L=1600 мм, 2 погиба	6	2 погиба - 90°
14	Резка трубы Ф76, с припуском на ленточной пиле, 1 рез	2	
15	Резка трубы Ф108, в размер на ленточной пиле, 2 реза	5	
16	Обработка на расточном станке радиуса на торце отростка Ф76 под трубу Ф108	28	
17	На трубе Ф108 вскрытие отверстия Ф76 на расточном станке под отросток	24	
18	Выпрямление шаблонов на станке для правки проволоки (2 проволоки)	6	
19	Перемещение до фланцевой кладовой, получение фланцев	4	
20	Перемещение к сварочно-сборочной плите	3	
21	Сборка и прихватка отростка и фланцев	18	
22	Переход от трубоднищного участка на заказ до помещения	29	
23	Пригонка трубы на заказе	80	
24	Перемещение из помещения на заказе до трубоднищного участка для сварки трубы	27	
25	Сварка собранных (прихваченных) позиций	22	
26	Подготовка и подключение инструмента для зачистки швов	2	
27	Зачистка швов	3	
28	Гидравлические испытания на прочность	42	
29	Глушение трубы, изготовление и установка бирока	19	
30	Передача накладной на отправку труб в химическую очистку и горячий цинк.	2	
	Всего	449 мин (7 часов 29 мин) или 7,48 н/ч	

**Хронометраж изготовления трубы Ф108/В20 по чертежу
креновой системы пр. СТ-192 по альбому труб**

№	Операция	Усредненное значение, мин	Примечание
1	Переход из цеха на заготовительный участок для выполнения работ	7	
2	Получение труб	8	
3	Переход от заготовительного участка на трубомедницкий участок	3	
4	Ожидание доступа к трубогибочному станку	3	
5	Наладка станка	5	
6	Гибка трубы Ф108, L=1600 мм, 2 погиба	6	2 погиба – 90°
7	Резка трубы Ф76, с припуском на ленточной пиле, 1 рез	2	
8	Резка трубы Ф108, в размер на ленточной пиле, 2 реза	5	
9	Обработка на расточном станке радиуса на торце отрезка Ф76 под трубу Ф108	28	
10	На трубе Ф108 вскрытие отверстия Ф76 на расточном станке под отрезок	24	
11	Перемещение до фланцевой кладовой, получение фланцев	4	
12	Перемещение к сварочно-сборочной плите	3	
13	Сборка и прихватка отрезка и фланцев	18	
14	Сварка собранных (прихваченных) позиций	22	
15	Подготовка и подключение инструмента для зачистки швов	2	
16	Зачистка швов	3	
17	Гидравлические испытания на прочность	42	
18	Глушение трубы, изготовление и установка бирок	19	
19	Передача накладной на отправку труб в химическую очистку и горячий цинк.	2	
	Всего	206 мин (3 часа 26 мин) или 3,43 н/ч	

полнения такой же позиции с применением альбома труб, благодаря чему работу с шаблоном выполнять не надо было. Суммарное время при этом составило 3 ч 26 мин., или 3,43 н/ч (в том числе время, затраченное на переходы и ожидания, равнялось 20 мин.). Таким образом, избавление от лишних перемещений рабочего на заказ с целью выполнения шаблона трубы позволили сократить время изготовления одной позиции трубы системы в 2,18 раза, т. е. на 4 ч 3 мин., или 4,05 н/ч (табл. 2).

Выводы

Как видно из выше представленных данных, применение альбома труб помогает, в частности, уменьшить такие потери, как «ненужные действия», «лишние перемещения», «переделка», «лишние этапы обработки», сократить трудоемкость изготовления труб по проектной документации без пригонки по месту, стоимость постройки судостроительного заказа и, следовательно, оптимизировать судостроительное производство в целом.

Авторы выражают благодарность коллективу цеха № 22 за помощь в сборе данных для проведения производственного эксперимента.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ганов Э. В., Смирнова И. А. Применение ЭВМ для выполнения чертежей и подготовки производства изготовления судовых трубопроводов // Судостроение. – 2003. – № 5 (750). – С. 51–52.
2. ГОСТ Р 56020–2020. Бережливое производство. Основные положения и словарь. Дата введения: 2021–08–01.
3. ГОСТ Р 56407–2015. Бережливое производство. Основные методы и инструменты. Дата введения: 2015–06–02.
4. Дженкова Р. В. Гибка систем судовых трубопроводов с использованием компьютерных моделей. – Наука сегодня: глобальные вызовы и механизмы развития: мат-лы Междунар. науч.-практ. конф., Вологда, 27 апреля 2016 г. – Вологда: Маркер, 2016. – С. 17–19. – EDN VZJEOJL
5. Джестон Джон, Нелли Йохан. Управление бизнес-процессами. Практическое руководство по успешной реализации проектов // Библиотека Сбербанка. – Т. 34. – Офиц. сайт: СБЕР УНИВЕРСИТЕТ – URL: <https://sberuniversity.ru/sber-knowledge/biblio/3231/>
6. Маков Е. В. Нортон А. А., Шентунов И. В. ФГУП ЦМКБ «Алмаз»: переход к трехмерному моделированию // Судостроение. – 2006. – № 6 (769). – С. 41–43.
7. ОСТ 5.95057–90. Системы судовые и системы судовых энергетических установок. Типовой технологический процесс изготовления и монтажа трубопроводов.
8. Сахно К. Н. Разработка технологий изготовления и монтажа судовых трубопроводов и их экономическое обоснование // Вестник Астраханского ГТУ. – Сер.: Морская техника и технология. – 2011. – № 3. – С. 22–29. – EDN ONJAJT.
9. Соколов О. Г. Применение информационных технологий при создании судостроительной продукции // Соколов О. Г., Плотников А. М., Багаев Г. В. и др. // Судостроение. – 2004. – № 5 (756). – С. 78–83.
10. Стратегия развития судостроительной промышленности до 2035 года Распоряжение от 28 октября 2019 года № 2553-р. – <http://government.ru/docs/38218/>. ■

18 января 2024 г. в АО «Средне-Невский судостроительный завод» в Санкт-Петербурге состоялась торжественная церемония закладки для Военно-Морского Флота Российской Федерации очередного корабля противоминной обороны «Семён Агафонов» пр. 12700 «Александрит» (зав. № 532), двенадцатого в серии. В рамках строительства серии кораблей этого проекта корабелья Средне-Невского судостроительного завода уже передали ВМФ семь «Александритов».

В мероприятии приняли участие Главнокомандующий ВМФ РФ адмирал Николай Евменов, заместитель генерального директора АО «ОСК» по военному кораблестроению Владимир Королев, генеральный директор АО «Средне-Невский судостроительный завод» Владимир Середохо, генеральный директор АО «Центральное морское конструкторское бюро «Алмаз» Константин Голубев.

Приказом Главкома ВМФ будущему морскому тральщику присвоено имя Героя Советского Союза, морского пехотинца, старшины 1-й статьи Семена Михайловича Агафопова (1917–1977), отличившегося в ходе Петсамо-Киркенесской операции. В ночь на 12 октября 1944 г. в боях за освобождение населенного пункта Лиинахамари на подступах к городу Петсамо (ныне – посёлок городского типа Печенга Мурманской области) командир отделения 181-го особого разведывательного отряда Северного флота С. М. Агафонов в стремительной атаке вместе с товарищами захватил береговую батарею противника на мысе Крестовом. В тяжелых условиях отряд овладел позицией противника, что способствовало прорыву наших катеров с десантом в залив Петсамовуоно (Печенгский залив) и захвату Лиинахамари.

«Наш завод продолжит развиваться, уже со следующего года мы выйдем на новый темп – сдачу до двух тральщиков проекта 12700 в год», – заявил на церемонии закладки тральщика «Семён Агафонов» генеральный директор предприятия Владимир Середохо. Адмирал Николай Евменов подтвердил планы передачи флоту двух тральщиков в год, начиная с 2025 г. Также он отметил, что в ближайшей перспективе Средне-Невский завод, ВМФ и проектант коллективно смогут выйти на постройку трех кораблей противоминной обороны пр. 12700 в год. Выступая на митинге, главком ВМФ выразил благодарность кораблестроителям и проектантам новых морских тральщиков, строящихся на заводе: «Серия данных кораблей показала свою нужность для ВМФ, подтвердила все технические характеристики, заложенные в него конструкторами. Никто в мире не делает таких кораблей, кроме Средне-Невского судо-

НА СРЕДНЕ-НЕВСКОМ СУДОСТРОИТЕЛЬНОМ ЗАВОДЕ ЗАЛОЖЕН КОРАБЛЬ ПРОТИВОМИННОЙ ОБОРОНЫ «СЕМЁН АГАФОНОВ»

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



Закладная доска тральщика «Семён Агафонов»

строительного завода, – отметил адмирал. – Заказов на эти корабли будет еще много, они нужны флоту».

Корабли пр.12700 «Александрит» относятся к новому поколению минно-тральных сил и предназначены для борьбы с минной опасностью в ближней морской зоне, прежде всего с современными морскими якорными и донными минами. Они могут применять различные виды буксируемых тралов, а также телеуправляемые и автономные необитаемые противоминные подводные аппараты. Пр. 12700 разработан в АО «Центральное морское конструкторское бюро «Алмаз».

Морские тральщики этого проекта имеют самый большой в мире корпус из монолитного стеклопластика, сформированного методом вакуумной инфузии. Масса такого корпуса меньше ме-

таллического, при этом его прочность значительно выше. Корпус не подвергается коррозии, а срок службы при соблюдении эксплуатационных норм не ограничен. При строительстве данных кораблей специалисты завода применяют новейшие российские технологии, не имеющие аналогов в мировом судостроении.

Водоизмещение кораблей составляет около 890 т, длина – около 62 м, ширина – около 10 м, полная скорость хода – около 16 уз, экипаж – 44 человека.

Средне-Невский судостроительный завод – лидер композитного судостроения в России и единственное в стране предприятие, освоившее строительство кораблей и судов из четырех видов материалов: композитные материалы, судостроительная, маломанганитная сталь, алюминий-магниево-сплав. Предприятие владеет современной технологией изготовления конструкций из композитных материалов методом вакуумной инфузии.

За более чем 100 лет работы Средне-Невским судостроительным заводом построено более 500 кораблей и судов, из них более 200 единиц – это морские и рейдовые тральщики различных проектов, в том числе поставленные на экспорт в 13 стран мира. С 1937 г. завод по существу является монополистом в строительстве отечественных кораблей противоминной обороны. ■



Митинг по случаю закладки корабля. Выступает адмирал Н.А. Евменов

В настоящее время обеспечение комплексной безопасности объектов транспортной инфраструктуры водного транспорта является актуальным. Это объясняется тем, что в связи с возрастанием угроз природного, террористического и военного характера, особенно угроз, связанных с применением беспилотных летательных аппаратов, надводных и подводных робототехнических комплексов, уровень комплексной безопасности объектов транспортной инфраструктуры водного транспорта не соответствует современным требованиям [1,2]. Среди объектов транспортной инфраструктуры [3] особую значимость имеют автономные объекты инженерно-технической инфраструктуры, обеспечивающие управление транспортным комплексом, связь, навигацию и управление движением транспортных средств морского и внутреннего водного транспорта. Их надежность и эффективность определяются возможностями автономной работы систем жизнеобеспечения и безопасности, компьютерного и другого оборудования независимо от работы внешних систем жизнеобеспечения. Такими возможностями обладают автономные объекты, имеющие замкнутые системы жизнеобеспечения, функционирование которых зависит от гарантированного обеспечения их различными ресурсами и в первую очередь энергоресурсами. При этом особую актуальность имеет решение проблемы гарантированного электроснабжения автономных объектов, находящихся в ведении Министерства обороны.

В целом одной из ведущих тенденций и направлений современного развития энергетики, транспорта, коммунального хозяйства в мире является их декарбонизация, т. е. отказ от использования ископаемого углеводородного топлива с целью экономии и снижения вредных выбросов. Одним из направлений реализации данной концепции является применение нетрадиционных и возобновляемых источников энергии и переход на так называемую «зеленую» энергетику. Однако в настоящее время по целому ряду причин нетрадиционные источники полностью заменить традиционную энергетику не могут. В этой связи актуальным становится комбинированное применение традиционных и нетрадиционных энергоисточников на транспорте, в энергетике и коммунальном хозяйстве. Особенно важным это становится при рассмотрении вопросов энергоснабжения автономных нестационарных объектов транспортной инфраструктуры водного транспорта, не имеющих и не предполагающих

КОМБИНИРОВАННЫЕ ЭНЕРГОУСТАНОВКИ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КОМПЛЕКСНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ АВТОНОМНЫХ ОБЪЕКТОВ ИНФРАСТРУКТУРЫ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА

*В.В. Камлюк, д-р техн. наук, проф.,
И.О. Прутчиков, д-р техн. наук, проф., СПВИ ВНГ РФ,
И.В. Гречушкин, канд. техн. наук, начальник отдела ООО «НПО 122 УНР»,
контакт. тел. +7 (981) 885 4987*

ющих связи с внешними системами жизнеобеспечения.

Выполненный анализ показал, что для большинства автономных нестационарных объектов в контексте обеспечения их энергетической безопасности можно выделить общую тенденцию развития их как энергетических систем, связанную с необходимостью повышения надежности, устойчивости и качества их энергоснабжения до уровня гарантированного. Понимая под энергетической безопасностью прежде всего состояние защищенности от угроз преднамеренного, природного, техногенного, экономического и иного характера, можно определить основные направления ее обеспечения. При этом генеральным направлением обеспечения энергетической безопасности автономных объектов следует признать повышение качества энергоснабжения до уровня гарантированного (бесперебойного).

В работах [4,5] была обоснована концепция гарантированного энергоснабжения автономных нестационарных объектов специальной и социальной инфраструктуры, основанная на соблюдении следующих принципов:

- комплексная реализация и внедрение технологий когенерации, аккумулярования, частотного регулирования и преобразования энергии;
- улучшение технико-экономических характеристик автономных источников электроэнергии путем совместного применения статических и электромашинных преобразователей энергии;
- внедрение бесперебойных технологий гарантированного энергоснабжения за счет совершенствования средств и систем аккумулярования энергии;
- диверсификация систем гарантированного энергоснабжения автономных объектов по автономным источникам энергии и видам топлива;

- использование в системах гарантированного энергоснабжения альтернативных и нетрадиционных источников энергии;
- активный оптико-электронный мониторинг и удаленное противоаварийное управление гарантированным энергоснабжением объектов с использованием интеллектуальных информационных технологий и комбинированных оптико-электронных средств обнаружения и распознавания событий.

Таким образом, в соответствии с данными, приведенными в работах [4,5], реализация направлений повышения энергетической безопасности и доведение характеристик энергоснабжения объектов до уровня гарантированного предполагает проведение следующих мероприятий:

1. Перевод объектов в разряд автономных, способных функционировать без связи с внешними системами жизнеобеспечения.
2. Комплексное рассмотрение нестационарных объектов как единой энергетической (электроэнергетической) системы.
3. Интегрирование и комплексирование систем энергоснабжения автономных объектов с другими техническими системами, в первую очередь с системами жизнеобеспечения и безопасности.
4. Комбинированное применение в целях гарантированного энергоснабжения различных типов традиционных и нетрадиционных автономных источников и преобразователей энергии.
5. Разработка и создание систем гарантированного энергоснабжения автономных объектов в виде роботизированных комплексов посредством реализации в них инновационных энергоэффективных и информационных технологий.

Подробные сведения о разработанной концепции обеспечения энергетической безопасности автономных

объектов представлены в работе [6]. В целях практической реализации основных положений рассматриваемой концепции в настоящее время в ООО «НПО 122 УМР» разработаны действующие образцы мобильных модулей комплексной безопасности (МКБ) и роботизированных комплексов безопасности жизнеобеспечения (РКБЖ) на основе использования комбинированных энергоустановок с ДГУ мощностью от 16 до 100 кВт. В качестве примера практической реализации на рис. 1 представлена технологическая схема МКБ с ДГУ мощностью 16 кВт (МКБ-16). Аккумулирование вырабатываемого элементами технологической схемы тепла происходит в тепловом аккумуляторе (ТА). Тепло в ТА, согласно рис. 1, может запасаться в виде горячего жидкого теплоносителя (воды), водяного пара, горячего воздуха и т. п. Вспомогательным нетрадиционным источником электроэнергии в МКБ-16 является солнечная батарея (СБ). В качестве вторичных источников и преобразователей энергии в МКБ используются статические преобразователи электроэнергии (СПЭ). В качестве СПЭ в МКБ-16 могут быть использованы специальные реверсив-

ные преобразователи электроэнергии (РПЭ), способные работать в параллель с силовым генератором (СГ) ДГУ [10], статические агрегаты бесперебойного питания (АБП), автономные инверторы с модифицированной синусоидой выходного тока для бытовых потребителей и с чистой синусоидой выходного тока для ответственных потребителей.

Шины переменного тока секционированы на шины автономного электропитания (ШАП), к которым присоединена внешняя сеть электроснабжения (при наличии) и от которой запитываются электропотребители ПЗ, шины резервного электропитания (ШРП), к которым присоединены основные источники электрической и тепловой энергии – ДГУ и АТЭГ – и от которых запитываются электропотребители П2, шины гарантированного питания (ШГП), к ним присоединены СПЭ и СБ и от которых запитываются электропотребители П1. Шины бесперебойного электропитания (ШБП) не секционируются с другими шинами переменного тока, запитываются от СПЭ и СБ (в аварийных режимах возможно подключение от АТЭГ) и подают электропитание потребителям П1А. Секционирование ШРП

и ШГП позволяет за счет параллельного включения ДГУ и СПЭ обеспечить в необходимых случаях эффективное гарантированное электропитание ответственных потребителей П1 на уровне АБП on-line [8].

Изменение режимов работы МКБ-16, а также включение основного оборудования осуществляются переключателями П1–П21 по специальным алгоритмам. Основное оборудование МКБ-16 комплектуется в закрытом контейнере заводского изготовления.

Разработанный и изготовленный в ООО «НПО 122 УМР» модуль комплексной безопасности МКБ-16 прошел успешные испытания на различных эксплуатационных режимах. В настоящее время продолжаются его натурные испытания и доработка с целью обеспечения комплексной безопасности автономных объектов.

В работах [9,10] обосновывается целесообразность применения в данных модулях активного оптико-электронного мониторинга жизнеобеспечения и безопасности (СМБЖ) на основе использования комбинированных оптико-электронных средств обнаружения и распознавания событий (КОЭС) в целях контроля и противоаварийного управления системами. Эффект от внедрения КОЭС в информационных и управляющих системах доказывается многочисленными примерами реализации с использованием автоматизированных технических комплексов самого различного назначения. В работе [11] было предложено новое техническое решение комплексного активного мониторинга угроз физической и энергетической безопасности автономных объектов с помощью СМБЖ с КОЭС. С практической точки зрения данное решение выглядит достаточно рациональным, поскольку позволяет в целях контроля и управления одновременно использовать ресурсы систем безопасности и жизнеобеспечения. Реализация СМБЖ с КОЭС позволяет существенно улучшить характеристики функционирования систем жизнеобеспечения и безопасности автономных объектов за счет совместного применения более информативных средств обнаружения и распознавания событий при реализации в составе МКБ и РКБЖ комплексной защиты от угроз физической, энергетической, экологической и других видов опасности. Кроме того, это позволяет повысить технико-экономические характеристики систем безопасности и жизнеобеспечения автономных объектов за счет комбинированного применения цифровых и аналоговых ОЭС и расширить возможности мо-

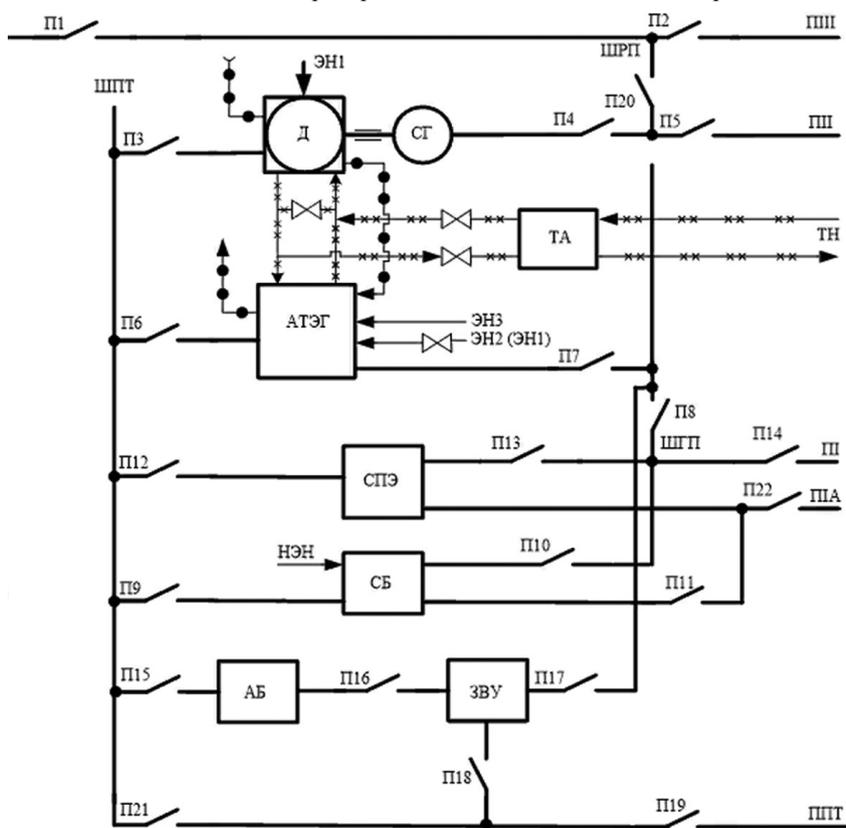


Рис. 1. Технологическая схема МКБ-16

Д – первичный двигатель, СГ – силовой электрогенератор, АТЭГ – автономный тепло-электрогенератор, ТА – тепловой аккумулятор (теплообменник), СПЭ – статический преобразователь электроэнергии, СБ – солнечная батарея, АБ – аккумуляторная батарея, ЗВУ – зарядно-выпрямительное устройство, ШПТ – шины постоянного тока, ШРП – шины резервного электропитания, ШГП – шины гарантированного электропитания, ЭН1 – основной энергоноситель, ЭН2, ЭН3 – резервные энергоносители, НЭН – нетрадиционный энергоноситель, П1, П11, П12, П1А, ППТ – электропотребители, ТН – теплоноситель

дернизации и реконструкции, область и номенклатуру эффективного применения систем жизнеобеспечения и безопасности за счет более высокого быстродействия, помехоустойчивости, работы в специальных условиях (радиационное и химическое заражение, аномальные условия окружающей среды и т. п.) СМБЖ при комбинированном применении ОЭС.

Таким образом, разработанные и рассмотренные ранее новые технические и технологические решения в области обеспечения энергетической и комплексной безопасности нестационарных автономных объектов специальной и социальной инфраструктуры позволяют в настоящее время развивать практические вопросы создания и внедрения на объектах различного назначения МКБ и РКБЖ, оборудованных СМБЖ с КОЭС.

Например, в ООО «НПО 122 УМР» предложена и практически прорабатывается структура мобильного РКБЖ на базе МКБ.

В РКБЖ реализован комплексный подход к обеспечению безопасности жизнеобеспечения автономных нестационарных объектов, сущность которого заключается в следующем:

1. Для активного мониторинга (мониторинга, контроля и управления) безопасности жизнеобеспечения используются комбинированные оптико-электронные средства обнаружения и распознавания событий с технологиями совмещенного растра и компьютерного зрения, работающие во всем диапазоне спектра электромагнитного излучения.

2. Для обеспечения комплексной безопасности жизнеобеспечения автономные нестационарные объекты оснащаются РКБЖ на базе мобильных МКБ, диверсифицированных по видам применяемого топлива и источникам энергии, системам бесперебойного энергоснабжения, функционирующими по технологиям аккумуляции, частотного регулирования и преобразования энергии. При этом МКБ дооборудованы интеллектуальными системами активного оптико-электронного мониторинга безопасности жизнеобеспечения (СМБЖ), подпис-

темами удаленного дистанционного управления (АСДУ) и бортовой диагностики (СТДО), комбинированными оптико-электронными средствами обнаружения и распознавания событий (КОЭС), беспроводными многоуровневыми комбинированными средствами физической, экологической и других видов защиты и безопасности.

3. Интеллектуальная система активного оптико-электронного мониторинга безопасности жизнеобеспечения (СМБЖ), устанавливаемая на базовый модуль МКБ, оснащается оригинальной микропроцессорной системой удаленного автоматизированного управления, функционирующей по технологии нечеткой логики управления и обеспечивающей возможность длительного функционирования РКБЖ без обслуживающего персонала на необитаемых и ограниченно обитаемых объектах. В настоящее время данная разработка доведена до уровня действующего образца.

Таким образом, проведенный анализ показал, что применение на автономных объектах транспортной инфраструктуры водного транспорта систем, модулей и роботизированных комплексов безопасности, функционирующих с использованием технологий аккумуляции, частотного регулирования и преобразования энергии, гарантированного энергоснабжения и комбинированного применения оптико-электронных средств обнаружения и распознавания событий позволит повысить уровень комплексной безопасности данных объектов.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Кобелев Д. Н.* Актуальные вопросы обеспечения антитеррористической защищенности морских портов // Вестник Краснодарского университета МВД России. – 2016. – № 2 (32). – С. 178–187.
2. *Марков С. Н.* Терроризм на море – угроза национальной безопасности России // Обозреватель-Observer. – 2011. – № 4. – С. 32–41.
3. О транспортной безопасности – [Электронный ресурс]: Федеральный закон от 9 февраля 2007 г. № 16-ФЗ (с изменениями от 24 июля 2023 г.). – URL:

<https://docs.cntd.ru/document/902027326?ysclid=lscxriydt664883931> (дата обращения 08.02.2024 г.).

4. *Прутчиков И. О., Камлюк В. В.* Комбинированные энергоустановки автономных объектов с частотным регулированием и преобразованием энергии. – СПб.: Изд-во СПбГУ, 2007. – 448 с.
5. *Прутчиков И. О., Камлюк В. В., Михайлов В. И., Маккаев А. В.* Системы гарантированного энергоснабжения автономных объектов на базе комбинированных энергоустановок с частотным регулированием и преобразованием энергии. – СПб.: ВАМТО, 2016. – 228 с.
6. *Прутчиков И. О., Федяев Л. С., Мкртычян А. В.* Концепция комплексного применения интеллектуальных технологий когенерации, аккумуляции, частотного регулирования и преобразования энергии в целях обеспечения энергетической безопасности при эксплуатации автономных объектов МО РФ. – Сб. докл. науч.-практ. конф. «Инновационные материалы и технологии», Моск. обл., Кубинка, ГУНИД МО РФ. 2017. – 136 с.
7. Патент на изобретение RU 2737575 С1, 01.12.2020. / Прутчиков И. О., Гречушкин И. В., Камлюк В. В. и др. Способ работы двигателя внутреннего сгорания, двигатель внутреннего сгорания. – Заявка № 2019125083 от 06.08.2019.
8. Патент на изобретение RU 2259492 С1, 27.08.2005. / Прутчиков И. О., Камлюк В. В., и др. Способ работы силовой установки на электропотребителей и устройство для его осуществления. – Заявка № 2004100653/06 от 08.01.2004.
9. *Прутчиков И. О., Камлюк В. В., и др.* Оценка и обоснование возможностей реализации на базе комбинированных энергоустановок с ДГУ систем гарантированного энергоснабжения // Морской вестник. – 2009. № 1 (29). – С. 60–64.
10. *Прутчиков И. О., Камлюк В. В. и др.* Системы мониторинга, контроля и управления бесперебойным жизнеобеспечением автономных объектов на основе комбинированного применения оптико-электронных средств обнаружения и распознавания событий // Морской вестник. – 2017. – № 3 (63). – С. 102–105.
11. Патент на изобретение RU 2719714 С1, 22.04.2020. / Прутчиков И. О., Гречушкин И. В., Камлюк В. В., и др. Комплексная система мониторинга, контроля и управления техническими системами жизнеобеспечения и безопасности автономных объектов. – Заявка № 2019114635 от 13.05.2019. ■

В качестве основного элемента системы очистки (СО) рабочего газа от примеси углекислого газа служит абсорбер, являющийся частью топливного процессора энергетической установки (ЭУ) [1]. Углекислый газ (CO₂) удаляется из абсорбера путем его растворения во внешней воде. При этом управление подачей воды в абсорбер формируется параметрами внешней среды, исходя из для обеспечения полной растворимости углекислого газа [2]. Процессы растворения газа в абсорбере сопровождаются колебанием уровня воды внутри аппарата, что может привести к переполнению абсорбера водой и срыву работы СО.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ОЧИСТКИ РАБОЧЕГО ГАЗА

Независимо от алгоритмов управления насосом и питательным клапаном, реализуемых системой управления (СУ), дроссельный клапан расход (КР) регулирует допустимый по условиям маломощной работы питательного клапана (ПК) реализуемый на нем перепад давлений.

С учетом того, что в абсорбере поддерживается давление газовой смеси на номинальном уровне, для обеспечения допустимого перепада давлений на ПК достаточно поддерживать давление на его выходе несколько ниже номинального в абсорбере. Это условие выполняется с помощью ПИ-регулятора давления, управляющего перемещением КР.

Сравнение вариантов алгоритмов управления, реализуемых СУ, проводилось для работы системы очистки рабочего газа от углекислого газа при давлениях внешней воды ниже и выше давления в абсорбере. В качестве основного возмущения рассматривалось синусоидальное изменение давления газа, подаваемого в абсорбер, с периодом колебаний T₁=120 с. Температура внешней воды принималась равной 10 °С.

ЗАДАЧА УПРАВЛЕНИЯ ПОДАЧЕЙ ВОДЫ В АБСОРБЕР ПОСРЕДСТВОМ РЕГУЛЯТОРА РАСХОДА С ЗАДАНИЕМ, ФОРМИРУЕМЫМ ПО ПАРАМЕТРАМ ВНЕШНЕЙ ВОДЫ

Функциональная схема канала управления насосом переменной производительности от регулятора расхода представлена на рис. 1.

Функциональный преобразователь 2 формирует на своем выходе заданное значение расхода воды, вычисленное в функции от температуры внешней воды t_v при постоянном давлении в абсорбере.

АЛГОРИТМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ОЧИСТКИ РАБОЧЕГО ГАЗА ОТ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА

*А. В. Балакин, канд. техн. наук,
А. Н. Дядик, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой,
Д. С. Маловик, аспирант,
М. А. Щегольков, аспирант, СПбГМТУ,
контакт. тел. +7 (921) 325 2493, +7 (921) 341 8771, +7 (921) 977 7199*

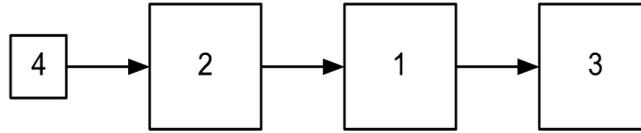


Рис. 1. Функциональная схема канала управления насосом переменной производительности
1 – регулятор расхода; 2 – функциональный преобразователь; 3 – привод насоса переменной производительности; 4 – датчик температуры внешней воды

Зависимость G(t) выбрана из условия обеспечения растворения CO₂ во внешней воде в соответствии с [3].

Программа управления расходом воды, обеспечивающая возможность управления насосом переменной производительности на режимах автоматического (АУ) и ручного дистанционного (ДУ) управления с безударным переходом с АУ на ДУ и обратно, представлена ниже.

```
//Развертка сигнала задания
if(rej==1) Graz=Gz; //Смон
else { d_raz=Gz-Graz;
      Graz=Graz+dt*sk_raz*Gmax*sign(d_raz);
    }
//АУ или ДУ
if((rej==2) || (rej==0)) {
  f_pam=f_raz;
  if(rej==0) f_raz=u_reg; //АУ
  if(rej==2) f_raz=Graz/
Gmax; //ДУ
}
else f_raz=f_pam; //СТОП
if(rej>0) {ui=f_raz; u_reg=f_raz;} //
СТОП или ДУ
else {
  delG=(Graz-G)/Gmax;
  ui=ui+dt*Ki*delG;
  if(ui>1) ui=1;
  if(ui<0) ui=0;
  up=Kp*delG;
  u_reg=ui+up;
  if(u_reg>1) u_reg=1;
  if(u_reg<0) u_reg=0;
}
```

Здесь rej – сигнал от задатчика режима работы, принимающий значения: 0 –

при задании режима АУ, 1 – при задании переходного режима СТОП, 2 – при задании режима ДУ; Gz, Gmax, Graz – сигнал задания, его максимальное значение и его значение, развернутое во времени; G – сигнал от датчика расхода воды в абсорбер; dt – интервал дискретности расчета; sk_raz – скорость развертки сигнала задания во времени; f_raz, f_pam – задаваемое значение относительной частоты вращения электропривода и значение этого сигнала, хранящееся в памяти; u_reg, ui, up – сигнал из ПИ-регулятора расхода, его интегральная и пропорциональная составляющие; Ki, Kp – коэффициенты усиления интегральной и пропорциональной составляющих управляющего сигнала регулятора.

Согласно функциональной схеме канала регулирования насоса переменной производительности, представленной на рис. 1, сигнал Gz формируется в функциональном преобразователе 2 в виде функции от значений температуры и давления внешней воды в соответствии с диаграммой растворимости [1] и условием обеспечения полной растворимости углекислого газа во внешней воде.

ЗАДАЧА УПРАВЛЕНИЯ СЛИВОМ ГАЗОВОЙ СМЕСИ ИЗ АБСОРБЕРА ПОСРЕДСТВОМ РЕГУЛЯТОРА ПОСТОЯННОГО ДАВЛЕНИЯ

Функциональная схема канала управления ПК с помощью регулятора давления представлена на рис. 2.

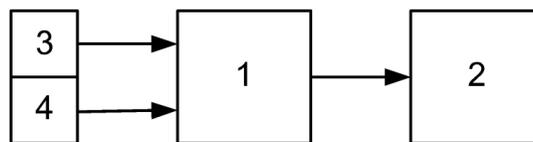


Рис. 2. Функциональная схема канала управления ПК от регулятора давления
1 – регулятор давления; 2 – привод ПК; 3 – датчик давления; 4 – задатчик давления

Программа управления давлением газовой смеси в абсорбере аналогична представленной выше. Регулятор давления реализует ПИ-закон регулирования в соответствии с представленными ниже уравнениями:

$$\frac{d(u_i)}{dt} = K_i \cdot del; 0 \leq u_i \leq 1, \quad (1)$$

$$del = Psm - Pz, \quad (2)$$

$$u_p = K_p \cdot del, \quad (3)$$

$$u_{reg} = u_i + u_p; 0 \leq u_{reg} \leq 1, \quad (4)$$

где u_{reg} , u_p , u_i – сигналы на выходе регулятора давления, его интегральная и пропорциональная составляющие; K_p , K_i – коэффициенты усиления интегральной и пропорциональной составляющих управляющего сигнала; Pz , Psm – заданное и фактическое давление газо-водяной смеси.

На рис. 3 и рис. 4 представлены рассчитанные на основании приведенных выше моделей осциллограммы процессов изменения параметров СО и СУ при рассмотренном способе управления.

Как видно из представленных осциллограмм, при поддержании заданных значений расхода воды в абсорбер (шлейф 1) и давления в нем (шлейф 2), независимо от давления внешней воды (шлейф 4) под воздействием колебаний расхода газа, поступающего в абсорбер (шлейф 8), могут возникать колебания уровня воды в абсорбере (шлейф 3), превышающие пределы, установленные по условиям его работы $0,15 < h_{yr} < 0,31$ м. Эти колебания могут приводить к переполнению абсорбера водой. Ограничение изменения уровня воды в абсорбере обеспечивается использованием рассмотренных ниже способов управления узлом очистки.

Поддержание постоянного давления в абсорбере обеспечивает постоянный расход рабочего газа на его выходе (шлейф 9), благодаря постоянному перепаду давлений между абсорбером и ресивером, в который отбирается газ. Сохраняются постоянными также обороты, расход, напор и мощность насоса (шлейфы 1, 5, 6, 7).

Следует отметить, что режим работы СО при давлении внешней воды p_v , 0,5 МПа является наиболее энергозатратным (шлейфы 7) по сравнению с режимами работы на более высоких уровнях давления внешней воды (шлейфы 4 на рис. 3 и рис. 4), поскольку на этом режиме насос должен развивать наибольший напор (шлейфы 5) при повышенных по сравнению с другими режимами расходах воды в абсорбер (шлейфы 1), требуемых по условиям полной растворимости CO_2 во внешней воде.

Малое открытие ПК, поддерживающего необходимое давление в аб-

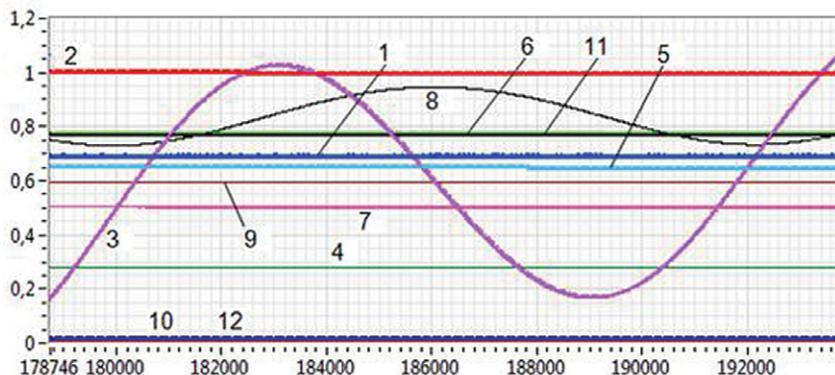


Рис. 3. Управление ПК от регулятора давления при давлении внешней воды 0,5 МПа. Здесь и далее по оси абсцисс отложено время в мс, по оси ординат – относительные параметры

1 – относительный объемный расход воды на входе в абсорбер; 2 – относительное давление газовой смеси в абсорбере; 3 – уровень воды в абсорбере; 4 – относительное давление внешней воды; 5 – относительный напор насоса; 6 – относительные обороты насоса; 7 – относительная мощность насоса; 8 – относительный расход газа на входе в абсорбер; 9 – относительный расход рабочего газа из абсорбера; 10 – относительное перемещение клапана КР, регулирующего давление за ПК; 11 – относительное давление за ПК; 12 – относительное перемещение питательного клапана

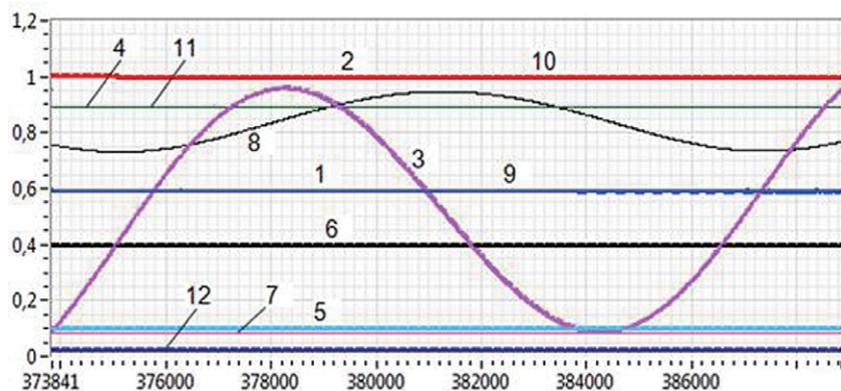


Рис. 4. Управление ПК от регулятора давления при давлении внешней воды 1,6 МПа

сорбере, обусловлено принятым нелинейным законом изменения площади его открытия от хода клапана ($F_{pk} = 20 \cdot \sqrt{h_{pk}}$).

Регулятор давления за ПК поддерживает давление p_{pk} в пределах, позволяющих ПК функционировать с допустимым по условиям его маломощной работы перепадом давлений. При $p_v = 0,5$ МПа требуемое давление за ПК (шлейф 11) обеспечивается путем значительного прикрытия клапана КР (шлейф 10 на рис. 3). На режимах работы с $p_v > p_z$ клапан КР полностью открыт (шлейф 10 на рис. 4).

УПРАВЛЕНИЕ СЛИВОМ ВОДЫ ПОСРЕДСТВОМ РЕГУЛЯТОРА УРОВНЯ. ЗАДАЧА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АНАЛОГОВОГО РЕГУЛЯТОРА УРОВНЯ

Функциональная схема канала управления ПК от регулятора уровня, использующего сигнал от аналогового датчика уровня, представлена на рис. 5.

Регулятор уровня так же, как и рассмотренный выше регулятор давления, использует соответствующую управляющую программу. При этом регулятор уровня реализует ПИ-закон регулирования, используя аналоговый сигнал от датчика уровня.

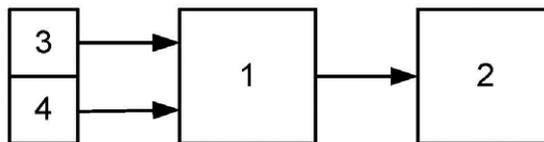


Рис. 5. Функциональная схема канала управления ПК от аналогового регулятора уровня
1 – регулятор уровня; 2 – привод ПК; 3 – датчик уровня; 4 – задатчик уровня

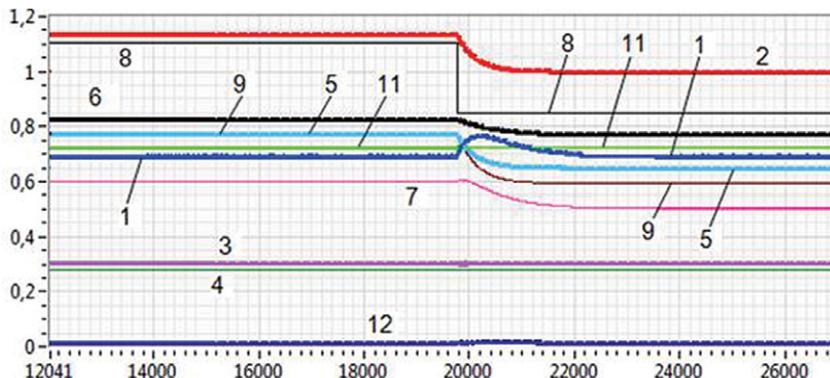


Рис. 6. Управление ПК от регулятора уровня при давлении внешней воды 0,5 МПа

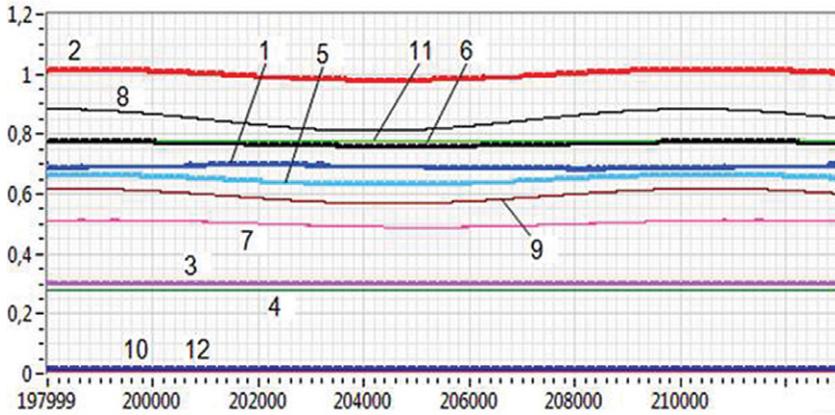


Рис. 7. Управление ПК от регулятора уровня при давлении внешней воды 1,6 МПа

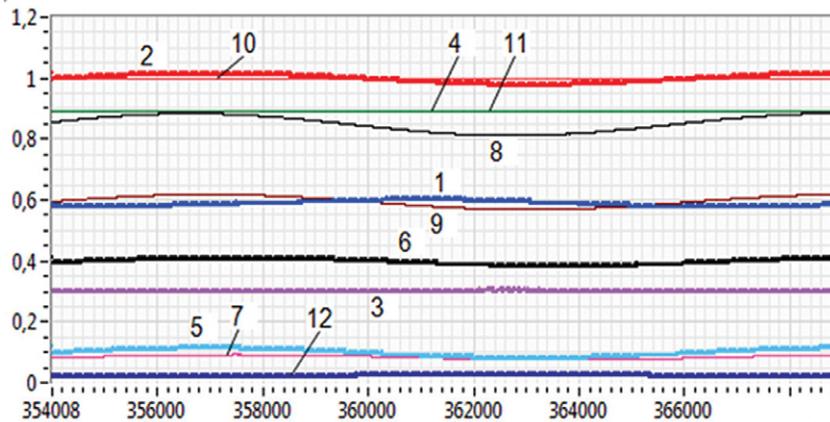


Рис. 8. Влияние на параметры абсорбера изменения площади проходного сечения, через которое газовая смесь подается в абсорбер

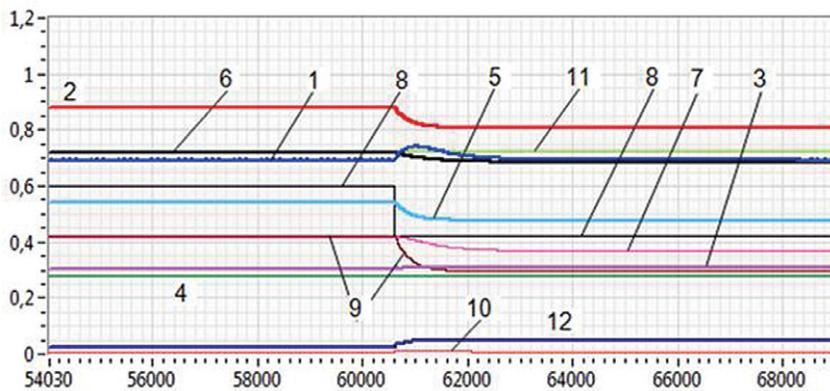


Рис. 9. Влияние изменения давления синтез-газа перед абсорбером на изменение параметров абсорбера при давлении внешней воды 0,5 МПа

Работа регулятора описывается следующими уравнениями:

$$del h_n = \frac{h_{yr} - h_{-z}}{h_{max}}, \quad (5)$$

$$u_{yr} = K_p \cdot del h_n; \quad 0 \leq u_{yr} \leq 1, \quad (6)$$

где h_{-z} , h_{yr} – заданный и измеренный датчиком сигналы, пропорциональные уровню воды в абсорбере; $h_z = 0,3\text{ м}$; u_{yr} – сигнал из регулятора уровня; K_p – коэффициент усиления; h_{max} – максимальный сигнал из датчика уровня.

Осциллограммы процессов изменения параметров узла очистки при рассматриваемом способе управления приведены на рис. 6 – 9.

При расчете осциллограмм, представленных на рис. 6 и рис. 7, моделирование работы абсорбера выполнялось в допущении, что расходные характеристики каналов подвода и отвода газа из абсорбера согласованы. Поэтому при отсутствии колебаний давления газовой смеси на входе в абсорбер $P_{вх}$ давление в абсорбере близко к назначенному (рис. 8). Колебания давления $P_{вх}$ около значения, соответствующего равновесному режиму работы расходных сетей, приводит к колебаниям параметров абсорбера. При этом размах колебаний параметров зависит от размаха колебаний давления газовой смеси, практически не изменяясь с изменением давления внешней воды (см. рис. 6 и рис. 7).

Рис. 8 и рис. 9 иллюстрируют влияние на параметры абсорбера отклонения характеристик расходной сети от расчетных значений.

При расчетных значениях давления $P_{вх}$ и площади проходного сечения сопла $F_{ст}$, через которое газовая смесь подается в абсорбер, давление газа в нем соответствует заданному уровню (см. рис. 6 при $t > 220\text{ с}$). Увеличение площади $F_{ст}$ на 30% по сравнению с расчетной приводит к увеличению поступления рабочего газа в абсорбер (шлейф 8) и, как следствие, к росту давления P_r на 15% (шлейф 2 при $t < 200\text{ с}$).

Влияние изменения $P_{вх}$ на параметры абсорбера иллюстрирует рис. 9.

Уменьшение $P_{вх}$ на 0,1 МПа приводит к уменьшению P_r на 12% по сравнению с назначенным значением (шлейф 2 при $t < 608\text{ с}$). При уменьшении $P_{вх}$ на 0,15 МПа давление P_r уменьшается на 20% (шлейф 2 при $t > 620\text{ с}$).

ЗАДАЧА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДИСКРЕТНОГО РЕГУЛЯТОРА УРОВНЯ

На рис. 10 представлена функциональная схема канала управления ПК от регулятора уровня, использующего сигнал от сигнализатора верхнего уровня.

Управляющий сигнал, поступающий из дискретного регулятора уровня, фор-

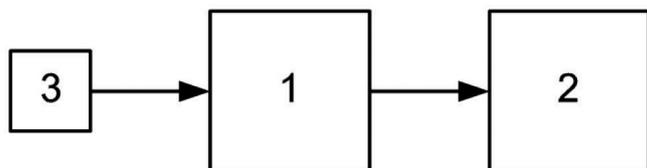


Рис. 10. Функциональная схема канала управления ПК от дискретного регулятора уровня
1 – регулятор уровня; 2 – привод ПК;
3 – сигнализатор верхнего уровня

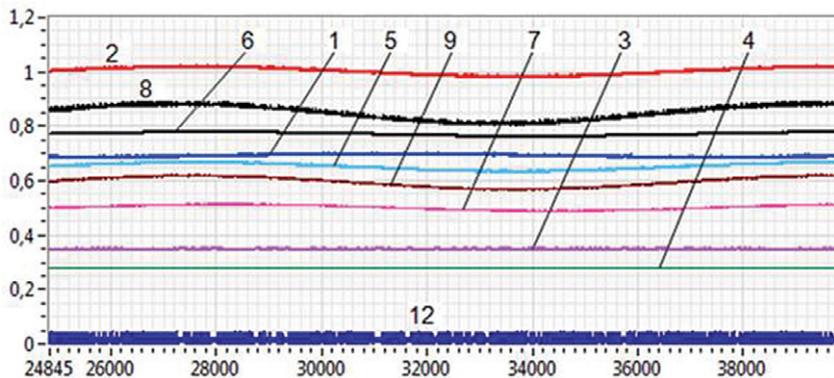


Рис. 11. Дискретный регулятор уровня при давлении внешней воды 0,5 МПа

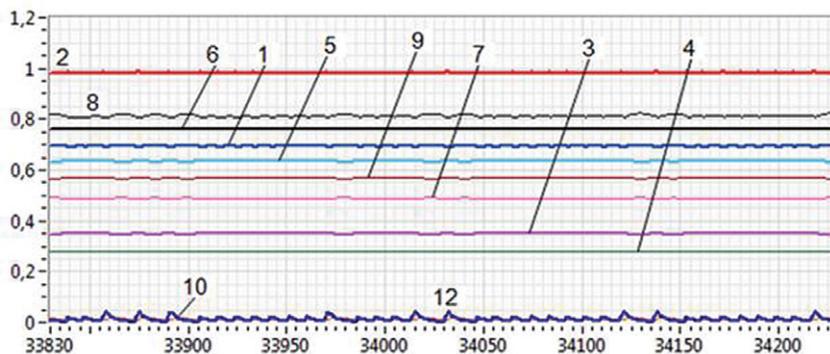


Рис. 12. Фрагмент рисунка 11

мируется на основании дискретного сигнала от сигнализатора верхнего уровня воды в абсорбере.

Сигнализатор верхнего уровня срабатывает при превышении уровня воды в абсорбере значения h_{\max} , устанавливаемого по условиям безопасной работы прибора. В рассматриваемом примере $h_{\max} = 0,35$ м.

Управляющий сигнал на выходе регулятора, поступающий на привод регулирующего клапана, формируется в соответствии со следующими зависимостями:

$$h_{\text{verh}} = \{1, \text{ при } h_{\text{yr}} \geq h_{\max} \quad 0, \text{ при } h_{\text{yr}} < h_{\max};$$

$$h_z = \{1, \text{ при } h_{\text{verh}} = 1 \quad 0, \text{ при } h_{\text{verh}} = 0.$$

где h_{verh} – сигнал от сигнализатора верхнего уровня; h_z – сигнал, управляющий перемещением привода ПК; h_{yr}, h_{\max} – уровень воды в абсорбере, его максимальное допустимое значение.

Работа дискретного регулятора уровня при оговоренных выше условиях и $p_v = 0,5$ МПа представлена на рис. 11 и рис. 12.

Как видно из рис. 11, использование дискретного регулятора уровня, формирующего управляющий сигнал с помощью сигнализатора верхнего уровня воды в абсорбере, позволяет удерживать заданный уровень воды в нем без колебаний параметров абсорбера в случае достаточно Рвысокого быстродействия привода ПК.

В рассматриваемом примере $sk_{\max} = 200\%/с$. Однако необходимо отметить, что в таком режиме формирования управляющих сигналов на привод регулирующего клапана привод длительно находится под нагрузкой, что может привести к снижению безаварийной эксплуатации регулирующего клапана, кроме того, при таком способе регулирования уровня воды в абсорбере возможны колебания контролируемых параметров, что, в свою очередь, приводит к снижению запаса устойчивости объекта управления.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Улучшение условий растворения CO_2 во внешней воде, подаваемой в абсорбер, может быть достигнуто при управлении отбором воды из него с помощью сигналов от регулятора давления, ограничиваемых по условиям сохранения требуемого уровня воды в абсорбере. При этом для повышения продолжительности и точности поддержания назначенного давления в абсорбере рекомендуется корректировать сигнал заданного давления по условиям изменения уровня за установленные пределы, увеличивая или уменьшая его в зависимости от выхода уровня за верхний или нижний допустимые пределы. Продолжительность поддержания назначенного давления в абсорбере может быть также увеличена за счет изменения его конструктивных характеристик: увеличения объема емкости абсорбера, заполненной водой, и увеличения диапазона допустимого изменения уровня воды.

ЛИТЕРАТУРА

1. Арсентьев А.С., Прохоров Н.С., Худяков С.С., Янкевич А.И. Создание ВНЭУ для отечественного ВМФ // Морской сборник. – 2020. – Вып. 8(2081). – С. 79–83.
2. Долгий К.В., Дядик А.Н., Малых Н.П. Алгоритмы управления сливом воды с целью поддержания уровня воды в абсорбере посредством регулятора давления // Вестник Астраханского ГТУ. – Сер.: Морская техника и технология. – 2022. – № 2. – С. 58–64.
3. Коуль А.Л., Ризенфельд Ф.С. Очистка газа. – М.: Недра, 1968 – 392 с. ■

Валопровод – один из элементов двигательной-двигательной системы судна, задача которого – передача крутящего момента от двигателя к гребному винту и восприятие осевой нагрузки от гребного винта к корпусу судна. В большинстве случаев валопровод представляет собой систему валов, которые расположены на одной оси и опираются на дейдвудные, промежуточные и упорные подшипники.

Дейдвудные подшипники судна являются подшипники скольжения, на которые опирается гребной вал валопровода. Сами подшипники располагаются в дейдвудной трубе корпуса судна. Их количество и используемый антифрикционный материал зависят от геометрических размеров валопровода и условий эксплуатации самого судна [1–5].

К основным антифрикционным материалам для дейдвудных подшипников можно отнести [2–5]: бакаут, баббит, текстолит (ПТК-С), туплон (импортный аналог текстолита), оркот, капрон, капролон, деклон, резино-металлические, древесно-слоистый пластик (ДСП), древесно-текстолитовый пластик (Д5ТСП), углепластики (УГЭТ-Т, ФУТ), полиуретаны. Сам материал располагается в корпусе дейдвудного подшипника по всей его длине в виде вкладышей по диаметру или цельной втулки.

При расположении вкладышей из антифрикционного материала по диаметру в корпусе подшипника протачивают установочные канавки с сечением «ласточкин хвост», длина которых может достигать свыше 1000 мм. Как правило, расточка канавок такого вида сечения внутри корпуса представляет собой непростую задачу, так как подразумевает использование специального станочного оборудования и режущих инструментов.

Имеется ряд нормативной и регламентирующей документации, где указываются вид, исполнение и геометрические размеры дейдвудных подшипников в зависимости от антифрикционного материала и размеров самого гребного вала. Одними из таких документов являются [4]:

- ГОСТ 7199–77 «Подшипники резино-металлические судовые. Технические условия»;
- ОСТ 5.4183–76 «Подшипники гребных и дейдвудных валов капролоновые. Общие технические условия»;
- ОСТ 5.5154–74 «Подшипники скольжения и сальники гребных валов. Типы, основные размеры и технические требования».

На основании возникающих и выявленных дефектов дейдвудных подшипников при ремонте и во время эксплуатации судна многие авторы работ в виде патента или опубликованной статьи предлагают новые конструкции дейдвудных подшипников, выходя за рамки требований и правил нормативной и регламентирующей документации [6–8]. Так, например, в работе [8] авторы предлагают дейдвудное устройство, где в дейдвудной трубе вместо вкладышей или цельной втулки из антифрикционного материала расположены протяженные ролики с радиальными канавками. Сами ролики опираются о подшипники качения. Отмечается, что протяженные ролики при контакте с гребным валом вращаются быстрее, создавая достаточный смазочный клин и минимальное трение в самом смазочном клине.

В работе [7] также предлагается новая конструкция гребного вала в зоне контакта с дейдвудным подшипником, где по диаметру гребного вала располагаются вращающиеся стержни. При вращении гребного вала под действием центробежной силы стержни прижимаются к внутренней поверхности

РАЗРАБОТКА ДЕЙДВУДНОГО ПОДШИПНИКА С ЭЛЛИПТИЧЕСКИМИ ВКЛАДЫШАМИ

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

Каспийский институт морского и речного транспорта им. ген.-адм. Ф.М. Апраксина – филиал ФГБОУ ВО «ВГУВТ»,

Д.В. Лошадкин, канд. хим. наук, ст. науч. сотрудник,
зам. ген. директора ООО «Эверс груп Рус»,

М.В. Старкова, науч. сотрудник ООО «НТО «Альвис»,

Н.П. Безруков, мл. науч. сотрудник,

Ю.Ю. Яковлев, канд. хим. наук, гл. специалист, Лаборатория «Полимерных композитов и адгезивов» № 27 Института нефтехимического синтеза

им. А.В. Топчиева Российской академии наук (ИНХС РАН),

sopromat112@mail.ru, alvis@kaprolon-alvis.ru, bezrukov@ips.ac.ru,

yura-210360@yandex.ru

неподвижной втулки подшипника и катятся по последней. Полости между стержнями уменьшаются в объеме по мере приближения к месту наибольшего давления, что обеспечивает нагнетание большого количества жидкости и увеличение толщины слоя смазки. Предлагаемая идея авторами является по сути обратной задачей вышерассмотренного дейдвудного устройства, где также целью является увеличение долговечности подшипника путем увеличения толщины слоя смазки в зоне контакта.

Во многих работах указывается, что дейдвудный подшипник должен обладать достаточными упругими свойствами для предотвращения напряженно-деформированного состояния, действия ударных нагрузок резонансного состояния всего валопровода. Резонансное состояние недопустимо в процессе работы валопровода. Поэтому в работе [6] в виде полезной модели предлагаемый дейдвудный подшипник (рис. 1) имеет наружную втулку 1 и внутренние втулки в виде колец 3, которые соединяются между собой специальными бандажми 4. Между втулками располагается упругий эластичный материал 2, который изготавливается из резины. Упругий материал из резины 2 и бандажки 4 позволяют обеспечить равномерность распределения нагрузок, действующих со стороны валопровода и гребного винта. Повышение надежности дейдвудного подшипника достигается путем снижения нагрузок на кромках подшипника и равномерного распределения нагрузок по всей длине самого подшипника.

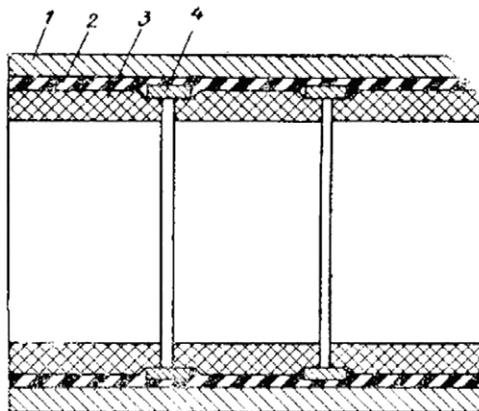


Рис. 1. Дейдвудный подшипник с эластичным материалом

1 – наружная втулка; 2 – эластичный материал из резины; 3 – внутренние втулки; 4 – бандажки

Влияние демпфирующих свойств на рабочее состояние дейдвудного подшипника и валопровода также подтверждается в работе [1]. Установка упругих демпфирующих элементов 3 (УДЭ) позволит повысить площадь опоры гребного

вала на вкладыши (рис. 5), снизить контактные статические и динамические удельные нагрузки. Авторы предлагают также в своей работе при изготовлении УДЭ использовать пористые элементы из прессованной проволоки марки 36НХТЮ ГОСТ 14118–85, а сам вкладыш – из углеродистого ФУТ.

Удобство формы наборных дейдвудных подшипников из вкладышей определяется возможностью замены при износе одного вкладыша без разборки всего узла [4,9,11].

На рис. 2 показаны известные в литературе формы представления разных форм профиля пластин.

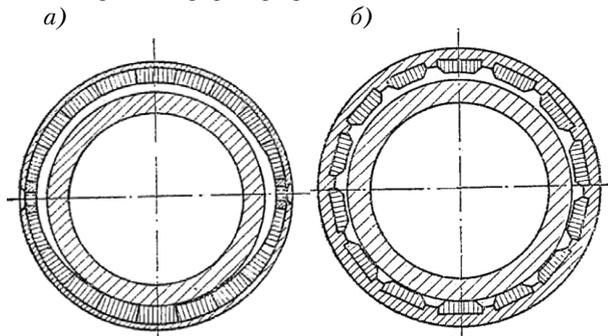


Рис. 2. Схема набора дейдвудных подшипников: а – по схеме «бочка», б – по схеме «ласточкин хвост»

Как показывают исследования, большое влияние на параметры смазочной пленки оказывает крепление «ласточкин хвост», присутствие которого разрушает непрерывность пленки. Однако в отличие от вкладышей с круговой формой профиля контакта каждый плоский вкладыш в окружном направлении обеспечивает клиновидный зазор, который создает давление жидкости, что еще в большей степени разрушает непрерывность распределения пленки по целевым поверхностям [12].

Для решения вышеуказанных задач очевидна необходимость удаления из узла креплений стандартного типа и модернизация формы вкладышей, при которой можно будет обеспечить хорошее скольжение, снижение шума и повышение сроков службы самих вкладышей в наборном дейдвудном подшипнике.

КОНСТРУКЦИЯ ДЕЙДВУДНОГО ПОДШИПНИКА

На основании вышеприведенного исследования условий работы валопровода и его вспомогательных элементов предлагается новая конструкция дейдвудного подшипника (рис. 3). Сама конструкция представляет собой металлический корпус 1, в котором установлены вкладыши 2 в виде эллипса, которые склеены 3. За счет удаления прямых поверхностей и углов из зоны контакта со смазкой удастся избежать разрушения смазочной пленки на поверхности вкладышей. В качестве антифрикционного материала для вкладышей предлагается использовать капролон базовый ТУ 22 24-003-39046337–2018 (завод-изготовитель ООО «НТО «Альвис») [3]. Клей для капролона должен обладать хорошей адгезией к обоим материалам и обеспечивать прочное соединение при длительной эксплуатации дейдвудного подшипника (два-четыре года).

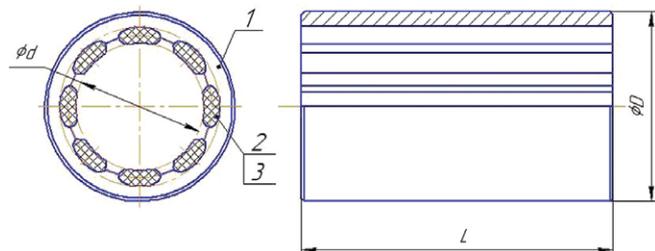


Рис. 3. Общий вид предлагаемого дейдвудного подшипника

Как видно из рис. 3, в металлическом корпусе имеются продольные пазы (канавки), форма которых соответствует половине сечению самого вкладыша. Их количество по диаметру принимается на основании диаметра гребного вала и действующих нагрузок. В работе [5] В.А. Николаев при исследовании резинометаллических дейдвудных подшипников рассматривает расчетную схему реакций, общий вид которой представлен на рис. 4.

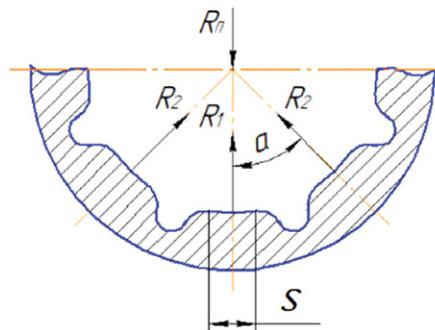


Рис. 4. Расчетная схема нагружения дейдвудного подшипника

Для равновесного состояния системы необходимо выполнить условие [5]

$$R_{\Pi} - R_1 - R_2 \cos \alpha = 0, \quad (1)$$

где R_{Π} – реакция дейдвудного подшипника, определяемая расчетным путем при проектировании валопровода; R_1 – реакция нижней вкладыша; R_2 – реакция бокового вкладыша.

Так как реакции нижней и бокового вкладышей связаны между собой, как

$$R_1 = R_2 \cos \alpha, \quad (2)$$

то выражение определения реакции нижней полки относительно реакции дейдвудного подшипника будет иметь вид [5]

$$R_1 = \frac{R_{\Pi}}{1 + 2 \cos^2 \alpha}, \quad (3)$$

Среднее удельное давление, действующее на дейдвудный подшипник, предлагается определять как [5]

$$p = \frac{R_1}{sL}, \quad (4)$$

где s – ширина рабочей плоскости вкладыша (рис. 4), м; L – рабочая длина подшипника, м.

На основании выражения (4) сечение вкладышей принимается в виде усеченного эллипса, как показано на рис. 5. Это позволяет увеличить ширину контакта гребного вала с самим вкладышем и повысить сопротивляемость действию внешних постоянных и переменных нагрузок. В целом предлагаемое сечение вкладышей в виде усеченного эллипса (рис. 5) позволяет придать самому подшипнику упругие свойства, о чем описывается в работах [1,2,11].

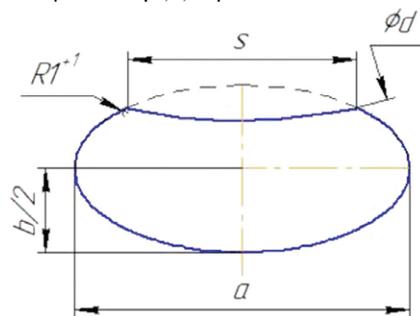


Рис. 5. Общий вид эллипса после точения d – наружный диаметр облицовки шейки гребного вала; a – длина вкладыша (большая полуось эллипса); b – ширина вкладыша (малая полуось эллипса)

Для оценки возможности установки вкладышей в корпусе дейдвудного подшипника путем склеивания было проведено

экспериментальное исследование адгезионной прочности при сдвиге нахлесточных соединений по ГОСТ 14759–69 «Клей. Метод определения прочности при сдвиге» (рис. 6). Измерения проводили с помощью универсальной разрывной машины И1140М. Образцы в виде пластин геометрическими размерами 60×20×4 мм были изготовлены из листового проката стали Ст.20 и из капролона (завод-изготовитель ООО «НТО «Альвис»).



Рис. 6. Общий вид образцов

Для склеивания использовались разработанные в ИНХС РАН эпоксиуретановые клеи [10], сочетающие в себе свойства оксидных и уретановых матриц. Такой подход позволяет создавать клеи, обладающие повышенной эластичностью, хорошей адгезионной прочностью соединений с различными твердыми и гибкими субстратами и способные найти свое практическое применение в качестве эластичных и универсальных клеев. Введение уретановых фрагментов в структуру клея позволяет улучшить смачивание и формирование соединения с поверхностью капролона, имеющего относительно низкую поверхностную энергию и поэтому достаточно сложно поддающегося склейке многими клеями. В нашем случае сочетание свойств двух матриц различной природы позволило достичь показателей адгезионной прочности нахлесточных соединений на склейке металл–капролон в 3,2 МПа, что превзошло результаты для подобной склейки оксидным клеем на основе эпоксидиановой смолы ЭД-20 (1,1 МПа) и уретанового (0,5 МПа) клея.

Номинальные размеры с учетом предельных отклонений пазов принимаются на основании механических свойств капролона и условий работы дейдвудного подшипника.

Натяг h (мм) может быть рассчитан по следующей формуле:

$$h = 0,008D + 0,05, \quad (5)$$

где D – внутренний диаметр корпуса подшипника, мм.

Установочный зазор S (мм) предлагаемого дейдвудного подшипника определяем, как

$$S = 0,0065d. \quad (6)$$

Сами пазы в корпусе предлагаемого дейдвудного подшипника могут быть получены на токарном и расточном

станке при использовании специальных фасонных режущих инструментов.

Геометрические размеры вкладышей, их установка и расположение в корпусе дейдвудного подшипника принимаются на основании действующих нормативных, регламентирующих и справочных документов для дейдвудных подшипников и валопроводов судов [4, 5, 9, 10].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предлагаемая конструкция дейдвудного подшипника, состоящая из капролоновых вкладышей с сечением в форме усеченного эллипса, позволит повысить надежность дейдвудного устройства судна, так как исключает неработающие участки вкладышей, увеличивает площадь опоры гребного вала на вкладыши по длине дейдвудного подшипника, снижает контактные статические и динамические удельные нагрузки, а также амортизирует ударные нагрузки. При этом повышается работоспособность всего дейдвудного устройства во время эксплуатации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ашуров А.Е., Горин С.В., Пшеницын А.А., Чуприна С.В. Об одном способе повышения ресурса судовых дейдвудных подшипников // Судостроение. – 1997. – №2. – С. 32–33.
2. Белаковский Я.И., Бузков В.А., Карцев Ю.М. Опыт применения полиамидов в опорах малых гребных валов // Пластические массы. – 1962. – №7 – С. 62– 64.
3. Бодягин В.Н. Старкова М.В. Новые марки капролона // Главный механик. – №4. – 2015. – С. 54.
4. Виноградов С.С., Гавриш П.И. Износ и надёжность винторулевого комплекса судов. – М.: Транспорт, 1970. – 232 с.
5. Николаев В.А. Конструирование и расчет судовых валопроводов. – Л.: Судпромгиз, 1956.-- 358 с.
6. Патент 420499 СССР, МПК В 63h 23/34; F 16с 33/04. Дейдвудный подшипник / Борисов В.И., Данилов В.И., Лобастов В.Д., Сикоренко Н.П., Середин Д. Г., Шульмин В.И.; заявитель и патентообладатель: В.И. Борисов, В.И. Данилов, В.Д. Лобастов, Н.П. Сикоренко, Д.Г. Середин, В.И. Шульмин. № 1769986/27-11; заявл. 07.04.1972; опубл. 25.03.1974 // Бюлл. №11.
7. Патент 893723 СССР, МПК В63 Н23/36; F16 С17/14. Дейдвудный подшипник / Росливкер Е.Г., Ковленко Ю.В., Мальцев В.Н., Рыбальченко К.Г., Шрамков И.И. № 2793352/27-11; заявл. 05.07.79; опубл. 30.12.1981 // Бюлл. № 48.
8. Патент СССР 1717479, МПК В 63 Н 23/36. Дейдвудное устройство / Пивонов Е.Г., Акимов В.В. № 4838506/11; заявл. 12.06.1990; опубл. 07.03.1992 // Бюлл. № 9.
9. РД 5.4307–79. Валопроводы судовые. Правила и нормы проектирования. Взамен РС-735–68. Введ. с 01.01.81. – Л.: Судостроение, 1979. – 146 с.
10. Смирнов Ю.Н., Валуева Л.Ф., Лапицкий В.А. Отверждение эпоксиуретановых олигомеров // Пластические массы. – 1985. – № 12. – С. 41–42.
11. Халявкин А.А. Способ повышения надежности дейдвудных подшипников валопроводов судов / А.А. Халявкин, В.А. Мамонтов, В.В. Бондаренко и др. // Вестник Астраханского ГТУ. – Сер.: Морская техника и технология. – 2022. – №1. – С. 42–49.
12. Tang, D.; Han, Y.; Yin, L.; Chen, Y. Numerical Analysis of the Mixed-Lubrication Performance of Staved Stern Tube Bearings Lubricated with Water// Lubricants. – 2023. – №11. – P.168. – <https://doi.org/10.3390/lubricants11040168> ■

Одной из актуальных проблем корабельной энергетики является снижение вибрации и шума паротурбинной установки (ПТУ). Анализ виброшумовых характеристик (ВШХ) ПТУ различных типов показал, что один из основных источников шума – это работа системы охлаждения главного конденсатора (ГК). В связи с этим специалистами неоднократно высказывались предложения по ее возможной модернизации, в том числе с применением системы пассивного принципа действия.

Оценка возможности применения системы пассивного принципа действия выполнена в соответствии:

- с проработанной теплогидравлической схемой данной системы для охлаждения ГК с выполнением необходимых расчетных обоснований;
- с оценкой массогабаритных характеристик системы для охлаждения ГК;
- с анализом условий размещения системы для охлаждения ГК.

В схеме рассматриваемой системы для охлаждения ГК на атомных подводных лодках (АПЛ) использован прототип системы пассивного принципа действия для охлаждения ГК на глубоководных технических средствах (ГТС). Конденсационная установка (рис. 1) состоит из конденсаторного блока (испарителя) 1 (4), блока забортных теплообменников (конденсатора) 2 (3), системы промежуточного теплоносителя, (трубопроводов), соединяющих элементы системы. Конденсационная установка, за исключением забортных теплообменников, размещена внутри АПЛ.

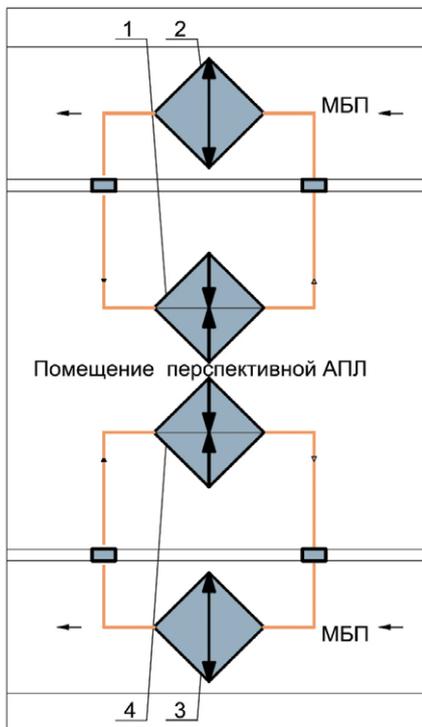


Рис. 1. Схема конденсационной установки на перспективных АПЛ
1, 4 – конденсаторный блок; 2, 3 – блок забортных теплообменников

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПАССИВНОГО ПРИНЦИПА ОХЛАЖДЕНИЯ ГЛАВНОГО КОНДЕНСАТОРА ПТУ ПЕРСПЕКТИВНЫХ АПЛ

В.Г. Кирикова, начальник сектора,
И.А. Сорокин, инженер-конструктор 3-й категории,
АО «СПМБМ «Малахит»,
контакт. тел. (812) 242 8540

Блок забортных теплообменников состоит из самостоятельных, однотипных, не связанных друг с другом секций. Количество секций определяется по результатам расчета в зависимости от характеристик среды. В качестве охлаждающей среды принята забортная вода.

Система промежуточного теплоносителя выполнена в виде автономных контуров. Количество контуров определяется по результатам расчетов в зависимости от характеристик среды. В контурах происходит естественная циркуляция теплоносителя. В качестве теплоносителя используется аммиак.

Отработавший пар, поступающий в конденсаторный блок установки, охлаждается системой промежуточного теплоносителя. В свою очередь теплоноситель промежуточного контура охлаждается в забортных теплообменниках за счет собственной естественной циркуляции (ЕЦ) и самопротока морской воды.

Конденсационная установка для перспективных АПЛ представлена на рис. 2.

При выполнении расчетов замкнутого аммиачного контура в составе испарителя аммиака – конденсатора водяного пара и конденсатора аммиака – забортной водой, работающего на принципах ЕЦ, применена следующая методика:

1. Количество тепла (тепловая мощность), переданное от пара аммиаку, равно количеству тепла, переданного аммиаком забортной воде. Это обусловлено тождеством температуры аммиака перед испарителем и после конденсатора.

2. Расчет теплообменников и гидравлических характеристик контура аммиака проводится по прототипу с расходом пара 10 т/ч.

3. Теплофизические характеристики сред взяты из [1, 2] и экстраполированы до нужного значения давления в контуре.

4. Основные расчетные зависимости для расчетов теплообмена без фазовых переходов взяты из [2].

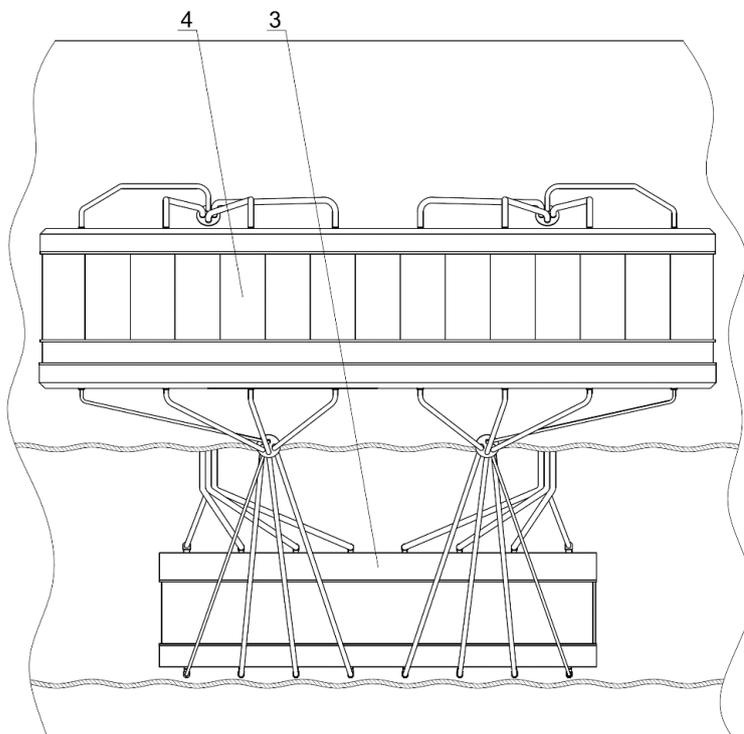


Рис. 2. Конденсационная установка на АПЛ
3 – блок забортных теплообменников; 4 – конденсаторный блок

Технические характеристики систем и оборудования

Характеристика	Значения при расходе пара, т/ч		
	10	30	210
Требуемый расход теплоносителя (аммиака), т/ч	19	58	403
Требуемая площадь испарителя аммиака, м ²	170	573	4180
Требуемая площадь конденсатора аммиака, м ²	300	673	32 006
Требуемый расход ЗВ через конденсатор аммиака, т/ч	5000	15 000	104 975

5. Оценка коэффициентов теплоотдачи при конденсации и кипении осуществляется по формуле Нуссельта [3].

6. В связи с наличием трех стадий теплообмена для аммиака в обоих аппаратах и двух стадий для пара в аммиачном испарителе коэффициент теплоотдачи определяется для каждой стадии отдельно, а затем принимается средневзвешенное значение пропорционально вкладу в общую передачу тепла.

7. Температура аммиака на выходе из испарителя и забортной воды на выходе из конденсатора принимаются ориентировочно, после чего уточняются итерационными расчетами соответствующих аппаратов.

8. Оценка напора ЕЦ делается с использованием формул Пуазейля и Блазиуса, значение гидравлического сопротивления по потоку аммиака в обоих аппаратах берется из [2].

9. Гидравлическое сопротивление остального контура принимается обратным счетом до достижения значения полезного расхода, равному требуемому по условиям теплообмена.

10. В обеспечение ЕЦ принято вертикальное расположение трубного пучка внутренних и забортных теплообменных аппаратов.

В соответствии с принятой методи-

кой выполнен расчет для расходов пара 10, 30 и 210 т/ч.

В результате расчетов было определено, что наибольшая часть тепловой мощности приходится на процессы фазовых преобразований пара и аммиака.

Термодинамика процессов в аммиачном контуре полностью обратима, вследствие чего распределение теплоты по стадиям теплообмена одинаково и

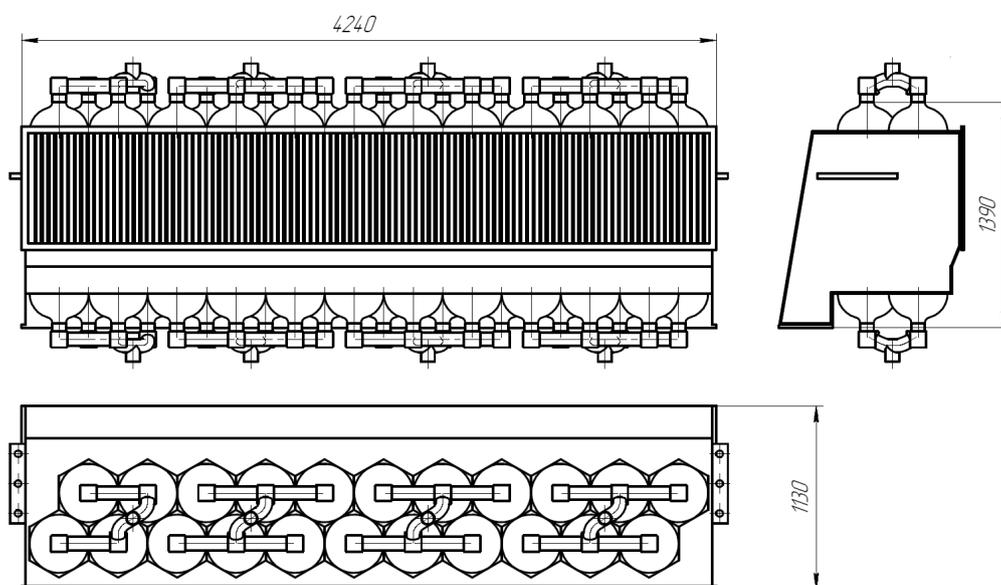


Рис. 3. Пример сборки теплообменника в междуортном пространстве на 10 т/ч

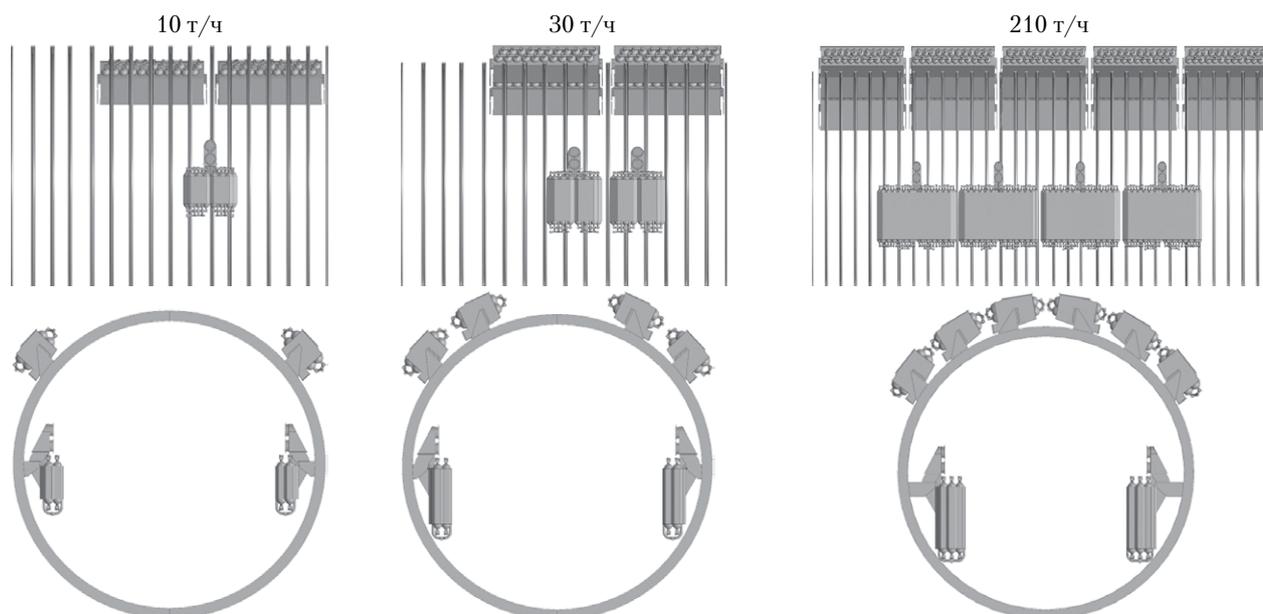


Рис. 4. Компоновка системы пассивного принципа действия для охлаждения ГК для параметров пара 10, 30, 210 т/ч

Сравнение массогабаритных характеристик забортных теплообменников системы пассивного действия охлаждения ГК

Характеристика	Значение характеристики при расходе пара, т/ч		
	10	30	210
Объем теплообменника, м ³	4,8	4,8	6,45
Габариты теплообменника, мм:			
– длина	4240	4240	4550
– ширина	1130	1130	1130
– высота	1390	1390	1690
Масса, т	2,780	2,780	3,736
Количество забортных теплообменников	4	8	30
Объем, занимаемый забортными теплообменниками, м ³	19,2	38,4	193,4
Масса общая, т	11,1	22,2	112,1

Таблица 3

Сравнение массогабаритных характеристик конденсационных установок системы пассивного действия охлаждения ГК

Характеристика	Значение характеристики при расходе пара, т/ч		
	10	30	210
Объем теплообменника, м ³	1,97	3,03	9,0
Габариты теплообменника, мм:			
– длина	2202	2202	4384
– ширина	1140	1140	1510
– высота	2640	3370	3675
Масса, т	3,3	5,08	15,14
Количество теплообменников в помещении	2	4	8
Объем, занимаемый теплообменниками в помещении, м ³	3,9	12,1	72,3
Масса общая, т	6,6	20,3	121,1

Таблица 4

Сравнение массогабаритных характеристик систем пассивного действия охлаждения ГК

Характеристика	Значение характеристики при расходе пара, т/ч		
	10	30	210
Объем, занимаемый теплообменниками, м ³	75,65	465,72	13974,25
Масса теплообменников, т	17,7	42,6	233,2

Таблица 5

Сравнение массогабаритных характеристик систем охлаждения ГК

Характеристика	Значение				
	Третье поколение АПЛ	Четвертое поколение АПЛ	Пассивного действия, на 10 т/ч	Пассивного действия, на 30 т/ч	Пассивного действия, на 210 т/ч
Система охлаждения ГК					
Общий объем, занимаемый, м ³	57,2	67,1	75,7	465,7	13974,3
Общая масса, т	36,8	43,2	17,7	42,6	233,2

- и жидкостей. – М.: Наука, 1972.
- Андреев П.А. и др. Теплообменные аппараты ядерных энергетических установок. – Л.: Судостроение, 1969.
- Сальников Е. В., Кирикова В. Г.

ЛТПИ-402.003.001–2022 «Исследование возможности применения системы пассивного действия для охлаждения главного конденсатора на перспективных АПЛ». ■

для испарителя, и для конденсатора (но с обратным знаком). При этом данная пропорция не зависит от мощности системы и справедлива для всех рассматриваемых расходов пара.

В результате расчетов получены характеристики систем и оборудования, – они приведены в табл. 1.

На основании выполненных оценочных расчетов определен облик системы пассивного принципа действия для охлаждения ГК для параметров пара 10, 30 и 210 т/ч. Разработана электронная геометрическая модель условного отсека с размещенной системой пассивного принципа действия для охлаждения ГК. Для этого созданы твердотельные геометрические модели оборудования, входящего в состав системы.

Модели созданы, исходя из рассчитанных габаритных размеров, количества и шага трубок. Опираясь на апробированные решения, применяемые на ГТС, изготовлен теплообменник в виде сборки идентичных теплообменников. При разработке требуемого теплообменника для охлаждения пара других параметров увеличивается количество сборок. Пример сборки теплообменника представлен на рис. 3.

Варианты компоновки системы охлаждения ГК пассивного принципа действия для параметров пара 10, 30, 210 т/ч приведены на рис. 4.

Сравнительный анализ массогабаритных характеристик составных частей системы пассивного принципа действия и самой системы на разные параметры пара представлены в табл. 2–4.

Результаты сравнительного анализа массогабаритных характеристик систем охлаждения ГК третьего и четвертого поколения АПЛ и системы пассивного принципа действия приведены в табл. 5.

Сравнительный анализ показал, что система пассивного принципа действия для охлаждения ГК имеет большие массогабаритные характеристики по сравнению с системой с принудительной циркуляцией.

В результате выполненной проработки определена принципиальная возможность размещения системы в отсеке условным диаметром 9000 мм длиной 13 000 мм при параметрах пара не выше 30 т/ч.

Для принятия решения о возможности внедрения системы пассивного принципа действия для охлаждения ГК на перспективных АПЛ необходимо дополнительно провести анализ всех виброакустических и эксплуатационных характеристик.

ЛИТЕРАТУРА

- Варгафтик Н.Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов

Активное использование акватории Мирового океана и внутренних вод судами различного назначения приводит к очевидной необходимости принятия мер экологической защиты. К одному из способов такой защиты относится применение низкоуглеродных и безуглеродных видов судовых топлив [1]; действуют также системы юридических норм, направленных на повышение энергоэффективности судов [2].

Отмеченное выше приводит к необходимости разработки и внедрения методологической базы, принципов, технологий и технических средств измерения, расчета, анализа и прогнозирования значений совокупности показателей, связанных с расходом топлива. К данной предметной области относятся некоторые виды деятельности как государственных организаций (в том числе ФАУ «Российский морской регистр судоходства» [3]), так и коммерческих («Спутник Сервис» [4], «Ивинкил» [5] и др.).

Известны исследовательские работы, в которых предлагаются методы определения расхода топлива и технические средства их реализации на основе косвенных признаков, в частности, в работе [6] расход определяется на основе значений показателей работы механизмов топливоподачи и физических показателей применяемого топлива (в частности, его плотности).

Подобные средства, основанные на использовании косвенных методов, обладают чувствительностью к действиям сторонних факторов (так, упомяну-

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИМЕНИМОСТИ РАСХОДОМЕРОВ ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ В СУДОВОЙ АППАРАТУРЕ ТОПЛИВОПОДАЧИ

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

тая выше плотность топлива определяется его составом и характеризуется зависимостью от температуры), а также чувствительностью к особенностям эксплуатации аппаратуры топливоподачи и энергетической установки.

Как видим, развитие методов и средств прямого измерения расхода топлива в ходе эксплуатации топливной аппаратуры судовых энергетических установок – актуальная задача.

АКТУАЛИЗАЦИЯ ТРЕБОВАНИЙ К РАСХОДОМЕРАМ И НАПРАВЛЕНИЕ ИХ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ

Принципы действия расходомеров распространенных типов и их характерные особенности широко известны и отражены не только в справочной, но и в учебно-методической литературе [7, 8].

Современные политико-экономические тенденции повышают актуальность задач импортозамещения, импортоопережения и локализации проектирования и производства расходомеров и их комплектующих на территории Российской Федерации, а в ходе развития систем измерения возникают дополнительные требования к их характеристикам, в частности к продолжительности их работы в необслуживаемом режиме, и возможности интеграции в цифровые системы измерения и управления.

Одним из направлений решения поставленных выше задач является поиск технических решений по удовлетворению совокупности требований к эксплуатации расходомеров общего назначения на судах посредством глубокой модернизации тех из них, проек-

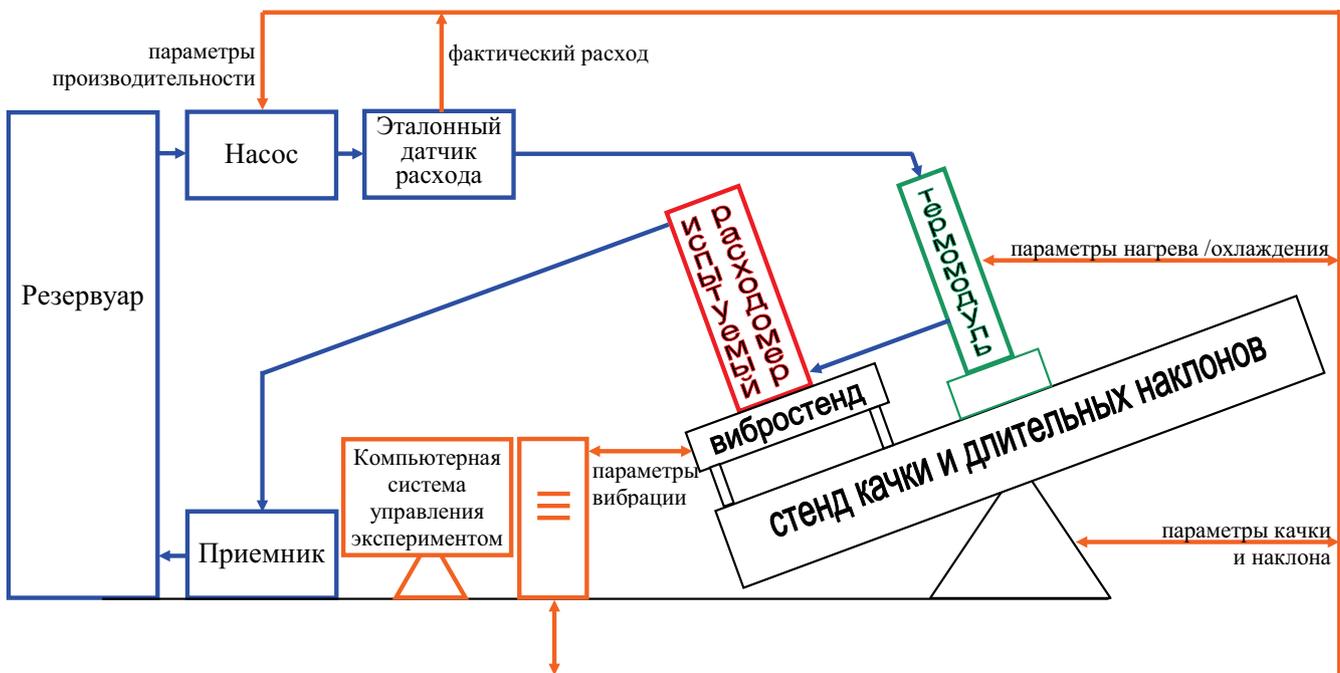


Рис. 1. Структура стенда для исследования расходомеров

тирование, производство и технологическая база которых уже локализованы на территории Российской Федерации.

Систематизация направлений модернизации расходомеров позволяет объединить их в три класса: конструкционная модернизация, системотехническая модернизация и комплексная модернизация.

К *конструкционной модернизации* относится, в частности, разработка устройств подготовки потока (в том числе для снижения его турбулентности и пульсации, порождаемых особенностями конструкции аппаратуры топливоподачи), а также модернизация элементов конструкции самого расходомера.

К *системотехнической модернизации* относится разработка схем измерения, позволяющих взаимно компенсировать ошибки измерения отдельных элементов схемы и повышать таким образом результирующую достоверность измерения.

Комплексная модернизация подразумевает сочетанное применение конструкционной и системотехнической модернизации.

СТЕНДОВОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК РАСХОДОМЕРОВ

Задача поиска новых технических, конструктивных и технологических решений в области принципов действия расходомеров судового применения, обеспечивающих дальнейший рост значений их эксплуатационных характеристик, представляется бесспорно актуальной.

Наряду с расчетным и модельным этапами реинжиниринга расходомеров общего назначения для их применения на судах безусловно необходимым представляется этап натурного моделирования работы расходомера в

условиях, приближенных к условиям судовой эксплуатации.

Для этих целей авторами предлагается исследовательский стенд, структурная схема которого показана на рис. 1.

Жидкость конкретного физико-химического состава отбирается из резервуара хранения насосом и, пройдя через эталонный датчик расхода, поступает в термомодуль, задающий ее температуру, после чего проходит через испытываемый расходомер, очищается в приемнике и вновь возвращается в резервуар. Испытываемый расходомер установлен на вибростенде, что позволяет подвергать его воздействиям вибраций в любых плоскостях, а вибростенд, в свою очередь, установлен на стенде качки и длительных наклонов, имитирующем изменение положения корпуса судна при движении на волне.

Параметры производительности насоса, температурные характеристики жидкости, направление, амплитуда и частота вибраций, угол наклона, амплитуда и частота качки задаются компьютерной системой управления экспериментом, ею же регистрируются фактические значения перечисленных параметров.

Подобная схема организации эксперимента позволяет воссоздавать условия эксплуатации судовой топливной аппаратуры, подвергаемой температурным и вибрационным воздействиям от окружающего машинного оборудования, воздействиям крена и качки при движении, а также изменениям интенсивности потока топлива, что в целом обеспечивает реалистичность условий испытания расходомеров.

Анализ регистрационных данных, полученных описанной выше компьютерной системой, позволяет определить условия, при которых показания

испытываемого расходомера начинают отклоняться от фактических, а следовательно, позволяет выработать подходы к конструкционной и системотехнической модернизации расходомеров для их применения в судовой аппаратуре топливоподачи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Березкин М.Ю., Ситюгин О.А. Перспективы низкоуглеродного развития энергетики России // Окружающая среда и энерговедение. – 2019. – №2. – С. 4–13.
2. Черный С.Г., Соболев А.С. Обзор процессов формирования и повышения энергоэффективности на судах (нормативные и экономические аспекты) // Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета, 2023. – № 3. – С. 78–89.
3. Сервис по расчету углеродной интенсивности судна. – Электронный ресурс, URL: <https://rs-class.org/news/general/rs-vnedril-servis-po-raschetu-uglerodnoy-intensivnosti-sudna/> Дата обращения 30.01.2024.
4. Круговой учет и контроль топлива на судне. – Электронный ресурс, URL: <https://sputnik-flot.ru/krugovoj-uchet-topliva-na-sudne> Дата обращения 30.01.2024.
5. Калькулятор углеродной интенсивности судна. – Электронный ресурс, URL: <https://evkeel.com/calculatorcii> Дата обращения 30.01.2024.
6. Орлов А.Е. Методика определения расхода топлива и эффективной мощности судовых ДВС в условиях эксплуатации. Дисс. на соискание уч. степ. канд. тех. наук. – СПб.: СПбГУВК, 2009. – 158 с.
7. Карпов В.А., Хананов В.А. Специальные измерения в промышленной электронике. – Гомель: Изд-во ГГТУ, 2014. – 102 с.
8. Кулебякин В.В. Методы и приборы для измерения расхода жидкостей и газов. – Минск: Изд-во БНТУ, 2017. – 46 с. ■

Благодаря быстрому прогрессу в области твердотельной полупроводниковой технологии стало реальным создание единой электроэнергетической системы (ЕЭЭС), предусматривающей широкое внедрение электрических систем (ЭС). Новейшие достижения в области материалов, используемых в передовых электромагнитных устройствах, таких как высокотемпературные сверхпроводники и постоянные магниты, позволяют существенно увеличить удельную мощность и КПД ЭС.

Потенциально ЕЭЭС будет представлять собой гибкую и легко модернизируемую систему открытой архитектуры с использованием типовых модулей машинного оборудования.

На судне, спроектированном с ЕЭЭС, источником электроэнергии в основном является синхронный генератор, который приводится в действие первичным двигателем (в основном представлен дизельным ДВС или газотурбинной установкой). При этом для кораблей, где одним из важнейших показателей является соотношение мощности к весу, гораздо предпочтительнее использовать газовую турбину [2].

Использование аккумуляторных батарей и водородных топливных ячеек как основного источника энергии считается одной из перспективных технологий. И хотя данные технологии предоставляют ряд существенных преимуществ, однако в текущем виде их использование для судов со средним и высоким потреблением энергии затруднительно [6].

ДИЗЕЛЬНЫЕ ГЕНЕРИРУЮЩИЕ УСТАНОВКИ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОДВИЖЕНИЯ

Для использования в качестве генерирующей установки в системах электродвижения в основном применяются средне- и высокооборотистые дизельные двигатели с фиксированной скоростью вращения, что позволяет добиться максимального КПД.

В исследовании, опубликованном в «Man Marine engine programme 2020» [9], представлена кривая удельного расхода топлива дизельного двигателя (рис. 1). Кривая построена с использованием единиц измерения, принятых для дизельных двигателей, работающих на уровне 900 об/мин, с фиксированной скоростью в нормальных условиях.

Дизельный двигатель для системы движения и генерации электроэнергии проектируется для обеспечения оптимального крутящего момента в диапазоне мощности на валу и скорости вращения, необходимой для работы в операционной области, известной как рабочая область двигателя (рис. 2) [7].

ТЕКУЩЕЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СПОСОБОВ ГЕНЕРАЦИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОДВИЖЕНИЯ СУДОВ

С.А. Казанов, руководитель ОС СМК «Судосерт», начальник 12 НИО НИИ «Лот», аспирант, ФГУП «Крыловский государственный научный центр», контакт. тел. +7 (962) 727 6964

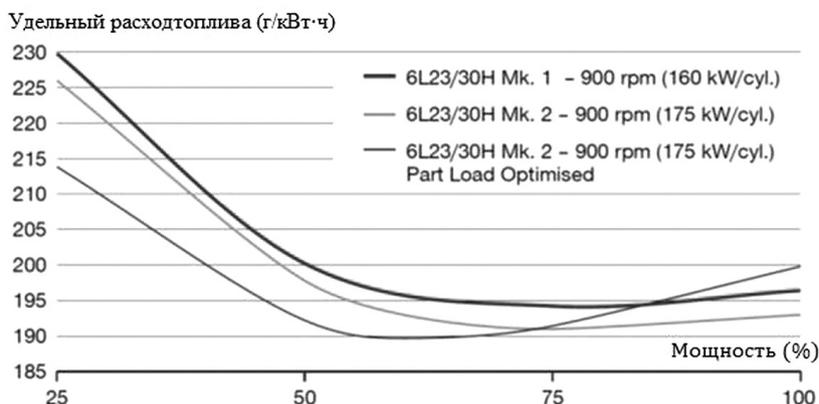


Рис. 1. Кривая удельного расхода топлива дизельного двигателя в зависимости от нагрузки

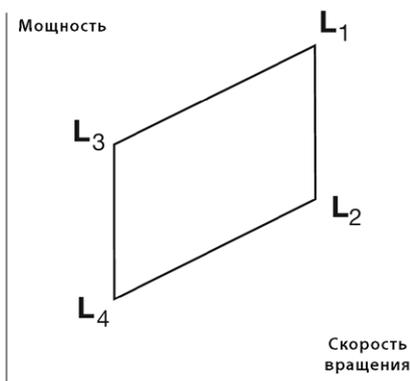


Рис. 2. Рабочая область двигателя

В задачах генерации энергии контроллер скорости вращения двигателя обычно запрограммирован работать в пределах операционной области, обозначенной на рис. 2, с постоянной скоростью в районе L1 – L2. В данном случае кривая удельного расхода топлива будет выглядеть, как представлено на рис. 1. Если двигатель управляется в пределах операционной области, его удельный расход будет представлен как функция нагрузки и скорости вращения, представленной на карте удельного расхода топлива на рис. 3 [8].

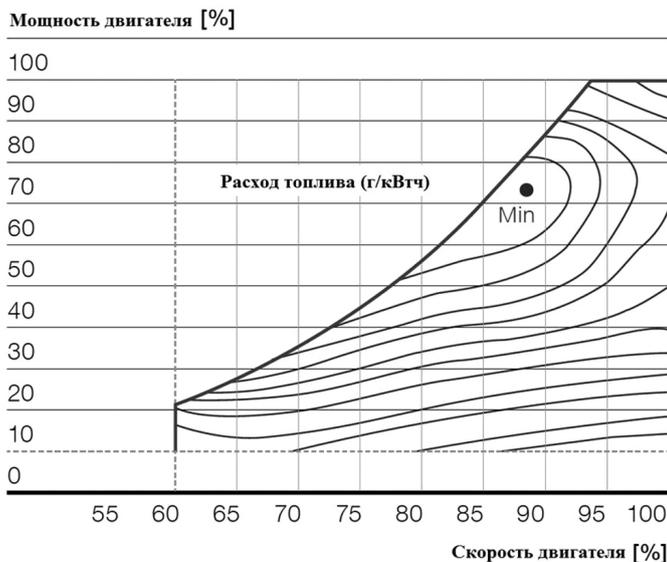


Рис. 3. Карта расхода топлива судового дизельного двигателя

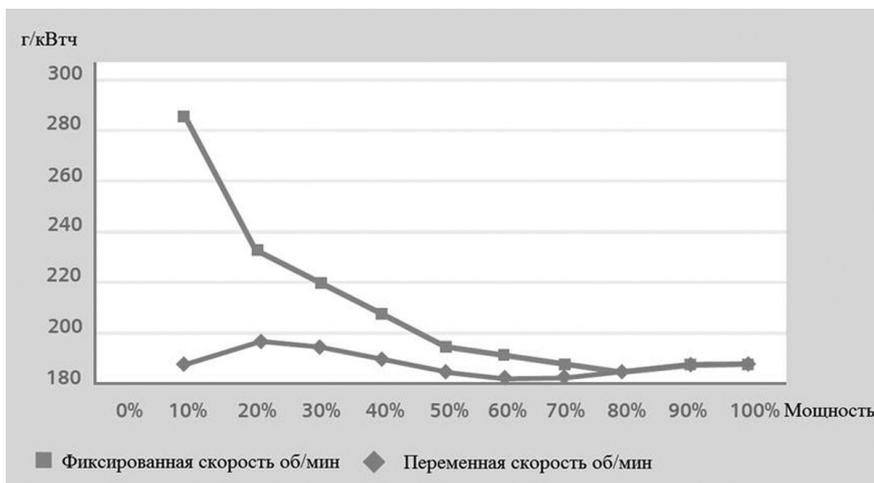


Рис. 4. Сравнение расхода топлива дизельных двигателей с фиксированной и изменяемой скоростью вращения

На рис. 4 представлены кривые расхода топлива между дизельными двигателями для генерации электроэнергии с фиксированной и переменной скоростью вращения [12]. На диаграмме сопоставляется удельный расход топлива двух типов двигателей как функция от нагрузки на двигатель для двигателей с фиксированной и изменяемой скоростью вращения.

Дизельные судовые электрогенераторы с изменяемой скоростью имеют некоторые преимущества в экономичности, благодаря возможности изменения скорости вращения в зависимости от нагрузки, по сравнению с двигателями с фиксированной скоростью (при работе с неполной нагрузкой). Как видно на графике, удельный расход примерно одинаков при нагрузке более 40%, однако при нагрузке ниже этого значения удельный расход для двигателя с фиксированной скоростью

существенно возрастает, особенно для нагрузок ниже 15%.

ГАЗОТУРБИННЫЕ УСТАНОВКИ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОДВИЖЕНИЯ

Газотурбинные установки (ГТУ) используются в различных системах движения. В судовых системах движения они используются как в одиночку, так и в составе комбинированной энергетической установки (в основном с дизельными двигателями).

ГТУ в системах электродвижения хорошо подходит для кораблей, благодаря своей компактности, высокой плотности мощности и быстрому запуску (она может выходить на полную мощность за 30 секунд).

Эффективность ГТУ определяется разностью между всей выработанной газовой турбиной мощностью и мощностью, потребленной компрессором для сжатия подаваемого в камеру сгорания воздуха.

Для повышения эффективности газовой турбины простого цикла нужно уменьшить мощность, потребляемую компрессором. Но в таких ГТУ для снижения мощности, потребляемой компрессором, необходимо понизить степень сжатия воздуха, что приводит к снижению температуры на выходе из компрессора. В результате в камеру сгорания поступит менее нагретый воздух, следовательно, потребуется сжечь больше топлива в камере сгорания газовой турбины.

Способом повышения эффективности газотурбинного цикла является ввод промежуточного охлаждения сжимаемого воздуха, так как чем меньше температура сжимаемого воздуха, тем меньше его удельный объем и, соответственно, тем меньше затрачиваемая на сжатие воздуха в компрессоре работа. При этом компрессор фактически делится на два компрессора – низкого (КНД) и высокого давления (КВД), между КНД и КВД устанавливается промежуточный охладитель. Недостатком такой схемы является удорожание стоимости компрессора. КПД промежуточного охладителя определяется тем, сколько теплоты он отводит относительно теплоты нагрева воздуха, добавленной при сжатии его компрессором:

$$\eta_{по} = (T_2 - T_3) / (T_2 - T_1),$$

где T_1 – температура воздуха на входе в компрессор, T_2 – температура воздуха после компрессора низкого давления, T_3 – температура воздуха после промежуточного охладителя.

Использование регенеративной схемы ГТУ (рис. 5) также позволяет повысить эффективность цикла. В такой схеме сжатый воздух после компрессора

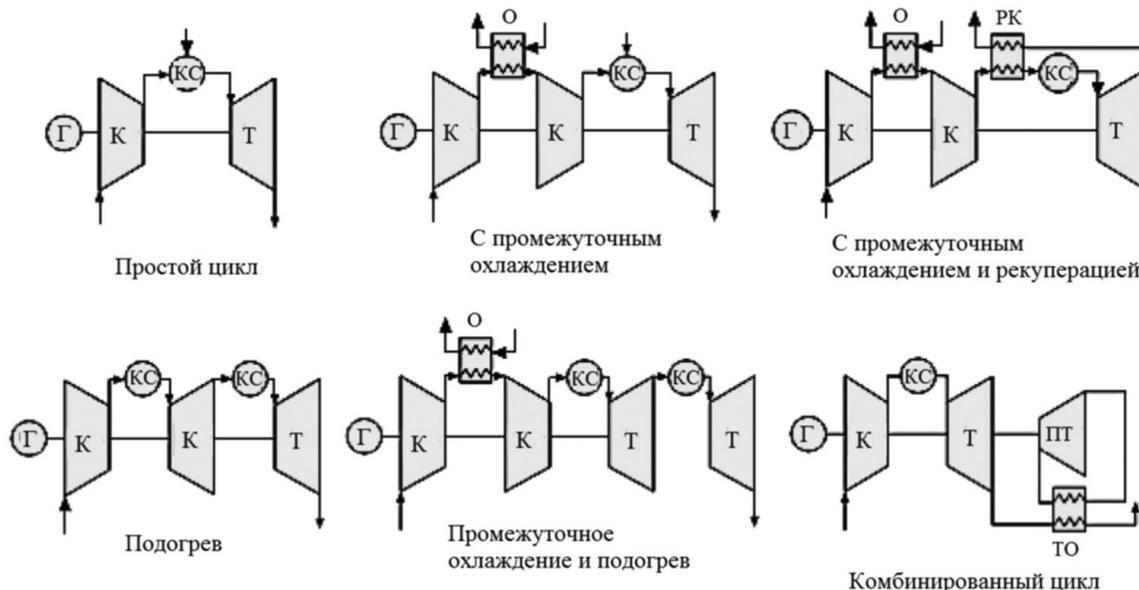


Рис. 5. Пути повышения КПД ГТУ

Г – генератор, К – компрессор, Т – турбина, КС – камера сгорания, О – охладитель, Р – рекуператор, ТО – теплообменник, ПТ – паровая турбина

Эффективность различных способов повышения КПД ГТ

Цикл	Удельная мощность, кВт	КПД, %	Изменение мощности, %	Изменение КПД, %
Основной	325,64	36,54	–	–
С рекуперацией	325,64	47,18	0,00	29,12
С теплообменником и рекуперацией	436,33	49,17	33,99	34,56
С добавлением пара (5%, 400° С)	352,38	44,23	10,26	27,12
С промежуточным охлаждением	385,80	35,27	18,47	–3,48
С подогревом	426,33	33,29	30,92	–8,89
С промежуточным охлаждением и подогревом	486,48	32,88	49,39	–10,02
С промежуточным охлаждением и рекуперацией	385,80	53,41	18,47	46,17
С промежуточным охлаждением, рекуперацией и подогревом	486,48	55,67	49,39	52,35
Рекуперация и подогрев	426,33	50,73	30,92	38,83
Смешанный(комбинированный) цикл	474,29	54,82	45,65	50,03

ра поступает в регенеративный теплообменник, где происходит его нагрев за счет теплоты уходящих из газовой турбины газов. В предельном регенеративном цикле предполагается, что воздух может быть нагрет до температуры уходящих из турбины газов, но в этом случае регенеративный теплообменник должен иметь бесконечно большую поверхность теплообмена. Поэтому предельную регенерацию осуществить невозможно и на практике степень регенерации (доля теплоты уходящих газов, реально используемой при регенерации) составляет 0,5–0,8.

В работе [5] авторы представили исследование эффективности вышеописанных модификаций (табл. 1). Параметры испытательной установки: коэффициент сжатия – 12, температура горения – 1400 К, температура воздуха – 288 К, изоэнтропийный КПД компрессора – 87%, турбины – 89%, КПД регенератора – 85%. Потери давления пренебрегли, горение адиабатическое. Для паровой турбины смешанного цикла $P_{\max} = 7$ МПа, $T_{\max} = 500$ °С, $P_{\min} = 5$ кПа и выходная температура теплообменника – 450 К.

Как пример судового ГТУ электрогенератора рассмотрим электрогенератор «General Electric» мощностью 25 МВт. В данной генерирующей установке используется газовая турбина простого цикла, коэффициент сжатия – 18:1 (16 этапов).

Основные технические характеристики электрогенератора «General Electric»

Выходная мощность, кВт	25 060
Удельный расход, г/кВт·ч	227
Выходной воздушный поток, кг/с	71
Температура выхлопа, °С	566
Скорость вращения, об/мин	3600
Масса, кг	20 639

С данной ГТУ используется генератор на 25 МВт в составе судовой электрогенератор (рис. 6).

Вышеописанный обзор позволяет сделать вывод, что ГТУ является одним из лучших кандидатов для использования в энергоустановке перспективных кораблей, благодаря таким достоинствам, как размер, низкая шумность, низкие вибрационные показатели и пр.

ГЕНЕРАТОРЫ

Генераторы преобразовывают механическую энергию вращения основного двигателя в электроэнергию. В судовых системах электродвижения в основном используются электрогенераторы с фазным ротором, работающим на фиксированной скорости [2]. Также недавно стали применять синхронные генераторы с постоянными магнитами, особенно с дизельными двигателями

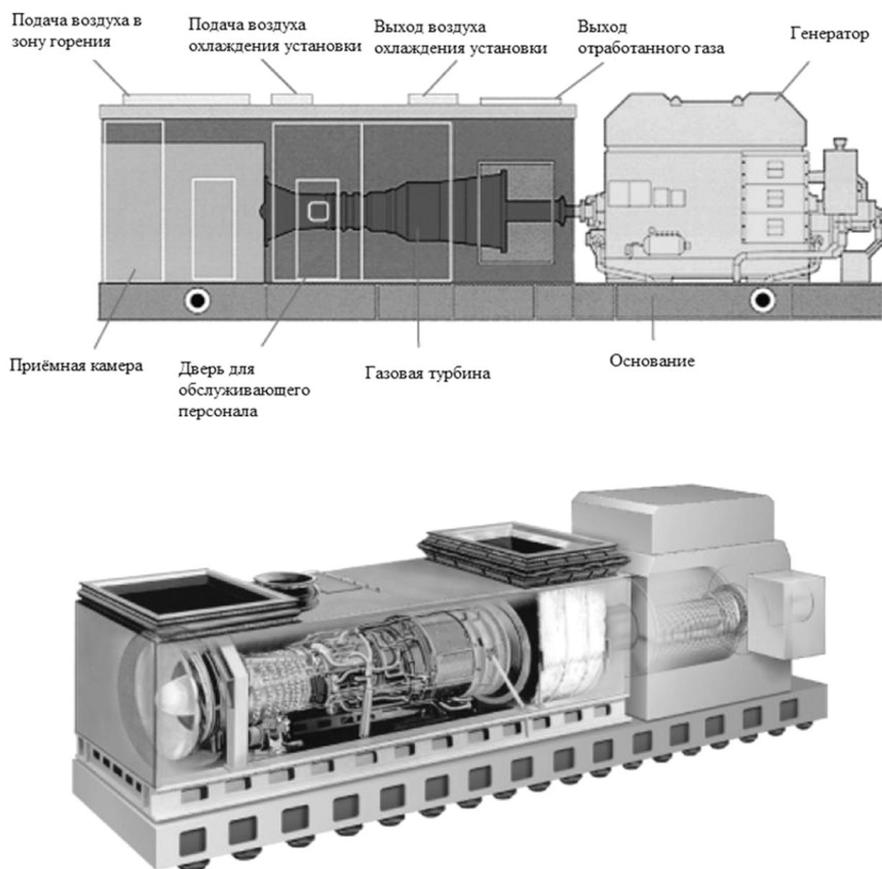


Рис. 6. Судовой газотурбинный электрогенератор GE 25 МВт (схема и общий вид)

с переменной скоростью [6]. Генераторы на высокотемпературных сверхпроводниках имеют на сегодняшний день огромный потенциал стать самыми перспективными для использования на судах. На текущий момент множество исследователей [4,13] придерживаются мнения, что данный вид генераторов будет оптимальным для использования на судах и в особенности на кораблях, благодаря своему высокому

КПД и сниженным массогабаритным характеристикам.

Электрогенераторы с фазным ротором – самые распространенные в мире. Они применяются в генерирующих установках мощностью от нескольких киловатт до нескольких гигаватт. В судовых энергоустановках такие генераторы в основном используются с дизельными двигателями с постоянной скоростью вращения для производства 50 или 60 Гц

Зависимость необходимой скорости вращения двигателя от количества полюсов генератора

Количество полюсов	Рекомендуемая скорость (об/мин) 50 Гц	Рекомендуемая скорость (об/мин) 60 Гц
2	3000	3600
4	1500	1800
6	1000	1200
8	750	900
10	600	720

электроэнергии. Также их можно применять с двигателями с переменной скоростью, используя контроллер напряжения и частоты.

В системах электродвижения генераторы вырабатывают электроэнергию напряжением до 6600 В. Допустимая скорость вращения генератора находится в диапазоне от 600 до 3600 об/мин в зависимости от количества полюсов. Номинальная оптимальная скорость вращения для дизельного двигателя с фиксированной скоростью, работающего в паре с электрогенератором с фазным ротором, зависит от количества полюсов и частоты тока (табл. 2).

Скорость вращения генератора также связана с его весом, как показано на рис. 7.

Как можно увидеть из графика, при одинаковой мощности чем меньше скорость генератора, тем выше его масса. Это связано с тем, что чем больше полюсов у генератора, тем больше используется металла для его создания, что существенно увеличивает массу.

Другая важная характеристика – это изменения КПД в зависимости от нагрузки. (рис. 8) [11].

На рис. 8 показаны типичные значения КПД электрогенерации в зависимости от нагрузки для различных коэффициентов мощности. Как можно заметить, самые большие значения КПД достигается в диапазоне 50–80% нагрузки, в то время как при нагрузке в 40% и ниже КПД существенно снижается.

Синхронный генератор на постоянных магнитах имеет такую же конструкцию, как вышеописанный, но в ней используется ротор на постоянных магнитах вместо фазного ротора. Постоянный магнит, сделанный из редкоземельных магнитов, создает постоянное магнитное поле без какой-либо дополнительной энергии, которое индуцирует трехфазное напряжение в обмотках статора.

Благодаря своей конструкции, генератор на постоянных магнитах имеет меньший вес, чем электрогенератор с фазным ротором при схожих характеристиках (на 20–30%). Более того, благодаря отсутствию электропитания на роторе, КПД таких генераторов выше, чем аналогичных генераторов с фазным ротором [3].

В электрогенераторе с фазным ротором выходное напряжение зависит от крутящего момента основного двигателя. Для обеспечения частоты тока в 50 или 60 Гц необходимо поддерживать фиксированную скорость основного двигателя. Выходное напряжение регулируется током в обмотке возбуждения.

В таких электрогенераторах магнитное поле ротора постоянно, поэтому на-

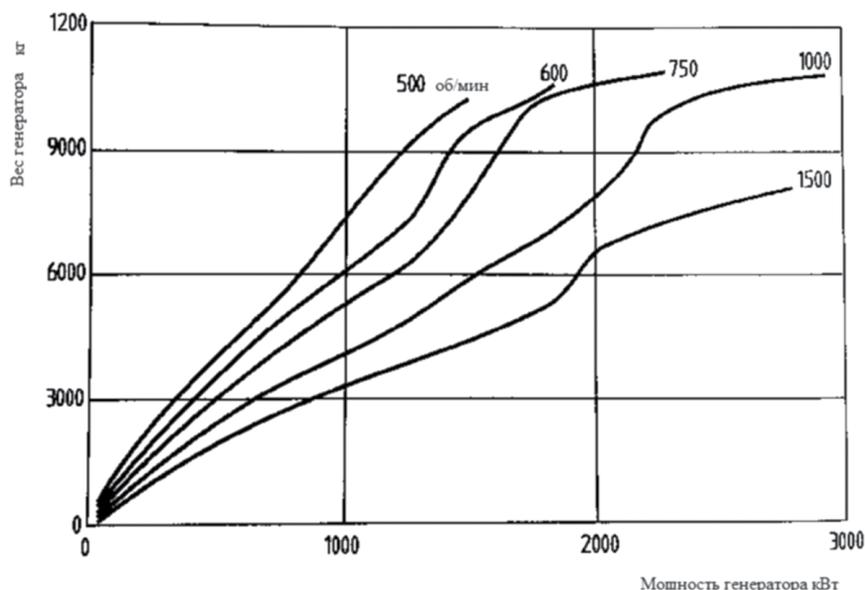


Рис. 7. Зависимость веса генератора от его мощности для 50 Гц

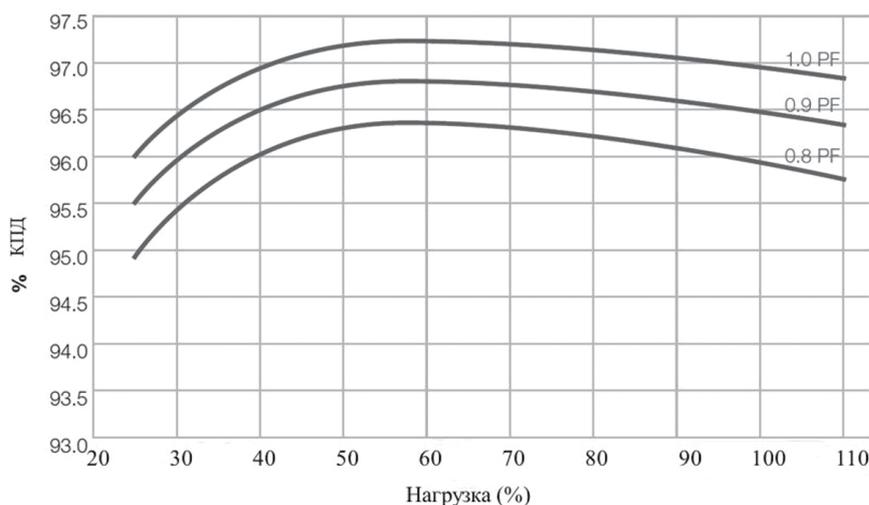


Рис. 8. Зависимость КПД генератора от нагрузки

пряжение и выходная мощность зависят от скорости вращения и крутящего момента. Следовательно, при возрастающих нагрузках требуется повышение скорости и изменяется частота выходного напряжения.

В настоящее время доступны промышленные генераторные установки такого типа номинальной мощностью до 3,6 мВт со скоростью вращения от 0 до 3000 об/мин [2].

Так как производимая электроэнергия имеет переменное напряжение и

частоту, в энергетической установке судна необходимо обязательно предусмотреть установку выпрямителя или инвертора.

ВОДОРОДНЫЕ ТОПЛИВНЫЕ ЯЧЕЙКИ

Важнейшие преимущества водородных топливных элементов (по сравнению с дизелем) следующие [14]:

- высокая эффективность и крайне низкий уровень выбросов: топливные элементы обеспечивают более

высокую эффективность, поскольку преобразуют химическую энергию непосредственно в электрическую. Вредные выбросы в процессе эксплуатации таких топливных элементов незначительны;

- низкий уровень шума. Отсутствие движущихся элементов в процессе генерации электроэнергии существенно снижает шумность;
- снижение затрат на техническое обслуживание, благодаря уменьшению количества движущихся частей;
- хорошая модульность/производительность при частичной нагрузке: Топливные элементы являются модульными и более эффективны при частичных нагрузках по сравнению с дизельными двигателями.

Основные проблемы, возникающие при использовании водородных топливных элементов на морском транспорте: капитальные и эксплуатационные затраты, проблемы хранения водорода, поставки топлива, технологическая зрелость, вопросы безопасности и т.д. Относительно высокая цена использования этой технологии – одно из самых больших препятствий для ее коммерческого внедрения. При этом топливные элементы способны конкурировать с проверенными и надежными технологиями.

ВЫВОДЫ

Одним из основных факторов, сдерживающих использование ЕЭЭС как на судах, так и на боевых кораблях и подводных лодках, считается создание мощных, приемлемых по массогабаритным характеристикам и стоимости ГЭД и генераторов. ГТУ является одним из лучших кандидатов для использования в энергоустановке перспективных кораблей, благодаря таким достоинствам, как размер, низкая шумность, низкие вибрационные показатели и пр., но имеет и свои недостатки.

На текущий момент в России активно ведется разработка двигателей

и энергогенерирующих установок перспективных боевых кораблей и судов с концепцией ЕЭЭС, однако ощущается острая потребность в дополнительном инвестировании в передовые отечественные разработки СЭУ, в том числе на НИОКР.

Также остро стоит проблема штучности изготовления, что вызывает существенное удорожание. Для преодоления этого препятствия необходима разработка серийных моделей генераторов, которые можно устанавливать на различных платформах, а также увеличение заказов для производства на российских верфях.

При использовании ЕЭЭС на кораблях и судах также существует проблема увеличения их водоизмещения по сравнению с кораблями, использующими традиционную ЭУ. Например, водоизмещение ЭМ УРО типа 45 ВМС Великобритании на 400 – 800 т превышает таковое кораблей практически с аналогичным составом вооружения, создаваемых по программе «Horizon» для ВМС Франции и Италии.

Анализ состояния исследований и разработок по созданию ЕЭЭС дает основание полагать, что в настоящее время основные усилия прилагаются к осуществлению перехода кораблей и судов на электродвижение, при этом прогресс в области оптимизации процессов генерации энергии имеет ключевую роль в этом случае.

ЛИТЕРАТУРА

1. ABB High speed permanent magnet generators, 2020. – <https://new.abb.com/motors-generators/generators> Дата обращения: 03.12.2020
2. Adnanes A. K. Maritime Electrical Installations and Diesel Electric Propulsion. – ABB AS Marine and Turbocharging Tutorial Report, 2003.
3. Amler G., Koerner O., Kracht P. Diesel electric propulsion system with PM generator and new combined rectifier and braking chopper topology. – International Sympos-

ium on Power Electronics Electrical Drives Automation and Motion. – The Institute of Electrical and Electronic Engineers. – 2010. – P. 724–729.

4. Gieras J. F. Advancements in Electric Machines. – Rockford (United States): Springer, 2008.
5. Kayadelen H. K., Üst Y. Marine Gas Turbines 7th International Advanced Technologies Symposium (IATS'13), 30 October – 1 November 2013, Istanbul, Turkey.
6. Leo T. J., Durango J. A., Navarro E. Energy Analysis of PEM fuel cells for marine applications//Energy/ – 2010. – №35. – P. 116–1171.
7. Man diesel & turbo. Basic Principles of Ship Propulsion. 2012. – <https://www.yumpu.com/en/document/read/3274560/basic-principles-of-ship-propulsion-man-diesel-turbo> Дата обращения: 07.09.2020.
8. Man diesel & turbo. Eprox. Energy-saving electric propulsion system. 2020. – <https://www.mandieselturbo.com/docs/default-source/shopwaredocuments/eproxfb61b23d3d7d46df916f5c3ec7b75b64.pdf> Дата обращения: 07.09.2020.
9. Man Marine engine programme. 2020. – <https://www.man-es.com/marine/products/planning-tools-and-downloads/marine-engine-programme> Дата обращения: 07.09.2020
10. Patel M. Shipboard Propulsion, Power Electronics and Ocean Energy. – Boca Raton, Florida: CRC Press, 2012.
11. Power topic #6004 Technical information from Cummins Power Generation 2020/ – <https://incal.cummins.com/www/literature/technicalpapers/PT-6004-PowerFactorTests-en.pdf> Дата обращения: 12.10.2020
12. Siemens BlueDrive PlusC 2020. – <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:36bce2d7-5781-47b2-b26b-954c0db64b35/bluedrive-plusc.pdf> Дата обращения: 17.10.2020
13. Sivasubramaniam K. et al. High-Temperature Superconducting Homopolar Inductor Alternator for Marine Applications// IEEE Transactions on Applied Superconductivity, 2008. – Vol. 18. – № 1. – P 1–6 (March).
14. Tronstad T., Astrand H.H., Haugom G.P., Langfeldt L. Study on the use of fuel cells in shipping//EMSA Eur Marit Saf Agency. – 2017. – №1. – P.108. ■

Электродвигатель шаговых двигателей может создавать два типа движений: вращательное или поступательное.

Роторные шаговые двигатели можно классифицировать в соответствии с физическим явлением, которое вызывает их движение. В основном различают две категории этих двигателей: с переменным сопротивлением и поляризованные.

Вращающиеся шаговые двигатели с переменным сопротивлением. Вращение этих двигателей вызывается реакцией между статорным магнитным полем и выступающим ротором, которая приводит к выравниванию выступающей части с полюсом, создаваемым магнитным полем. В этих условиях поток максимальный, а сопротивление магнитопровода минимальное. Этот тип двигателя характеризуется зубчатой структурой на роторе и статоре. Количество катушек в статоре и тип соединения определяют количество фаз двигателя [1–5]. На рис. 1 показан приводящий в движение такой двигатель с шестью контактами на статоре (1,1'; 2,2'; 3,3') и четыре зуба на роторе.

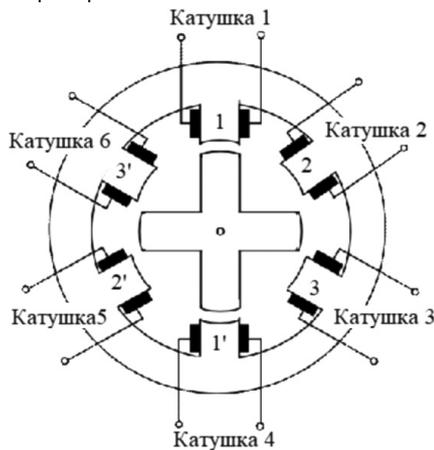


Рис. 1. Классическая конструкция вращающегося двигателя с переменным сопротивлением двойного действия

Каждая пара из двух катушек статора, диаметрально противоположных и соединенных последовательно, составляет одну из трех фаз рассматриваемой машины. Подача одной фазы создает крутящий момент, позволяющий перемещать ротор в положение равновесия, которое он сохраняет до тех пор, пока поддерживается подача. Это равновесное состояние соответствует выровненному положению между несущими зубьями статора в фазе подачи и зубьями ротора. Каждая новая последовательность кормления устанавливает новый баланс. Таким образом, двигатель движется с угловым шагом 60°. Чтобы увеличить угловое разрешение этих двигателей, можно рассмотреть конструкции с несколькими магнитными цепями, так

РАЗЛИЧНЫЕ ТИПЫ И СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ШАГОВЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ

И.Л. Титов, канд. техн. наук, доцент, зам. декана Керченского ГМТУ, vanya-titov-1993@mail.ru

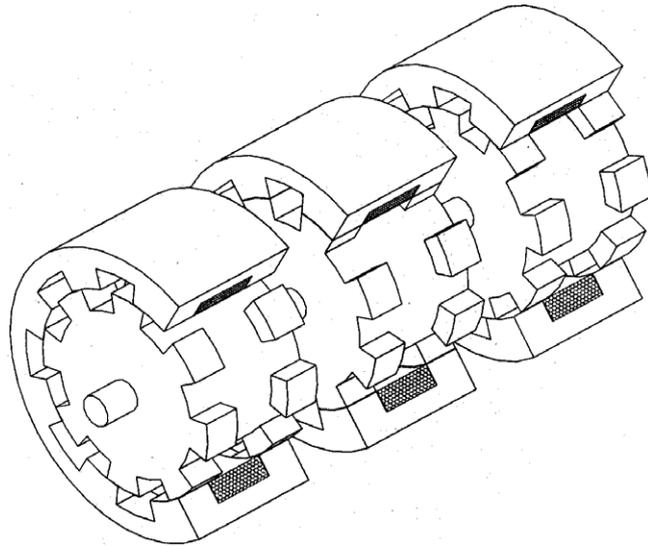


Рис. 2. Многоступенчатый шаговый двигатель с переменным сопротивлением

называемые мультистековые. Эти двигатели в основном бывают двух форм [3–6] и содержат:

- совокупность нескольких идентичных однофазных машин, механически собранных на одном валу;
- один статор, имеющий несколько магнитно независимых, но механически соединенных роторов.

Во всех этих механизмах ротор и статоры имеют одинаковое количество зубьев, движение достигается за счет механического смещения роторов или статоров относительно друг друга. На рис. 2 показана многоступенчатая машина с тремя статорами.

Поляризованные роторные шаговые двигатели. Работа двигателей с постоянными магнитами обеспечивается дей-

ствием статорного электромагнитного поля на ротор, состоящий из постоянных магнитов (рис. 3). Обмотки намотаны на контактные площадки, равномерно распределенные по статору.

Шаговые двигатели с постоянными магнитами часто питаются от биполярного тока, поэтому обмотки 1 и 2 (см. рис. 3) соединены последовательно и образуют только одну фазу (значение), а обмотки 3 и 4 образуют вторую фазу, смещенные между собой на угол $f/2$.

Последовательная подача положительных и отрицательных фаз может вызвать вращательное движение между различными положениями равновесия.

Гибридные шаговые двигатели обычно состоят из зубчатого ротора с постоянными магнитами. Ротор имеет два полярных диска, смещенных на один электрический угол (рис. 4).

Этот тип двигателей обладает преимуществами как двигателя с постоянными магнитами, имеющего высокий крутящий момент, так и двигателя с переменным сопротивлением, который позволяет достигать значительного количества шагов за оборот. Однако инерция такого ротора, а также потери железа относительно велики и, следовательно, влияют на эту структуру.

Линейные шаговые двигатели, как и вращающиеся версии, состоят из статора, несущего обмотки, и подвижной части, движущейся на этот раз линейно. Эта подвижная часть может быть изготовлена из зубчатой ферромагнитной

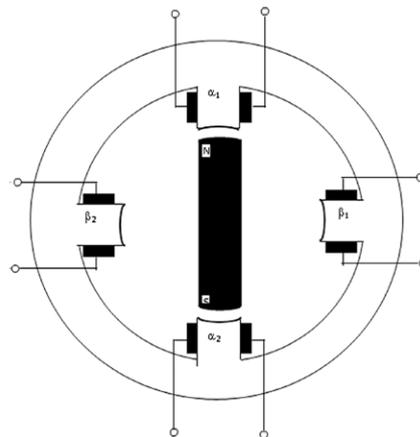


Рис. 3. Конструкция двигателя с вращающимся постоянным магнитом

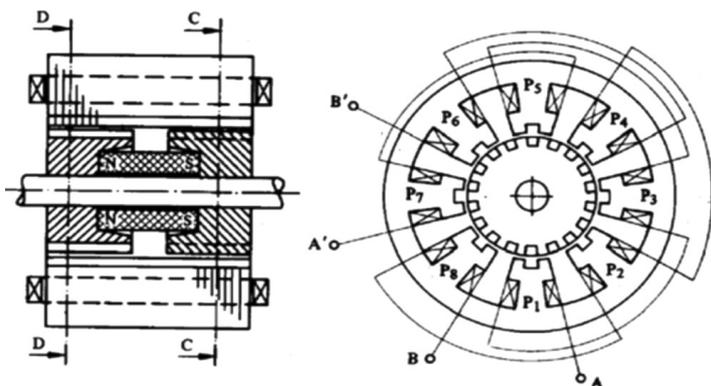


Рис. 4. Конструкция гибридного двигателя с восемью обмотками

детали (в этом случае структура называется сопротивляющейся или пассивной) либо подвижная часть снабжена постоянными магнитами (в этом случае структура называется поляризованной или активной) [6–8].

Линейный шаговый двигатель с переменным сопротивлением характеризуется переменной конструкцией статора и подвижной части. Магнитопровод обычно собирается из магнитных листов с высокой проницаемостью. Однако машины, предназначенные для позиционирования или медленного перемещения, могут быть изготовлены с использованием массивных деталей. Обмотки электрической цепи обычно сосредоточены вокруг выводов статора, и поэтому их легко изготовить. На рис. 5 показана линейная структура с переменным сопротивлением с двумя модулями статора, каждый модуль имеет две контактные площадки, вокруг которых намотаны катушки. Каждая фаза машины формируется путем последовательного соединения двух катушек одного и того

же модуля. Магнитные зазоры необходимы между различными статорными модулями для обеспечения смещения. Это связано с тем, что если шпильки одного модуля выровнены с зубьями подвижной части, шпильки других статорных модулей должны быть смещены, чтобы иметь возможность создавать движущую силу.

Каждая фаза задает движущейся части положение равновесия, соответствующее выравниванию ее зубьев с контактами статора в фазе с питанием.

На рис. 5, а подвижная часть совмещена с зубьями модуля 1, на рис. 5, б подвижная часть совмещает свои зубья с зубьями модуля 2.

Линейные шаговые двигатели с поляризацией и двигатели с постоянными магнитами имеют гладкую движущуюся часть, которая образована последовательно постоянных магнитов, установленных на поверхности.

Движение гибридных двигателей происходит в результате наложения силы, создаваемой отталкивающим действием зубьев, и силы, создаваемой

магнитом. Вклад геометрических величин и периодов этих сил позволяет реализовать очень разнообразные статические характеристики. Это связано с тем, что магнит, помещенный в гибридную структуру, обеспечивает определенное распределение силовых линий. Подача на катушки приводит к более или менее значительному сдвигу силовых линий в зависимости от силы питающего тока. Играв на ориентации силовых линий, можно контролировать изменение результирующей силы.

На рис. 6 показан линейный двигатель с биполярным поляризованным излучателем, в котором магнит и катушки размещены на одной и той же неподвижной опоре.

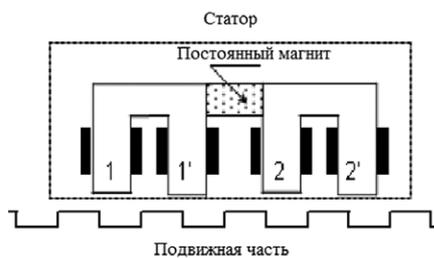


Рис. 6. Двухфазный гибридный линейный шаговый двигатель

Две пары соседних 1,1' и 2,2' площадок структуры, показанной на рис. 7, а проходят через поток магнита в одном направлении. Четыре катушки образуют две фазы, каждая из которых состоит из двух катушек, установленных последовательно. Если направление намотки катушек противоположно, то поток, создаваемый одной фазой, течет в соответствии с распределением, показанным на рис. 7, б, наложение потока, создаваемого магнитом на поток, создаваемый катушкой в фазе 1, создает новое распределение линий потока, т.е. из фазы в фазу, как на рис. 7, в.

Для конструкции, в которой магнит закреплен на движущейся части, потоки, создаваемые переменным сопротивлением и магнитом, подчиняются тем же правилам, что и в предыдущем случае.

Линейный двигатель напрямую генерирует движущую силу и поступательное движение, в отличие от вращающихся двигателей, для достижения которых требуется использование определенных передаточных устройств, чтобы обеспечить преобразование вращательного движения в линейное. При-

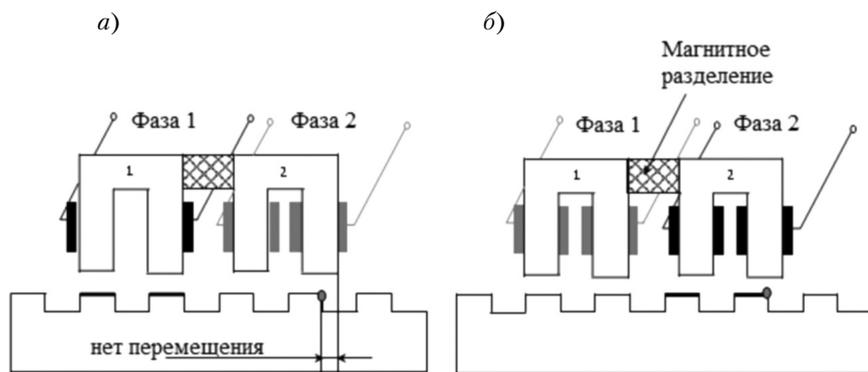


Рис. 5. Линейный шаговый двигатель с переменным сопротивлением: а – фаза 1 с питанием, б – фаза 2 с питанием

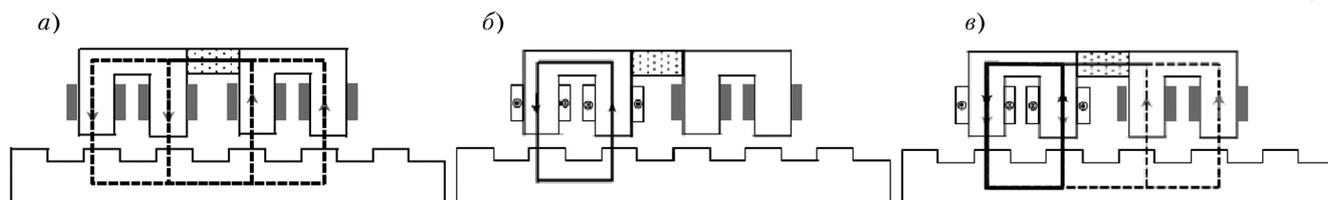


Рис. 7. Распределение потока в линейном двигателе с поляризованным излучением: а – поток, создаваемый магнитом, б – поток создаваемый подачей фазы, в – результирующий поток

влекательность линейного привода напрямую проистекает из неотъемлемых преимуществ прямого привода, которые заключаются в высокой динамике движения, хорошей точности позиционирования, большом сроке службы, высокой надежности, меньшем количестве компонентов для реализации оси с приводом от двигателя, гибкость.

Однако эти линейные двигатели имеют некоторые особенности, обусловленные расположением их подвижных частей по сравнению с их неподвижными частями, в частности, системами наведения, что вызывает новые нагрузки на магнитный воздушный зазор. Кроме того, из-за своей геометрической структуры линейные двигатели демонстрируют эффект конечных точек. Эти технологические отличия от роторных двигателей должны быть учтены при проектировании и практической реализации.

В отличие от вращающихся станков, где ротор и статор обычно соосны, линейные станки могут иметь плоскую форму (рис. 8, а) или цилиндрическую (рис. 8, б) и состоят из подвижной части и неподвижного статора, положения которого можно менять местами.

Статоры. Для плоских конструкций можно изготавливать приводы с одним или двумя статорами. Для цилиндрических конструкций можно рассмотреть трубчатые приводы с внутренней или внешней подвижной частью.

Одиночный статор легко интегрируется в обычные приложения, но обладает значительной силой притяжения между статором и подвижной частью (рис. 9, а). Конструкция с двойным статором позволяет, с одной стороны, получить более высокие силы тяги, чем конструкция с одним статором, а с другой – облегчить движущуюся часть, поскольку, если последняя хорошо центрирована, результирующая сила притяжения будет равна нулю. Эта конструкция особенно хорошо подходит для случая, когда статор неподвижен (рис. 9, б).

Трубчатая конструкция с внутренней подвижной частью позволяет лучше использовать доступный объем. Как и в случае конструкции с двойным статором, результирующая сила притяжения

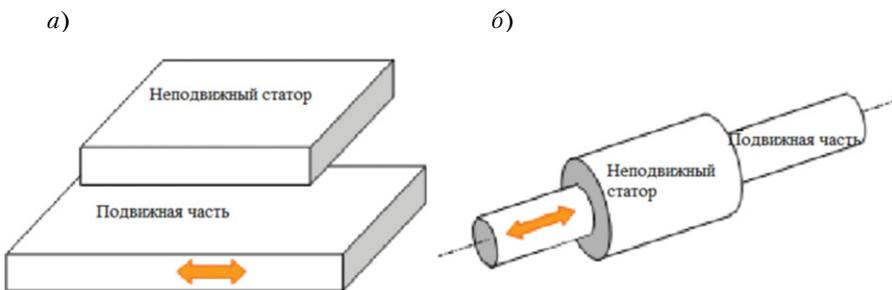


Рис. 8. Конструкции линейных шаговых двигателей: а – структурная пластина, б – цилиндрическая структура

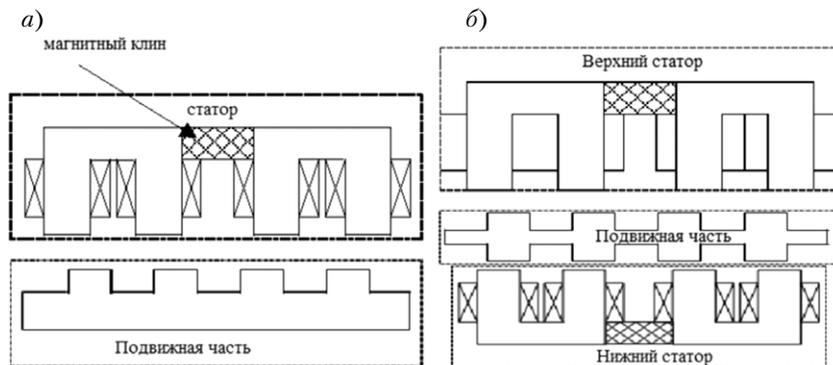


Рис. 9. Варианты плоских структур: а – с одним статором, б – с двойным статором

теоретически равна нулю при условии, что конструкция хорошо центрирована (рис. 1, а). Объемная мощность трубчатой конструкции с внешней подвижной частью сопоставима с объемной мощностью конструкции с внутренней подвижной частью (рис. 10, б). Однако конструкцию с внешней подвижной частью сложнее отрегулировать.

Центровка ротора во вращающейся конструкции с помощью подшипников намного проще и эффективнее, чем наведение на линейную конструкцию, для которой результирующие силы притяжения могут быть значительными, и их трудно контролировать из-за расстояния между опорами. Однако некоторые конструкции позволяют освободиться от этой силы притяжения и, таким образом, облегчить ориентирование.

Учитывая систему наведения между неподвижной и подвижной частями линейного двигателя, трудно достичь такого низкого воздушного зазора, как во вращающемся варианте. Следовательно, воздушный зазор, относящийся к шагу смещения, выше. Это приводит к снижению силы на единицу площади поверхности.

Статор роторного двигателя замкнут на себя. Таким образом, он обеспечивает непрерывность электромагнитных явлений в отличие от любого линейного двигателя, для которого характерен разрыв на концах. Этот разрыв создает различия в траекториях силовых линий, проходящих через железо, в зависимости от того, возбуждена ли концевая фаза или центральная фаза.

Для шагового двигателя могут быть определены два класса хода: либо двигатель движется вперед на один полный шаг, либо на один фрагмент шага в зависимости от принятого режима управления.

Стратегии управления. Различают две стратегии: две стратегии управления целыми шагами, известные как команды в режимах 1 и 2, а также три стратегии управления фрагментированными шагами, известные как команды в режимах 3, 4 и 5.

Управление целыми шагами в режиме 1. Фазовое переключение четырехфазной конструкции на рис. 10 позволяет мобильному устройству достигать четырех положений равновесия в течение периода движения.

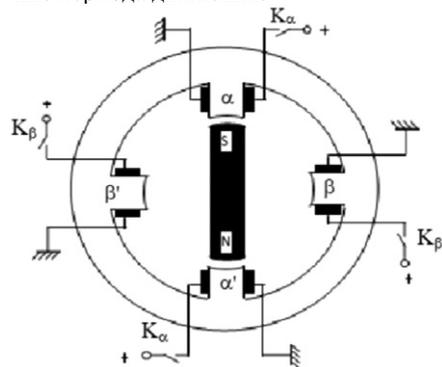


Рис. 10. Четырехфазная конструкция с однополюсным титанием

Переключатели K_{α} , K_{β} , $K_{\alpha'}$ и $K_{\beta'}$ на рис. 10 последовательно приводятся в действие в соответствии с циклограммой. Это приводит к четырем положениям баланса. Если переключатели, показанные на рис. 10, приводятся в действие в обратном порядке: K_{α} , K_{β} , $K_{\alpha'}$ и $K_{\beta'}$, то перемещение движущейся части выполняется в направлении, противоположном предыдущему. Таким образом, расположение положений равновесия сохраняется, но их возникновение меняется на противоположное.

Последовательные соединения, с одной стороны, и последовательные соединения, с другой, позволяют получить двухфазную обмотку, которую необходимо подключить к биполярной (рис. 11).

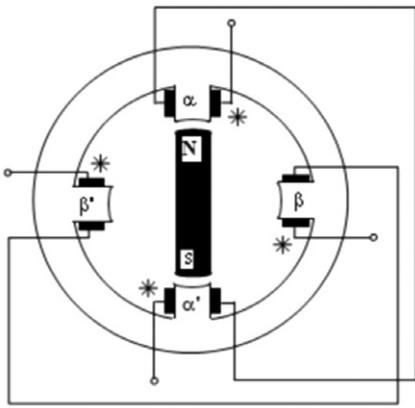


Рис. 11. Принцип биполярного питания в режиме 1

Возбуждение подключенного таким образом статора в соответствии с циклограммой $\alpha\alpha'$, $\beta\beta'$, $-\alpha\alpha'$, $-\beta\beta'$ дает такое же количество циклических шагов, что и однополюсная подача по фазам, но крутящий момент в последнем случае важнее, поскольку одновременно подаются две катушки.

В случае управления в режиме 2 последовательные фазные дублеты машины, показанные на рис. 11, подаются одновременно в соответствии с порядком (α, β) , (β, α') , (α', β') , (β', α) и с циклограммой. Преимущество этого режима управления заключается в том, что он оптимизирует использование меди в машине и, следовательно, ее массовой мощности, а крутящий момент, создаваемый в этом случае, повышается по сравнению с крутящим моментом, создаваемым приводом в однополюсном режиме 1

Управление с пониженным шагом в режиме 3. Этот режим работы представляет собой чередующуюся комбинацию режимов 1 и 2. Таким образом, количество положений равновесия удваивается и создается смещение на полшага.

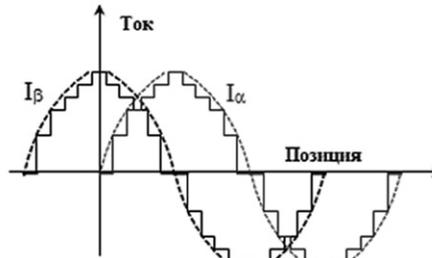
Управление в режиме 4. Разница между этим режимом работы 4 и режимом 3 заключается в том, что для получения векторных полей одинаковой амплитуды независимо от положения заданный ток умножается на коэффициент, когда подается питание только на одну фазу [9–11]. Этот режим позволяет сохранять потери в джоулях постоянными в процессе работы.

Управление в режиме 5. Для существенного улучшения углового разрешения шагового двигателя может быть применена техника микрошагового управления за счет изменения амплитуды токов. Этот метод ступенчатой фрагментации заключается в одновременном питании двух фаз машины двумя токами

разной амплитуды. Величины токов питания изменяются последовательно по ступеням, приводя в движение ротор с шагом. Посредством этого режима возбуждения модуляция токов, подаваемых в статорные фазы, позволяет расположить ротор в любом направлении.

Если на обмотки статора двигателя подаются синусоидально изменяющиеся уровни тока (рис. 12, а), то первая и вторая фазы должны подаваться одновременно токами i -й и I -й фаз, чтобы получить среди n положений то, которое определено на рис. 12, б.

а)



б)

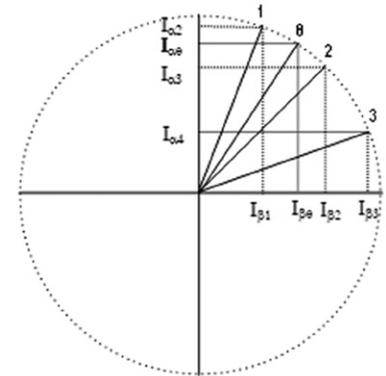


Рис. 12. Управление с помощью амплитудной модуляции токов: а – циклограмма питающих токов, б – положения равновесия токов

Вывод: это исследование показало, что для создания поступательного движения представляет интерес линейный шаговый двигатель с прямым приводом. Действительно, в данном случае, в отличие от роторного шагового двигателя, отсутствует передающий элемент, меньше количество компонентов, что повышает гибкость системы. Рассмотренные режимы управления для вращающихся шаговых двигателей могут быть приняты и адаптированы для линейных конструкций.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абиньоли М. Оценка динамического поведения инкрементного привода, основанная только на внешних характеристиках нагрузки и двигателя // Общий обзор электричества. – 1991. – № 6. – С.51–53.
2. Сахрауи Х., Бушерит М. С. и Зебровски Л. Исследование влияния типа источника питания на динамическое поведение шагового двигателя с переменным сопротивлением. – Мат-лы конфер. стран Магриба по автоматизации и промышленной электронике, Алжир, 1993, с. 258–267.
3. Жиленков А.А., Черный С.Г., Громов К.В. Моделирование процессов нечёткого регу-

лятора при анализе состояния работоспособности буровых. – Инновационные технологии и экономика в машиностроении: Сб. тр. VI Международ.науч.-практ. конфер., Томск, 21–23 мая 2015 г. /Юргинский технолог. ин-т; Отв. ред. Д.А. Чинахов. – Национальный исслед.Томский политех. ун-т, 2015, с. 322–324. – EDN UNBSWP.

4. Логунова Н.А., Черный С.Г. Системные компоненты координационного фактора при принятии решений для сложных структур на водном транспорте // Наука и техника транспорта. – 2015. – № 4. – С. 78–85. – EDN VCWOGT.
5. Вынгера А.Н. Определение проблем устойчивого развития прибрежных территорий

Республики Крым // Вестник Керченского ГМТУ. –2023. – № 1. – С.34–42. – DOI 10.26296/2619-0605.2023.1.1.003. – EDN HAJKNW.

6. Сежье Г., Нотле Ф. Промышленная электротехника. – Париж:Tech & Doc, 1996.
7. Гренье Д., Лабрик Ф., Байз Х. и Матань Э. Электромеханика-преобразователи энергии и приводы. – Париж: Dunod, 2001. – 506 с.
8. Черный С.Г. Оценка эффективности сложной глубоководной системы добычи полезных ископаемых // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2015. – № 1. – С. 102–106. – EDN TUFOQZ.
9. Бен Салах Б. и Бенреджеб М. Цифровое управление для улучшения разрешения положения шаговых двигателей с переменным сопротивлением. – IEEE SMC 02, Международ. конфер. IEEE по системам и кибернетике человека, Хаммамет, 2002.
10. Щекин В.П., Щекина О.В., Черный С.Г., Куценко Д.Г. Использование нейросетевых технологий на основании ARMA модели // Информатизация и связь. – 2015. – № 1. – С. 49–52. – EDN TSMZFP.
11. Иванова О.А., Кузьмина А.В., Родькина А.В. Обоснование выбора элементов набора корпуса при проектировании конструкции корпуса судна // Вестник Керченского ГМТУ – 2023. – №2. – С.235–245. – DOI 10.26296/2619-0605.2023.2.2.023. – EDN ETXMMW. ■

В настоящее время при проектировании компрессоров используется показатель адиабаты, имеющий среднее значение для всего адиабатного процесса сжатия.

В данной статье рассматривается возможность и целесообразность выбора показателя адиабаты реального газа (воздух, гелий) для процесса в определенных интервалах давлений, что поможет уменьшить расхождение расчетных и экспериментальных данных. Так как процесс сжатия заканчивается выходом газа из компрессора, для расчета следует использовать показатель адиабаты реального газа k_{pr} не средний для процесса, а определенный по параметрам конечной точки процесса. Исследования были проведены для двух газов разной атомности – гелия и воздуха.

Уравнение адиабатного процесса для реального газа имеет вид [1]

$$P v^{k_{pr}} = \text{const}, \quad (1)$$

где $k_{pr} = \left(\frac{\varepsilon^* - \beta^* + \beta^* k_{gr}}{\varepsilon^*} \right) =$

$$= \left(\frac{2\lambda^* - 2\mu^* + (1 - \lambda^* + \mu^*) k_{gr}}{1 + \lambda^* - \mu^*} \right). \quad (2)$$

Коэффициенты пропорциональности определяются по формуле

$$\varepsilon^* = (1 + \lambda^* - \mu^*) \text{ и } \beta^* = (1 - \lambda^* + \mu^*). \quad (3)$$

В соответствии с уравнением (3)

$$k_{pr} = \left(\frac{1 + \lambda^* - \mu^* - 1 + \lambda^* - \mu^*}{1 + \lambda^* - \mu^*} + \frac{(1 - \lambda^* + \mu^*) k}{1 + \lambda^* - \mu^*} \right) = \left(\frac{2\lambda^* - 2\mu^* + (1 - \lambda^* + \mu^*) k}{1 + \lambda^* - \mu^*} \right). \quad (4)$$

ВЫБОР ЗНАЧЕНИЙ ПОКАЗАТЕЛЯ АДИАБАТЫ РЕАЛЬНОГО ГАЗА

Д.М. Кучинский, канд. техн. наук, доцент,

Д.О. Глазырина, аспирант,

С.А. Паимцев, ассистент,

Я.А. Бойко, студент, СПбГМТУ,

kuchinskiy-dm@bk.ru, d_glazyrina@bk.ru, sergei_p1981@mail.ru,

yana_boiko_nt@mail.ru

контакт. тел. +7 (921) 384 0283, +7 (911) 785 3828

Коэффициент пропорциональности λ^* определяется по формуле [2]

$$\lambda^* = \frac{a/v^2}{R \times T / (v - b)}. \quad (5)$$

Коэффициент пропорциональности μ^* , уточняющий уравнение Ван дер Ваальса определяется из выражения [2]

$$\mu^* = \frac{P - \frac{R \times T}{(v - b)} + \frac{a}{v^2}}{\frac{R \times T}{(v - b)}}. \quad (6)$$

В выражениях (4) и (5) входят только параметры состояния, следовательно, k_{pr} является функцией состояния, так как зависит от сочетания параметров: $k_{pr} = (P, T, v)$.

На графиках рис. 1 и рис. 2 приведена зависимость $k_{pr} = (P)$ при разных температурах.

По данным справочников [3, 4] и уравнению реального газа с двумя коэффициентами пропорциональности [1] были составлены табл. 1 и табл. 2, удобные для практического применения.

Для всех интервалов значений давления расхождение между наибольшим и наименьшим давлением в интервале $\approx 2\%$ (по рис. 1, рис. 2) при различных температурах. Это позволяет сделать вывод, что температура оказывает незначительное влияние на показатель k_{pr}

и для интервалов давлений, приведенных в табл. 1 и табл. 2, k_{pr} можно считать постоянным, а влиянием температуры на показатель k_{pr} можно пренебречь.

Методика использования показателя адиабаты реального газа заключается в выборе k_{pr} для интервала давлений из табл. 1 и табл. 2 соответствующего газа.

В табл. 1 представлены наибольшие значения k_{pr} для интервалов давлений. В интервале давлений 1÷10 атм наилучшее совпадение с экспериментом дает максимальное значение k_{pr} , т. е. 1,412. Аналогично для других интервалов давлений, приведенных в табл. 1, выбирается также максимальное значения k_{pr} .

Таблица 1

Значения k_{pr} в интервале давлений для воздуха

$P, \text{ атм}$	1÷10	10÷20	20÷30	30÷40	40÷50	50÷60
k_{pr}	1,412	1,416	1,416	1,430	1,434	1,434

Для расчета и сравнения значений использованы экспериментальные данные ГТНР-16 (газотурбонагнетатель с регенерацией): $P_1=1 \text{ атм}, v_1 = 0,8 \text{ м}^3/\text{кг}, P_2=7 \text{ атм}, v_2 = 0,21 \text{ м}^3/\text{кг}$.

По уравнению адиабатного процесса для идеального газа с учетом показателя адиабаты, выбранного по моле-

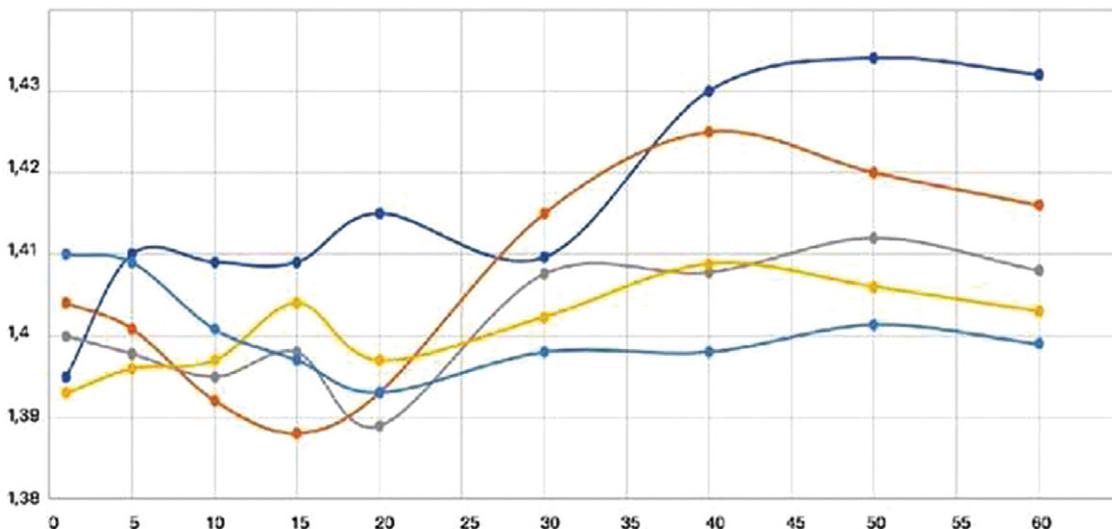


Рис. 1. Зависимость k_{pr} от давления для воздуха
— 80 °С, — 180 °С, — 280 °С, — 380 °С, — 480 °С

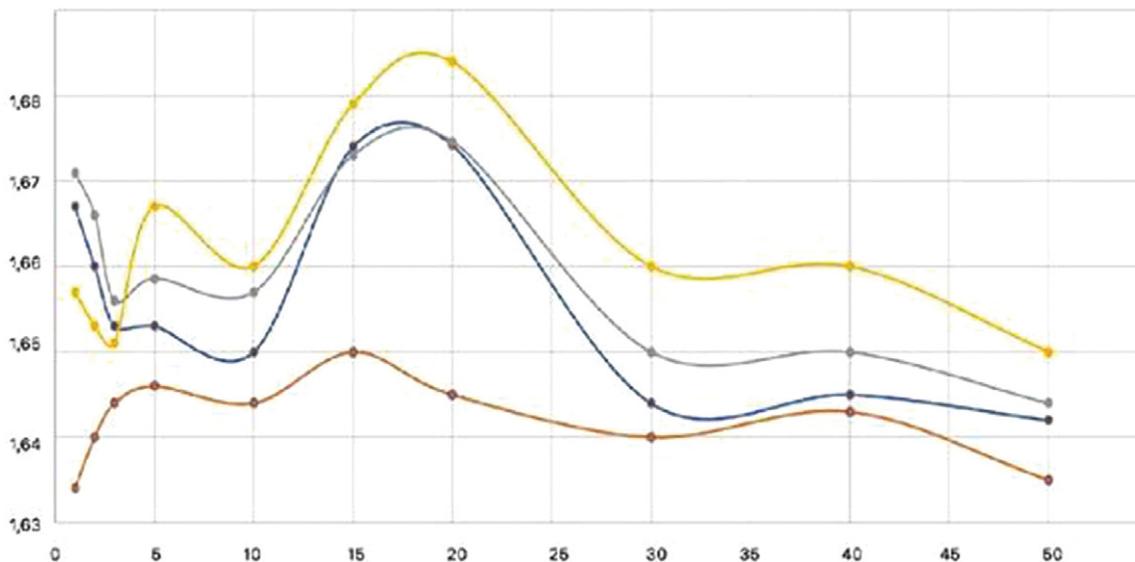


Рис. 2. Зависимость k от давления для гелия
 — 80 °C, — 180 °C, — 280 °C, — 380 °C

кулярно-кинетической теории (МКТ) для воздуха $k = 1,4$, определяется значение v_2 :

$$\frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^{1,4} \geq v_2 = 0,19 \text{ м}^3/\text{кг}.$$

Расхождение расчетного значения удельного объема воздуха ($v_2 = 0,19 \text{ м}^3/\text{кг}$) за компрессором, полученного с использованием показателя адиабаты среднего ($k = 1,4$) для процесса, с экспериментальными данными ($v_2 = 0,21 \text{ м}^3/\text{кг}$) составляет $\approx 9,5\%$.

Предлагаемая методика выбора величины k_{pr} заключается в следующем: по значению давления после компрессора в соответствии с интервалами давлений, указанными в табл. 1, выбирается величина k_{pr} , которая затем используется для определения других параметров состояния реального газа. Для приведенных выше параметров воздуха при $k_{pr} = 1,412$ объем воздуха

$$\frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^{k_{pr}} \geq v_2 = 0,203.$$

Расхождение расчетного значения удельного объема воздуха ($v_2 = 0,203 \text{ м}^3/\text{кг}$) за компрессором, полученного с использованием показателя адиабаты, выбранного из табл. 1 для интервала давлений 1÷10 атм, с экспериментальными данными ($v_2 = 0,21 \text{ м}^3/\text{кг}$) составляет $\approx 3\%$.

В табл. 2 представлены наибольшие значения k_{pr} для интервалов давлений. В интервале давлений 1÷10 атм наилучшее совпадение с экспериментом дает максимальное значение k_{pr} , т. е. 1,687. Аналогично для других интервалов да-

лений, приведенных в табл. 2, выбирается также максимальное значения k_{pr} .

Таблица 2

Значения k_{pr} в интервале давлений для гелия

P, атм	1÷10	10÷20	20÷30	30÷40	40÷50
k_{pr}	1,671	1,687	1,683	1,66	1,66

Для расчетов и сравнения значений взяты экспериментальные данные [5]: $P_1 = 4$ атм, $v_1 = 0,21 \text{ м}^3/\text{кг}$, $P_2 = 16$ атм, $v_2 = 0,2 \text{ м}^3/\text{кг}$.

По уравнению адиабатного процесса идеального газа с учетом показателя адиабаты, выбранного по МКТ для гелия $k = 1,67$, определяется его объем:

$$\frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^k \geq v_2 = 0,18.$$

Расхождение значений объема ($v_2 = 0,18 \text{ м}^3/\text{кг}$) за компрессором, полученных с использованием показателя адиабаты среднего ($k = 1,67$) для процесса, с экспериментальными данными ($v_2 = 0,2 \text{ м}^3/\text{кг}$) составляет $\approx 8\%$.

Предлагаемая методика выбора величины k_{pr} для гелия заключается в следующем: по значению давления после компрессора в соответствии с интервалами давлений, указанными в табл. 2, выбирается величина k_{pr} , которая затем используется для определения других параметров состояния реального газа. Для приведенных выше параметров гелия при $k_{pr} = 1,687$ объем газа

$$\frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^{k_{pr}} \geq v_2 = 0,19.$$

Расхождение расчетного значения удельного объема ($v_2 = 0,19 \text{ м}^3/\text{кг}$) за компрессором, полученного с использованием показателя адиабаты, выбранного из табл. 2 для интервала давлений 10÷20 для процесса, с экспериментальными данными ($v_2 = 0,2 \text{ м}^3/\text{кг}$) составляет $\approx 3\%$.

Проведенное исследование показало, что возможен выбор величины k_{pr} в зависимости от интервала давления после компрессора, обеспечивающее удовлетворительное совпадение расчетных и экспериментальных значений параметров газа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Неделя науки СПбГМТУ–2020: сб. докл. Всеросс. фестиваля науки «Nauka 0+». – В 2 т. – Т. 1. – СПб.: Изд-во СПбГМТУ, 2020. – 658 с.
2. Актуальные проблемы морской энергетики: материалы одиннадцатой международной научно-технической конференции. – СПб.: Изд-во СПбГМТУ, 2022. – 426 с.
3. Термодинамические свойства воздуха / Сычёв В. В., Вассерман А. А. Козлов А. Д., Спиридонов Г. А., Цымарный В. А. – ГСССД: Сер. Монографии. – М.: Изд-во стандартов, 1978. – 276 с.
4. Термодинамические свойства гелия / Сычёв В. В., Вассерман А. А. Козлов А. Д., Спиридонов Г. А., Цымарный В. А. – ГСССД: Сер. Монографии. – М.: Изд-во стандартов, 1978. – 276 с.
5. Епишев Н. И. Определение параметров работы центробежных нагнетателей газоперекачивающих агрегатов: Методические указания. – Самара: Самарский гос. аэрокосмический ун-т, 2003. – 19 с. ■

Для решения этой задачи принята модель, по которой во всем диапазоне наработки от 10^3 до 10^8 циклов разрушение деталей происходит при одинаковом значении предельного параметра

$$B_{np} = \sigma_{-1} \cdot \lg N_{ци} \quad (1)$$

для каждой температуры, где σ_{-1} – предел выносливости, $N_{ци}$ – количество циклов нагружения.

Влияние величины наработки учитывается коэффициентом приведения K_{np} , значения которого приведены в табл. 1.

В результате при наличии данных о максимальном напряжении цикла и величине наработки в любом режиме можно оценить предельную величину параметра B_{np} и его значения для других режимов, а следовательно, и максимальное напряжение на этих режимах.

Последовательность прогнозирования максимального напряжения цикла проследим на примере сплава ЭП962:

1. Опытные данные из [3]:

$$\sigma = 1120 \text{ МПа}, N_{ци} = 5 \cdot 10^3, \\ B_{np} = 4203 \text{ МПа}, t = 700^\circ \text{С}.$$

2. Оценку предела выносливости на других режимах рассчитываем по формуле $\sigma = B_{np} \cdot K_{np} / \lg N_{ци}$: (2)

$$- \text{при } N_{ци} = 10^4 \text{ ц}, K_{np} = 0,982;$$

$$\sigma = 1032 \text{ МПа (справочное значение } \sigma = 1090 \text{ МПа);}$$

$$- \text{при } N_{ци} = 2 \cdot 10^7 \text{ ц}, K_{np} = 0,775;$$

$$\sigma = 446 \text{ МПа (справочное значение } \sigma = 450 \text{ МПа);}$$

$$- \text{при } N_{ци} = 10^8 \text{ ц}, K_{np} = 0,742;$$

$$\sigma = 390 \text{ МПа (справочное значение } \sigma = 430 \text{ МПа);}$$

$$\sigma_R = 1120, \sigma_R = 1032, \sigma_R = 1090,$$

$$\sigma_{-1} = 446, \sigma_{-1} = 450, \sigma_{-1} = 390, \sigma_{-1} = 430.$$

Для проверки работы этой технологии были обработаны данные опытов по определению предела выносливости, предела малоциклового усталости 15 никелевых сплавов при температурах от 650 до 900°С и наработках от $5 \cdot 10^3$ до 10^8 циклов.

При каждой из рассмотренных температур оценивались предельная величина B_{np} и прогнозное значение максимального напряжения на наработках, приведенных в [3]. Прогноз составлялся на базе режима с минимальной и максимальной наработкой.

Из 152 прогнозов, выполненных по предлагаемой технологии, в 12 случаях прогноз отличался от справочных данных более чем на 20%. Среднее отклонение составило около 6%.

ОБЪЕДИНЕНИЕ МАЛОЦИКЛОВОЙ УСТАЛОСТИ И ВЫНОСЛИВОСТИ НИКЕЛЕВЫХ СПЛАВОВ

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

Таблица 1

Значения коэффициентов приведения текущего параметра B для различных значений наработки

Нарботка, $N_{ци}$	$5 \cdot 10^3$	10^4	10^5	10^6	$2 \cdot 10^6$	10^7	$2 \cdot 10^7$	$5 \cdot 10^7$	10^8
Коэффициент приведения K_{np} , МПа	0,968	0,982	0,922	0,862	0,864	0,802	0,775	0,760	0,742

Эта проверка показала работоспособность представленных коэффициентов приведения K_{np} для всех рассмотренных никелевых сплавов во всем диапазоне наработки как малоциклового, так и многоциклового усталости.

Эти цифры показывают влияние точности измерений на разных количествах циклов наработки. Обработка более 100 опытов показала, что цифры должны быть близкими.

Данные табл. 2 показывает, как можно представить объединенную характеристику усталости вместо двух разделов в справочнике.

Качество прогноза определяется «качеством» опытных данных. Так, например, для сплава ЭП109 при температуре 900°С предельное значение параметра B_{np} при оценке по наработке $5 \cdot 10^3$ циклов составило 2784 МПа (табл. 2); при оценке по наработке 10^7 циклов – 2793 МПа.

Для сплава ЭП99 при температуре 750°С значение параметра B_{np} на режимах, аналогичных сплаву ЭП109, составило 3265 МПа и 2637 МПа. В этом случае отклонения от справочных данных составили от 0 до 10%.

Получаемые по формуле (1) результаты позволяют представлять общую зависимость пределов малоциклового и многоциклового усталости от температуры в форме таблицы, аналогичной табл. 2, составленной для сплава ЭП109. B_{np} является общим для всего диапазона наработок от 10^3 до 10^8 циклов. Для определения предела усталости/выносливости для конкретного $N_{ци}$ используются формула (2) и табл. 1.

Таблица 2
Предел усталости сплава ЭП109 при разных температурах

$T, ^\circ \text{С}$	800	900
$B_{np}, \text{МПа}$	2575	2784

Оценка усталостных характеристик сплавов может быть получена при использовании модульного подхода к их оценке только по химическому составу [1, 2]. В [1] характеристики получены при наработке 10^7 циклов.

Использование результатов настоящей работы позволит оценивать пределы выносливости и при других наработках.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработан алгоритм, позволяющий оценивать характеристики усталости жаропрочных никелевых сплавов во всем диапазоне наработки от $5 \cdot 10^3$ до 10^8 С циклов по результатам опытов на одном произвольном режиме.

Показано, что характеристика усталости сплава может быть выражена одним значением комплексного параметра $B = \sigma_{-1} \cdot \lg N_{ци} / K_{np}$ для каждой температуры металла.

ЛИТЕРАТУРА

- Багерман А.З. Прогнозная оценка пределов длительной прочности, выносливости, ползучести и механических свойств сплавов на основе никеля // Морской вестник. – 2021. – № 4 (80). – С. 62–64.
- Багерман А.З. Оценка выносливости жаропрочных сплавов на основе никеля при переменных режимах работы и параметрах малоциклового усталости // Морской вестник. – 2023. – № 2. – С. 68–69.
- Справочник по авиационным материалам. Коррозионностойкие и жаропрочные стали и сплавы. – М.: Машиностроение, 1965. – 632 с. ■

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

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время использование воздухонезависимых энергоустановок (ВНЭУ) на морских подводных объектах (МПО) на основе электрохимического генератора (ЭХГ) целесообразно, так как в сравнении с другими типами ВНЭУ (двигатель Стирлинга, дизель замкнутого цикла, энергоустановки типа MESMA) ЭХГ имеет ряд преимуществ

- низкие рабочие температуры при использовании твердполимерных топливных элементов (ТЭ) или щелочных ТЭ,
- высокий КПД,
- низкое потребление водорода при реакции в ЭХГ [1].

Литий-ионные аккумуляторные батареи как замена ВНЭУ находятся в разработке и в настоящее время осуществляют энергоснабжение МПО не в полном объеме ввиду особых требований к обеспечению пожаровзрывобезопасности [2, 3].

Основной проблемой использования ЭХГ является хранение водорода вследствие его низкой плотности. В зависимости от автономности МПО предлагаются различные решения [4–6], в том числе хранение водорода в связанном виде, в органических носителях [7, 8] и его генерация для использования в ЭХГ. Преимуществом использования органических носителей является относительно высокий выход водорода на единицу массы.

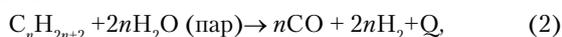
В данной работе рассмотрены реакции, применяемые для генерации водорода с использованием органического топлива, и установлена их энергетическая эффективность.

Можно выделить следующие способы получения водорода с использованием органических веществ:

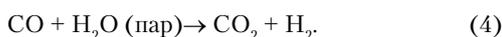
- паровая конверсия углеводородного топлива,
- автотермический риформинг углеводородного топлива,
- пиролиз метана,
- гидрирование-дегидрирование ароматических углеводородов.

СПОСОБЫ ГЕНЕРАЦИИ ВОДОРОДА

Паровая конверсия углеводородного топлива для получения водорода осуществляется в два этапа, на первом в ходе реакции происходит конверсия углеводородов, в общем виде протекающая по следующим схемам [9]:



На втором этапе реализуется конверсия оксида углерода в результате «реакции сдвига», протекающей по следующей схеме:



В ходе первого этапа равновесная концентрация реагентов пропорциональна температуре, давлению процесса и соотношению пар-углеводород в начальной концентрации. Выход водорода на моль израсходованного пара наибольший для

ГЕНЕРАЦИЯ ВОДОРОДА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОРГАНИЧЕСКИХ НОСИТЕЛЕЙ НА БОРТУ МОРСКИХ ПОДВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

А.Н. Дядик, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой,

Д.С. Маловик, аспирант,

СПбГМТУ,

С.Н. Бударин, канд. техн. наук, начальник отдела,

М.А. Кича, мл. науч. сотрудник,

ВУНЦ ВМФ «ВМФ»,

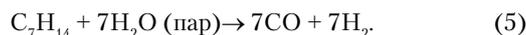
tigvera@mail.ru, dyadik@rambler.ru, rulmaks@bk.ru, dimamalovik@gmail.com

контакт. тел. (812) 405 0700, (812) 714 1641, +7(981) 968 1357

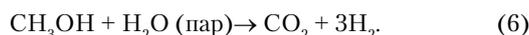
CH_4 и снижается с увеличением содержания углерода в молекуле. Степень конверсии для метана близка к единице при температуре от 800 до 900 °С.

Процесс конверсии оксида углерода (4) проходит при температурах от 200 до 300 °С под давлением в присутствии катализатора с избытком пара [10].

Интерес представляет использование в качестве сырья дизельного топлива ввиду широкого использования [11], тогда конверсия будет протекать по следующей реакции:

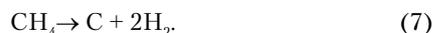


Автотермический риформинг углеводородов является совмещенным процессом и включает в себя парциальное окисление углеводородного топлива и паровой риформинг. В этом случае сначала реализуется экзотермическая реакция парциального окисления, теплотой которой поддерживается эндотермическая реакция парового риформинга. В общем виде реакция для метанола имеет вид



При автотермический конверсии водяной пар выполняет функции реагента при протекании парового риформинга и предотвращает сажеобразование при парциальном окислении [11], процесс (6) проводится при температурах от 300 до 400 °С.

Пиролиз углеводородов. В процессе пиролиза происходит прямое термическое разложение углеводородного сырья на углерод и водород. Для метана в общем виде этот процесс имеет следующий вид:



Реакция проходит при температуре 800 °С с применением катализаторов. При более высоких температурах реакция может идти без катализатора [10].

Гидрирование-дегидрирование ароматических углеводородов. Недостатком реакций, рассмотренных выше, является образование побочных продуктов в виде углерода и его окислов, негативно влияющих на характеристики ЭХГ [12]. Вследствие этого возникает необходимость в системе удаления, что негативно сказывается на массогабаритных характеристиках ВНЭУ. Использование реакций гидрирования-дегидрирования ароматических углеводородов [13, 14], позволяет генерировать водород без образования побочных продуктов, что увеличивает емкость по водороду.

Энергетически эффективными являются органические соединения с более низкими энтальпиями поглощения и выделения водорода, которые требуют более низких температур дегидрирования [15]. В число этих соединений входят толуол и метилциклогексан.

Расход реагентов для генерации 1 кг водорода для разных способов получения

Способ получения водорода	Удельный расход энергии на реакцию, кДж/кг	Удельный расход реагентов для выработки энергии в ЭХГ, кг/(кВт·ч)	
		H ₂	O ₂
Паровая конверсия дизельного топлива (5)	55353	0,82	6,61
Автотермический риформинг метанола (6)	14908	0,22	1,78
Пиролиз метана (7)	18922 [19]	0,28	2,26
Дегидрирование метилциклогексана (9)	64012	0,76	7,64

В общем виде процесс гидрирования толуола описывается схемой



Преимуществом использования метилциклогексана в качестве сырья для генерации водорода являются возможность его получения в нефтехимическом производстве и дальнейшая транспортировка для загрузки в МПО. В работе [16] приведен метод гидрирования толуола по схеме, представленной на рис. 1.

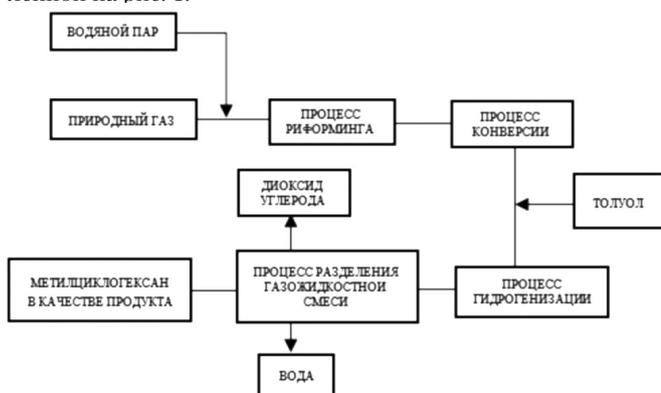
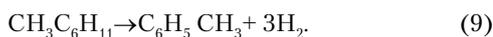


Рис. 1. Получение метилциклогексана [16]

Реакция дегидрирования метилциклогексана непосредственно на борту в общем виде будет проходить по следующей схеме:



Преимуществом данной реакции является отсутствие побочных продуктов реакции и возможность повторного гидрирования толуола. Основным недостатком дегидрирования является пожароопасность толуола [17].

СРАВНЕНИЕ РЕАКЦИЙ ГЕНЕРАЦИИ ВОДОРОДА

Хранение водорода в связанном виде и последующая его генерация на борту МПО имеет преимущество ввиду лучшей взрывопожаробезопасности. Недостатком этого способа является необходимость затрат энергии на извлечение водорода из носителя. По этой причине имеется необходимость учета энергозатрат на собственные нужды системы генерации водорода.

Для нахождения энергозатрат на образование водорода был определен расход энергии на реализацию химических реакций:

- паровой конверсии дизельного топлива,
- автотермического риформинга метанола,
- пиролиза метана,
- дегидрирования метилциклогексана.

Определен удельный расход энергии на получение одного килограмма водорода по закону Гесса.

Для процесса паровой конверсии было принято, что энергия экзотермического процесса паровой конверсии оксида углерода (4) не используется в реакции конверсии дизельного топлива.

При принятом удельном расходе реагентов для выработки 1 кВт·ч, 0,054 кг/(кВт·ч) для водорода и 0,43 кг/(кВт·ч) [18] для кислорода на ЭХГ получен удельный расход реагентов для требуемых реакций. Результаты расчета представлены в табл. 1.

Анализ таблицы показывает, что самым затратным способом является дегидрирование метилциклогексана.

ОПИСАНИЕ РАБОТЫ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО РЕАКТОРА В СОСТАВЕ ТОПЛИВНОГО ПРОЦЕССОРА

Процесс паровой конверсии дизельного топлива происходит в системе ВНЭУ, называемой топливным процессором,

основным элементом которого является высокотемпературный реактор (ВТР). Процесс описывается следующей системой уравнений:

$$(dp_{ВТР})/dt = (G_{ВТР}^{ВХ} - G_{ВТР}^{ВЫХ})/\tau_{ВТР}, \quad (10)$$

$$G_{ВТР}^{ВХ} = G_{ТОП} + G_{КИС} + G_{ТВ}^{ВТР}, \quad (11)$$

$$G_{ВТР}^{ВЫХ} = \xi F_{ВТР}^{ВЫХ} \sqrt{(2\rho_{СМ} \Delta P_{ВТР})}, \quad [18] \quad (12)$$

$$\Delta p_{ВТР} = P_{ВТР} - P_{БО}, \quad (13)$$

где $G_{ВТР}^{ВХ}$, $G_{ВТР}^{ВЫХ}$ – массовые расходы парогазовой смеси на входе и выходе ВТР ($G_{ВТР}^{ВХ} = G_{ВТР}$), кг/с; $G_{ТОП}$, $G_{КИС}$, $G_{ТВ}^{ВТР}$ – массовые расходы топлива, кислорода и технологической воды в ВТР, кг/с; $P_{ВТР}$, $P_{БО}$ – давления парогазовой смеси в ВТР и блоке очистки (БО), Па; $\rho_{СМ}$ – плотность парогазовой смеси, кг/м³; $\tau_{ВТР}$ – постоянная времени аккумулятора ВТР, с; $F_{ВТР}^{ВЫХ}$ – площадь проходного сечения трубопровода, связывающего ВТР и блок очистки, м²; ξ – коэффициент истечения (обобщенный коэффициент гидравлического сопротивления трения и местного гидравлического сопротивления).

Для технических гладких круглых труб при $Re = 4 \times 10^3 \div 10^5$ (турбулентный режим течения среды) может использоваться формула Блазиуса

$$\xi = 0,3164 Re^{-0,25}. \quad (14)$$

Для более широкого диапазона при $Re = 4 \times 10^3 \div 10^{12}$ применяется формула Филоненко

$$\xi = (1,82 \lg Re - 1,64)^{-2}. \quad (15)$$

Коэффициент сопротивления трения при изотермическом ламинарном течении в круглой трубе ($Re < 2300$) рассчитывается по формуле Пуазейля

$$\xi = 64/Re. \quad (16)$$

Процесс регулирования давления в объеме ВТР может быть реализован посредством регулятора давления, управляющего следящим приводом при маневрировании установки, как это видно из рассмотрения рис. 2.

На рис. 2 приняты следующие обозначения шлейфов: 1 – давление $P_{ВТР}$ в высокотемпературном реакторе (ВТР); 2 – давление $P_{БО}$ в блоке очистки от серы и сажи; 3 – давление $P_{БК1}$ в блоке конверсии (БК1); 4 – давление $P_{БК2}$ в блоке конверсии (БК2); 5 – P_c давление в сепараторе; 6 – заданное давление P_z ; 7 – перемещение h регулирующего клапана; 8 – расход $G_{ВТР}^{ВЫХ}$ на выходе ВТР; 9 – расход $G_{БО}^{ВЫХ}$ на выходе блока очистки от серы и сажи; 10 – расход $G_{БК1}^{ВЫХ}$ на выходе БК1; 11 – расход $G_{БК2}^{ВЫХ}$ из БК2; 12 – расход $G_{РК}$ через регулирующий клапан.

Каждые 100 делений на горизонтальных осях осциллограмм соответствуют 1 с реального времени маневра. Значения параметров на осциллограммах представлены в относительном виде.

В связи с большим числом параметров, характеризующих работу объекта управления, для удобства их рассмотрения

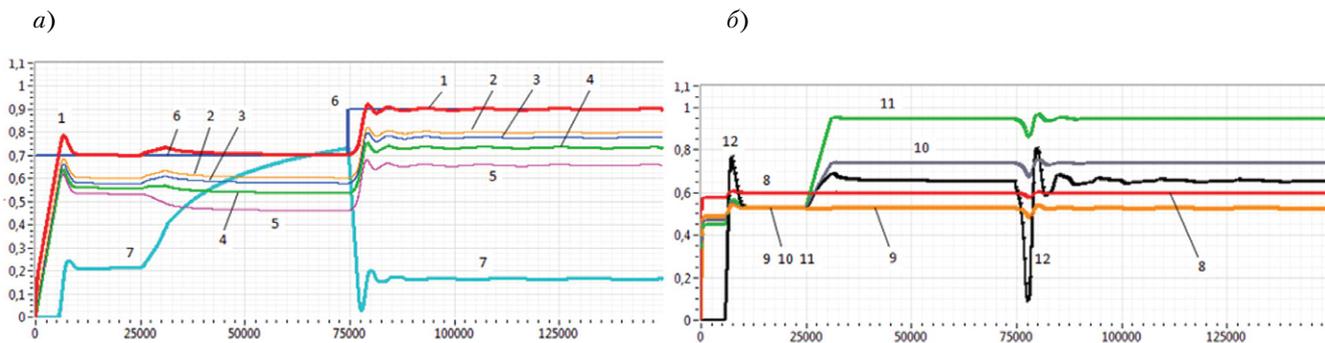


Рис. 2. Регулирование давления в ВТР посредством регулятора давления, управляющего следящим приводом: а – при запуске, б – при маневрировании ВНЭУ

в процессе маневрирования осциллограммы изменения параметров для каждого маневра представлены на рис. 2, а и б. Для обоих рисунков изменение параметров синхронизировано во времени.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотрены способы аккумуляции водорода для МПО с использованием органического сырья. Определены основные параметры и особенности методов. Рассчитаны энергетическая эффективность и расход реагентов в ЭХГ для рассматриваемых методов установлено, что наиболее затратным является метод дегидрирования метилциклогексана. Представлено математическое описание работы высокотемпературного реактора для генерации синтез-газа из дизельного топлива и графики изменения параметров в процессе регулирования ВНЭУ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дядик А. Н., Юшков А. В. Перспективы развития воздухонезависимых энергетических установок // Тр. Крыловского государственного научного центра. – 2021. – № 1. – С. 347–348.
2. Красношлыков А. С., Кузнецов Г. В. Численный анализ температурных полей литий-ионного аккумулятора в условиях высоких токовых нагрузок // Проблемы энергетики (Томск). – 2017. – Т. 19. – № 11. – С. 126–134.
3. Система контроля и управления высокомоощных литий-ионных аккумуляторных батарей / Афанасьев А. С., Болдырев М. А., Воронцов П. С. [и др.]; САФУ // Лесной журнал. – 2019. – № 1. – С. 161–170.
4. Фатеев В. Н. [и др.]. Проблемы аккумуляции и хранения водорода // Chemical problems, 2018. – № 4 (16). – С. 453–483.
5. Алексин Е. Н. Способы хранения и получения водорода на подводной лодке: дисс. на соиск. уч. степени канд. техн. наук 05.08.05 Санкт-Петербург, 2013. – 204 с.
6. Долгий К. В., Дядик А. Н., Малых Н. П. Определение характеристик систем хранения и генерации реагентов для морского подводного объекта с электрохимическим генератором // Вестник Астраханского ГТУ. – Сер.: Морская техника и технология. – 2023. – № 1. – С. 15–22.
7. Филиппов С. П., Ярославцев А. Б. Водородная энергетика: перспективы развития и материалы // Успехи химии. – 2021. – № 6 (90). – С. 627–643.
8. Производство водорода из органического сырья / Кротов М. Ф., Коробцев С. В., Фатеев В. Н. [и др.] // Транспорт на альтернативном топливе. – 2009. – № 6 (12). – С. 66–74.

9. Гамбург Д. Ю., Семенов В. П., Дубовкин Н. Ф., Смирнова Л. Н. Водород: Свойства, получение, хранение, транспортирование, применение: Справ. изд. – М.: Химия, 1989. – 672 с.
10. Производство водорода из органического сырья / Коробцев С. В., Кротов М. Ф., Фатеев В. Н. [и др.] // Транспорт на альтернативном топливе. – 2013. – № 6 (36). – С. 10–14.
11. Ченцов М. С., Соколов В. С., Ченцов М. С., Прохоров Н. С. Концепция установки получения водорода риформингом дизельного топлива в составе атмосферонезависимой энергетической установки с электрохимическими генераторами для неатомной подводной лодки // Альтернативная энергетика и экология (Саров). – 2006. – № 11 (43). – С. 39–46.
12. Карбонизация и декарбонизация щелочных матричных топливных элементов / Кондратьев Д. Г., Матренин В. И., Овчинников А. Т. [и др.]. – Электрохимическая энергетика (Саратов). – 2009. – Т. 9. – № 2. – С. 110–112.
13. Ferreira-Aparicio Paloma, da Rodriguez-Ramos Inmacula, Guerrero-Ruiz Antonio. Pure hydrogen production from methylcyclohexane using a new high performance membrane reactor // Chem. Commun. – 2002. – № 18. – P. 2082–2083.
14. Патент № 2304462 (РФ), МПК В01J 7/00 С0В 3/26 В01J 23/38. Материалы для хранения водорода на основе каталитических композитов и способ хранения водорода в каталитических композитных системах на основе реакций гидрирования – дегидрирования ацилиновых соединений / Тарасов А. Л., Кустов Л. М., Богдан В. И., Кустов А. Л.; заявитель и патентообладатель ООО «Энвайрокет». – № 2005130341/04; Заявл. 30.09.2005. Опубл. 20.08.2007 // Бюлл. № 23.
15. Каленчук А. Н. Гетерогенно-каталитические реакции гидрирования-дегидрирования полициклических углеводородов как основа для хранения химически связанного водорода и его выделения: дисс. на соиск. уч. степени д-ра хим. наук 2.00.15. – М., 2021. – 377 с.
16. Патент № 2012137108 (РФ), МПК С01В 3/00. Способ производства водорода, предназначенного для хранения и транспортировки / Окада Е., Саито М., Вакамацу С., Симура М.; заявитель и патентообладатель Тийода Корпорейшн (JP). – № 2012137108/05. Заявл. 24.03.2011. Опубл. 10.05.2014 // Бюлл. № 13.
17. ГОСТ 5789–78. Реактивы. Толуол. Технические условия. Дата введения 1979–01–01 / Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации. – Изд. офиц. – М.: Стандартинформ, 2008. – 6 с.
18. Дядик А. Н., Замуков В. В., Дядик В. А. Корабельные воздухонезависимые энергетические установки. – СПб.: Судостроение, 2006. – 424 с.
19. Дубинин А. М., Казарманов Г. Р., Финк А. В. Энергетическая эффективность ряда способов получения водорода // Изв. вузов: Химия и химическая технология (Иваново). – 2009. – Т. 52 (2). – С. 54–56. ■

Установка на судне успокоителей качки (УК) позволяет уменьшить воздействие волнения на судно, что улучшает условия работы механизмов и приборов, пребывания на судне людей, облегчает выполнение личным составом своих служебных обязанностей, повышает ходкость и управляемость судов на волнении, отчего снижается расход топлива, позволяет повысить скорость хода на волнении и снизить продолжительность выполнения рейса.

Успокоители качки позволяют эксплуатировать при значительно большей балльности волнения моря (т.е. выполнять поставленные задачи вне зависимости от погодных условий и продлить сезон эксплуатации судна) такое оборудование судов, как палубная авиация, устройства передачи грузов с судно на судно и с судна на стационарные платформы, устройства подьема на борт шлюпок с экипажем, орудия лова биоресурсов, устройства для работы с обитаемыми и необитаемыми подводными аппаратами, устройства глубоководного бурения. Установка УК на научно-исследовательских судах повышает эффективность использования средств исследования ресурсов шельфа.

Суда, на которых установлены УК, обладают более высокими технико-экономическими показателями по сравнению с нестабилизированными, и затраты на оборудование судов УК почти всегда окупаются в процессе эксплуатации.

Наиболее эффективными и перспективными устройствами стабилизации бортовой качки являются УК с бортовыми управляемыми рулями. При этом существует два основных типа таких успокоителей:

- с неубирающимися рулями;
- с заваливающимися рулями.

В настоящее время все УК, предназначенные для нужд гражданского флота РФ, поставляются из-за рубежа. Отечественной промышленностью серийно выпускаются УК только двух типоразмеров с неубирающимися рулями площадью 4,5 и 6 м².

В связи с необходимостью импортозамещения возникает потребность в создании линейки современных, конкурентоспособных УК отечественного производства, удовлетворяющих как существующие, так и перспективные потребности гражданского флота.

Вследствие отсутствия достаточной собственной базы наработок при планировании типоразмерных рядов и определении тактико-технических характеристик необходимо ориентироваться на зарубежных производителей УК, среди которых следует выделить фирмы Blohm+Voss (Германия), Rolls-Royce (Великобритания), ABS Hydromarine (Голландия) и международный концерн SKF.

И, в первую очередь, при разработке перспективных УК необходимо определить наиболее рациональный конструктивный тип привода к баллеру.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНОЙ СХЕМЫ СИЛОВОГО ПРИВОДА УК ЗАВАЛИВАЮЩЕГОСЯ ТИПА

Рассмотрим наиболее часто встречающиеся варианты механизмов силовых приводов УК. Силовой привод УК заваливающегося типа представляет собой подшипник баллера, закрепленный при помощи верхнего и нижнего фланцев к бортовой нише. Во фланцах крепления подшипника баллера к бортовым нишам размещены подшипники скольжения привода заваливания–отваливания и уплотнительные узлы, обеспечивающие герметичность внутренних полостей подшипника баллера. В подшипнике баллера соосно с осью вращения привода заваливания–отваливания располагается гидроцилиндр

АНАЛИЗ МИРОВОЙ ПРАКТИКИ И ТЕНДЕНЦИЙ КОНСТРУКТИВНОГО РАЗВИТИЯ ПРИВОДОВ УСПОКОИТЕЛЕЙ КАЧКИ

Ю.А. Лебедев, гл. конструктор ЗАО «ЦНИИ СМ»,
контакт. тел. (812) 640 1051, +7 (981) 991 2588, ylebedevsudmash@yandex.ru

(ГЦ) (по первому варианту) или плунжерная пара привода перекладки (по второму варианту), соединенные с баллером руля при помощи рычага и шарнирного соединения, при этом ось баллера располагается перпендикулярно к оси вращения привода заваливания–отваливания. При применении роторно-лопастного привода перекладки (по третьему варианту) привод располагается соосно с баллером руля.

На верхней части оси привода заваливания–отваливания, выходящей через верхний фланец крепления подшипника баллера в бортовую нишу, располагается рычаг, соединенный с гидроцилиндром, обеспечивающим заваливание–отваливание.

Конструкция привода заваливания–отваливания обеспечивает его фиксацию при нахождении в крайних положениях (в рабочем и «по-походному»).

Гидростанции и прочие элементы системы гидравлики приспособлены к размещению на верхней платформе бортовой ниши.

Вариант заваливающегося успокоителя с пером руля 16 м² приведен на рис. 1.

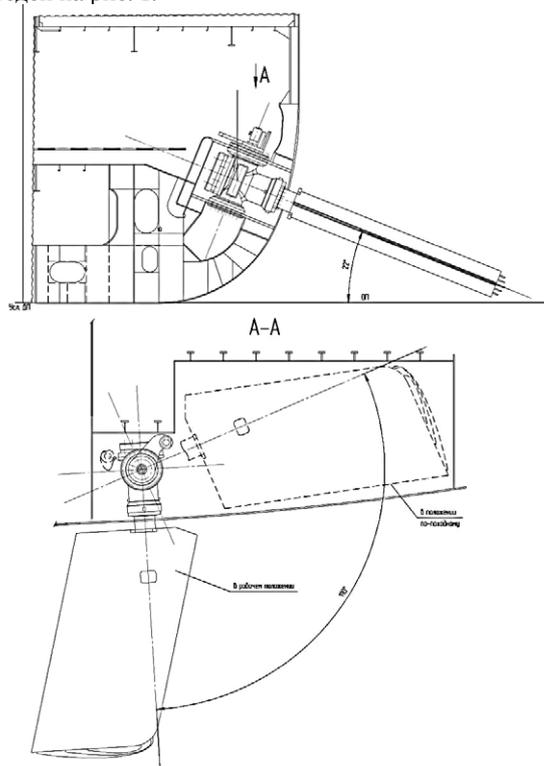


Рис. 1. Силовой привод УК с роторным приводом

Далее подробнее рассмотрены УК с заваливающимися рулями на примере конкретных моделей ведущих производителей – S200 фирмы Blohm+Voss (Германия), Aquarius 50 фирмы Rolls-Royce (Великобритания), ABSHydromarine (Голландия). Поскольку указанные прототипы характеризуют три различных подхода к проектированию современных УК, необходимо определить, какой из представленных прототипов является наиболее технико-экономически совершенным и технологически оправданным с точки зрения современного уровня развития отечественной машиностроительной отрасли.

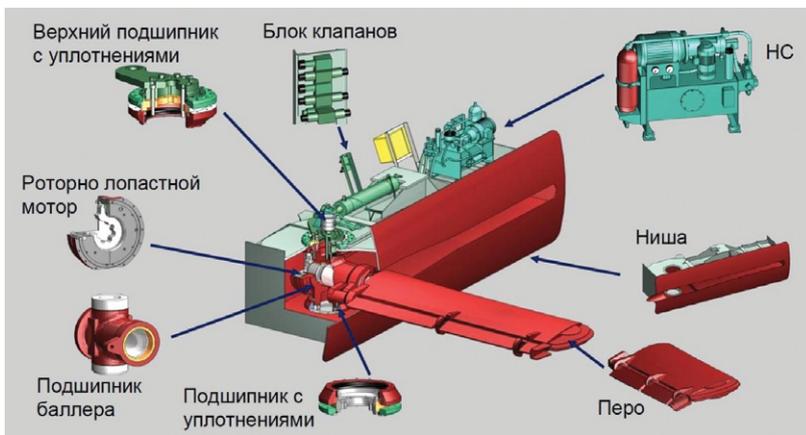


Рис. 2. Успокоитель качки S200 фирмы Blohm+Voss

В УК S200 фирмы Blohm+Voss (рис. 2) в качестве привода перекладки руля используются лопастные гидродвигатели, насаженные непосредственно на баллер. Преимущество данной схемы состоит в том, что подшипник баллера (рис. 3) имеет наиболее простую форму по сравнению с другими вариантами и, следовательно, является наиболее технологичным в изготовлении. ЗАО «ЦНИИ СМ» ранее проводились разработки подобного типа гидродвигателей для роторных рулевых машин в рамках выполнения ОКР «Рулевка», но серийное изготовление отечественными предприятиями к настоящему времени не освоено. Освоение серийного производства планируется на ПАО «Пролетарский завод» в период до 2027 г. в рамках выполнения целевой программы (шифр «Ротор-замещение»), в которой ЗАО «ЦНИИ СМ» участвует в качестве разработчика.

Уже имеющийся и перспективно нарабатываемый задел по роторным приводам можно использовать при проектировании УК. Учитывая, что наиболее сложной проблемой лопастного гидропривода является уплотнение рабочих полостей, а в случае работы в составе механизмов силовых приводов (МСП) УК скорости вращения привода возрастают более чем в 10 раз, применение в МСП УК лопастных гидромоторов рулевых машин возможно только после их отдельной апробации и проведения полного цикла испытаний в рамках заводских испытаний.

В УК *tuna Aquarius 50* фирмы Rolls-Royce (рис. 4) в качестве привода перекладки руля использован сервомотор с соосно расположенными гидроцилиндрами (ГЦ), в которых под действием подаваемой гидравлической жидкости перемещается плунжер. Через румпель плунжер передает возвратно-вращательное движение баллеру и перу руля.

Преимуществом данной схемы является наиболее простой, с точки зрения организации уплотнений и изготовления, плунжерный привод.

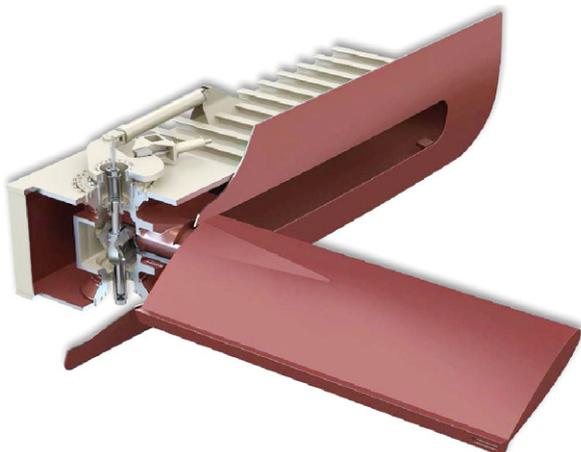


Рис. 4. Успокоитель качки *tuna Aquarius* фирмы Rolls-Royce



Рис. 3. Корпус подшипников баллера успокоителя качки фирмы Blohm+Voss

Недостатком схемы, применяемой Rolls-Royce, является затрудненность доступа к нижнему плунжеру, находящемуся под нишей для его технического обслуживания, и возникновение при работе значительных неосевых усилий на плунжерной паре, воспринимаемых подшипниками корпусов плунжера. Также ввиду несоосной схемы расположения привода перекладки и баллера (из за необходимости создания рычага) значительно усложняется конструкция корпуса подшипников баллера. Изготовление корпусной конструкции такой формы возможно только методом литья, что нерационально в рамках единичного и мелкосерийного производства.

В УК *ABSHydromarine* (Голландия) в качестве привода перекладки использован двухсторонний гидроцилиндр, связанный с баллером с помощью рычага и кривошипно-шатунного механизма и направляющей. Вид подшипника баллера УК подобной конструкции приведен на рис. 5.

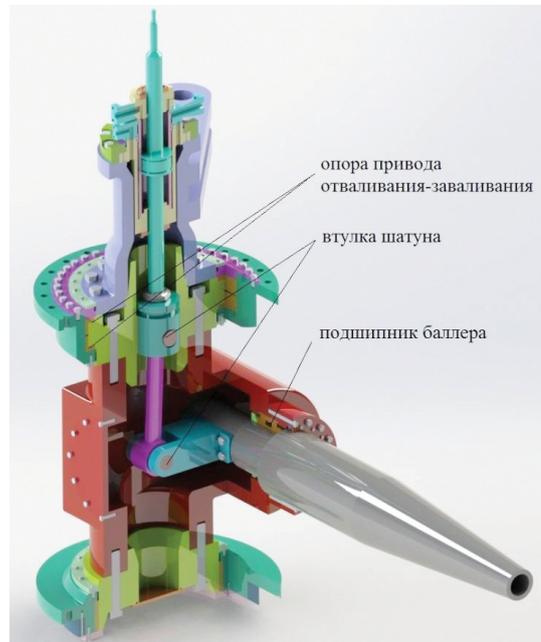


Рис. 5. Вид подшипника баллера УК

Преимуществом данного варианта является простота в обслуживании приводного механизма, а недостатком – увеличение верхнего габаритного размера.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНОЙ СХЕМЫ СИЛОВОГО ПРИВОДА УК НЕУБИРАЮЩЕГО ТИПА

В разделе будут рассмотрены конструкции неубирающихся УК с пером руля, соразмерным с аналогами.

1. SKF type FZ. Общий вид привода приведен на рис. 6 и рис. 7.



Рис. 6. Привод FZ на стенде завода-изготовителя

Отличительными особенностями конструкции УК фирмы SKF type FZ являются:

- роторно-лопастной привод перекладки руля;
- угол перекладки руля в стоячей воде до $\pm 60^\circ$.

Преимущества данной конструкции:

- компактность;
 - увеличенная эффективность при работе на стоянке;
- Недостатки:
- сложность изготовления роторно-лопастного привода;
 - сложность обеспечения герметичности в связи с тем, что для УК характерна работа с высокотемпературной рабочей жидкостью в приводе;
 - сложность конструкции стопора нулевого положения;
 - необходимость подачи увеличенного расхода рабочей жидкости (относительно УК с приводными гидроцилиндрами), который может быть значительным так как для перекладки необходимо создание больших рабочих скоростей.

2. **ABT TRAC 640 ACTUATOR.** Общий вид привода приведен на рис. 8.



Рис. 8. Привод к баллеру УК TRAC

Перекладка привода осуществляется гидроцилиндрами, которые имеют крепления в виде цапф в передней крышке. Такой тип крепления усложняет конструкцию ГЦ, но одновременно позволяет выполнить опорную раму более компактной. Имеется отдельный механический гидроприводной стопор нулевого положения.

Посадка пера на баллер – конусная.

Главной особенностью данного УК является применение Т-образного пера руля. Несмотря на наличие данных

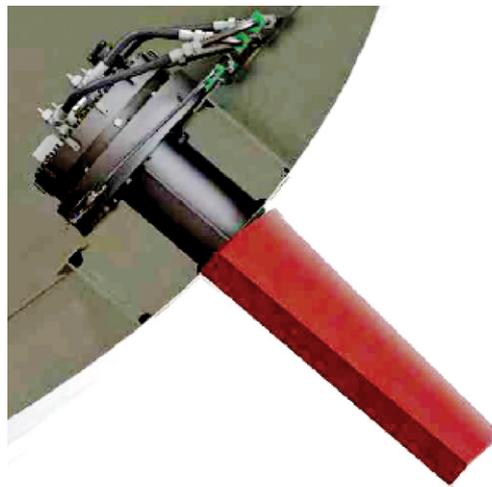


Рис. 7. Привод FZ в обводах корпуса

об увеличения эффективности умерения при применении Т-образных перьев, технологические сложности, связанные с изготовлением таких конструкций, ограничивают перспективы их применения.

3. **Fincantieri type SFZ, SFO, SFA.** Общий вид привода приведен на рис. 9.

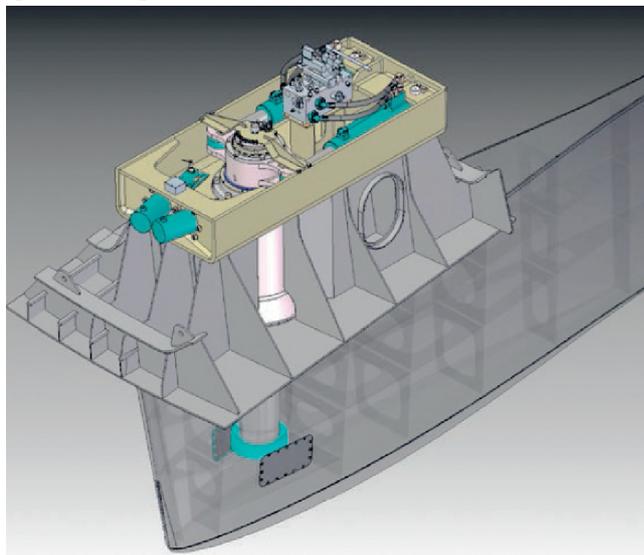


Рис. 9. Привод к баллеру УК Fincantieri type SFZ

Особенности конструкции следующие:

- привод перекладки гидроцилиндрами с концевыми опорами с шарнирными подшипниками типа ШС;
- стопорение гидроцилиндрами с упором в щеки румпеля;
- рама в виде сварного короба;
- управляющий гидроблок установлен непосредственно на приводе.

Отдельно отметим, что профили пера неубирающихся УК разных типов отличаются друг от друга. Используются перья с увеличенным удлинением, со стандартным профилем НАСА, с управляемым закрылком, с пером типа «рыбий хвост», с пером, имеющим выдвигающийся сектор, Т-образным пером, загнутым пером и т.д. Введение всех этих усовершенствований, по сути, преследует две основные цели – увеличение эффективности умерения качки и обеспечение эффективности работы УК при стоянке судна.

Основным недостатком успокоителей качки с активными рулями относительно других типов успокоителей как раз является их низкая эффективность при работе на малых скоростях хода и при стоянке, ввиду чего значительные усилия проектантов направлены на нивелирование данного недостатка.



Рис. 10. Привод к баллеру УК Naiad model 820. Вид на баллер

4. **Naiad model 820.** Общий вид привода приведен на рис. 10 и рис. 11.

Особенности конструкции следующие:

- привод перекадки гидроцилиндрами с цапфами в передних крышках;
- стопорение гидроцилиндрами с упором в щеки румпеля;
- рама в виде цилиндра с двумя основаниями из толстостенного листа;
- управляющий гидроблок установлен непосредственно на приводе;
- перо руля профиля НАСА.

5. **Quantum type QC2200.** Общий вид привода представлен на рис. 12.



Рис. 12. Привод к баллеру УК type QC2200

Особенности конструкции следующие:

- привод перекадки гидроцилиндрами с концевыми опорами с шарнирными подшипниками типа ШС;
- стопорение гидроцилиндрами с упором в щеки румпеля;
- рама в виде сварного короба;
- подшипники баллера: верхний – сферический роликовый, нижний – втулка;
- перо руля профиля НАСА.

6. **Blohm+ Voss type F.** Общий вид привода представлен на рис. 13.

Особенности конструкции следующие:

- привод перекадки гидроцилиндрами с концевыми опорами с шарнирными подшипниками типа ШС;
- стопор клиновой гидроприводной;
- рама в виде сварного короба;
- подшипники баллера: верхний – сферический роликовый, нижний – втулка;

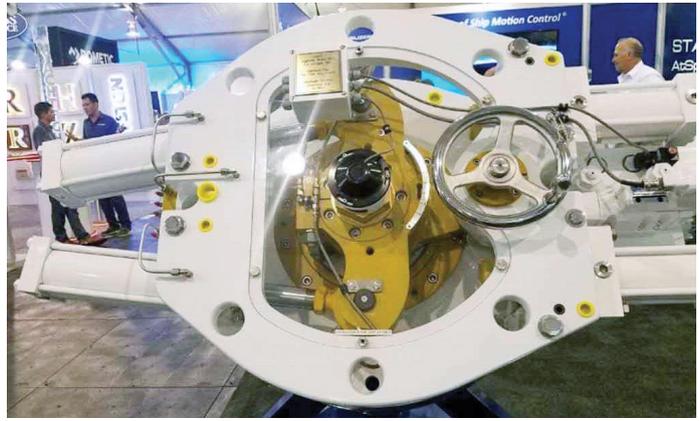


Рис. 11. Привод к баллеру УК Naiad model 820. Вид на привод перекадки

– перо руля собственного профиля.

Приведенные конструкции можно типизировать по следующим признакам:

- а) Тип исполнительного механизма привода перекадки:
 - гидроцилиндр с цапфой в передней крышке;
 - гидроцилиндр с концевыми опорами с шарнирными подшипниками типа ШС;
 - роторный привод.



Рис. 13. Привод к баллеру УК BV type F

Минусы роторного привода были рассмотрены выше. Гидроцилиндры с цапфой в передней крышке обычно выполняются на стяжных шпильках, что конструктивно ограничивает максимальные размеры и обычно используется на УК меньших типоразмеров, для больших типоразмеров чаще применяются более стандартные ГЦ с концевыми опорами с шарнирными подшипниками типа ШС.

Роторный привод – наиболее технически простое устройство, обеспечивает больший угол перекадки, что важно для работы на стоянке, обладает наибольшим механическим КПД.

б) Тип соединения с пером руля:

- конус гидропресс;
- конус со шпонками;
- конус с концевой закладной треугольного профиля (BV).

Наиболее часто встречающимся решением в УК является конус с гидропрессовой посадкой. Данный тип соединения позволяет передавать момент с вала на ступицу более равномерно, не создавая локального нагружения, позволяет регулировать положение пера по отношению к линии корпуса вне зависимости от угла монтажа самого привода, прост при монтаже на заказе.

Однако применение данного типа соединения при изготовлении роторных рулевых машин типа РРМ выявил недостаточность опыта производства отечественными изготовителями баллеров и перьев с большой длиной конуса при

малых диаметрах ввиду необходимости обеспечения высокой точности поверхности конуса. Ввиду чего рекомендуется применение конструкции конуса с гидропрессом и шпонкой. В дальнейшем при наработке большого опыта будет рациональным перейти на посадку без шпонки.

в) Тип стопора:

- ручной клиновой;
- клиновой с гидроприводом;
- гидроприводной с упором в румпель.

Ручной клиновой – наиболее простой вариант, но требует для активации рабочего состояния и выведения из работы УК наличия персонала в помещении УК обоих бортов, что значительно усложняет процесс эксплуатации, и современными изготовителями применяется только в малых УК.

Клиновой с гидроприводом позволяет автоматизировать процесс стопорения, однако имеет такие конструктивные минусы, как требовательность к точности установки нуля и наличие жесткой связи с пером без демпфирования.

Гидропривод с упором в румпель конструктивно более сложен, но лишен недостатков клинового, к тому же с ним может быть реализована функция установки пера в ноль при вышедшем из строя приводе переключки с принудительным возвращением привода в ноль. По совокупности преимуществ данный вариант перспективен.

г) Место установки управляющего блока:

- на приводе;
- на насосной станции.

Установка блока на приводе обеспечивает относительно большую чувствительность привода к управлению и большую безопасность работы (по отклику предохранительных клапанов), однако привод, в отличие от насосной станции, располагается в зоне ограниченного доступа. При установке блока на привод становится затрудненным и более опасным выполнение ручного управления, регулирования и ремонта управляющей гидроаппаратуры. В связи с этим рекомендуется вариант с блоком на насосной станции, при этом должны быть введены ограничения по максимальной удаленности насосной станции и протяженности трубопроводов.

д) Тип гидросистемы.

Большинство производителей на данный момент применяет гидросистему открытого контура с пропорциональным гидрораспределителем, гидроаккумулятором и насосом с регулятором постоянного давления. Аналогичная схема построена, и к ее преимуществам, особенно важным для режима работы УК, относится:

- малая инерционность и меньшее время срабатывания по сравнению с системами закрытого контура;
- возможность получения высоких мгновенных величин подачи;

е) Компоновка насосной станции:

По компоновке агрегата используются три варианта:

- вертикально установленный электродвигатель и погружной насос;
- горизонтальная компоновка агрегата с установкой на баке;
- горизонтальная компоновка агрегатов под баком или рядом с ним.

Выбор компоновки в данном случае обуславливается тем насосом, который будет использоваться.

Насос с регулятором постоянного давления выпускается в погружном исполнении, но это ограничивает доступность к регулировке клапана давления. Также данный насос имеет ограничения по работе с вакуумом на линии всасывания, что делает нежелательной компоновку на баке. В связи с этим рекомендуется компоновка, в которой агрегаты установлены внутри пространственной рамы, сверху которой установлен гидробак.

У многих изготовителей, в частности BV, насос контура охлаждения имеет привод от одного электродвигателя (ЭД) с насосом приводов. В отечественной практике данная компо-

новка нереализуема, так как отечественные насосы не имеют возможности монтажа второго насоса, а установка насоса на второй вал ЭД приведет к чрезмерному удлинению агрегата, который не будет вписываться в габарит насосной станции.

Рекомендуется компоновка с отдельными агрегатами контуров управления приводами и охлаждения. Данная компоновка имеет ряд преимуществ по управлению, например, имеется возможность запуска на прогрев с отключенным контуром охлаждения и запуск на охлаждение перегретой гидросистемы с отключенным основным агрегатом.

Охлаждение практически все изготовители используют водо-масляное, так как работа УК связана с большими тепловыми потерями.

Отдельно рассмотрим вопрос применения обратной связи по тензометрии баллера руля.

Некоторые производители УК указывают на повышение эффективности умерения качки за счет использования вместо обратной связи по углу поворота использование обратной связи по изгибу (с тензодатчика в баллере руля). То есть, по сути, считывается параметр усилия на пере, который вроде бы является более прямым параметром, отражающим работу УК относительно угла поворота.

Однако проведенные на эту тему исследования говорят о том, что получение данных с достаточной точностью – весьма нетривиальная задача. Необходимы разработка сложного математического аппарата и значительные конструктивные усложнения.

ВЫВОДЫ

Результаты проведенного анализа свидетельствуют о большом разнообразии возможных конструктивных решений и постоянном совершенствовании методов успокоения бортовой качки. Выявленные технический уровень и тенденции развития показывают, какие технические решения необходимо заложить при разработке успокоителя качки для его соответствия мировому уровню техники. Выполненный анализ подтверждает техническую возможность создания типоряда отечественных успокоителей качки, удовлетворяющих современным требованиям.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дикин Б.Г., Завиша В.В. Судовые вспомогательные механизмы и системы. – М.: Транспорт, 1984.
2. Колесников О.Г. Судовые вспомогательные механизмы и системы – М.: Транспорт, 1977.
3. Петров Е.М., Юзефович Ю.И. Лопастные неполноповоротные гидродвигатели в судостроении – Л.: Судостроение, 1972.
4. Чекризов Г.В., Темкин М.С., Воробьев В.О. Справочник по успокоителям качки с бортовыми рулями. – Л.: Судостроение, 1979.
5. Шмырев А.Н. Успокоители качки судов – Л.: Судостроение, 1961.
6. Каталог фирмы Kongsberg «Neptune and Aquarius folding fin stabilizer», 2010.
7. Каталог фирмы Kongsberg «Gemini non-retractable fin stabilizer», 2010.
8. Каталог фирмы Kongsberg «Modular non-retractable fin stabilizer» 2010.
9. Каталог фирмы SKF «SKF Non-retractable fin stabilizer type FZ», 2015.
10. Каталог фирмы SKF «SKF Retractable fin stabilizer», 2012.
11. Каталог фирмы Rolls-Royce «Steering and stabilisation», 2008.
12. Каталог фирмы АВТ TRAC «Digital stabilizer», 2015.
13. Каталог фирмы Fincantieri «Fin stabilizers», 2016.
14. Каталог фирмы Fincantieri «Fin stabilizers System», 2020.
15. Каталог фирмы Hydrosta «Stabilizers», 2018.
16. Каталог фирмы Naiad Dynamics «Active Fin Stabilizers», 2016.
17. Каталог фирмы Quantum «Stabilizer», 2022.
18. Каталог фирмы Blohm and Voss «Retractable Fin Stabilizers Type S, UHL and Z», 2012. ■

Статические преобразователи для систем компенсации магнитных полей корпусных конструкций, поставляемые АО «НПФ «Меридиан» в составе изделия АМК-51, зарекомендовали себя в эксплуатации как надежные функциональные узлы главным образом за счет использования режима релейного управления регулятором тока. В ходе развития изделия АМК-51 были разработаны статические регуляторы тока в диапазоне выходной мощности от 2 до 30 кВт, поставлено на заказы большое количество серийных образцов.

Статические преобразователи неоднократно подвергались модернизации в части системы управления: осуществлялся переход от аналогового управления к цифровому, сокращалась номенклатура применяемой элементной базы, оптимизировалась система контроля исправного состояния, вводился второй контур управления для повышения точности регулирования тока в обмотках системы компенсации.

При модернизации статических преобразователей мало затрагивались вопросы снижения статических и коммутационных потерь силовых транзисторов, расположенных в выходных каскадах инверторов. Модернизация касалась только оптимизации компоновки силовых транзисторных сборок для более эффективного отвода выделяемой при работе тепловой энергии. Высокие тепловые потери, как правило, ведут к наращиванию дополнительной массы охладителей (радиаторов) и к установке дополнительных вентиляторов. Эти мероприятия увеличивают габариты статических преобразователей и снижают их эксплуатационную надежность из-за наличия механических вращающихся узлов.

Учитывая стремительное развитие элементной базы силовой электроники и тенденцию к снижению тепловых потерь современных статических преобразователей, необходимо восполнить этот пробел, направив усилия на разработку эффективных способов повышения коэффициента полезного действия изделия АМК-51.

АНАЛИЗ ПРЕИМУЩЕСТВ ОДНОКЛЮЧЕВОГО РЕЖИМА УПРАВЛЕНИЯ СИЛОВЫМ ИНВЕРТОРОМ В СТАТИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯХ ДЛЯ СИСТЕМ КОМПЕНСАЦИИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ КОРАБЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Б.Ю. Семёнов, начальник сектора – главный конструктор направления СКЭМП, АО «НПФ «Меридиан»,
контакт. тел. (812) 602 0364, доб. 526

СИЛОВАЯ СХЕМА СЕРИЙНОГО СТАТИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

Рассмотрим принципы работы силовой схемы статического преобразователя изделия АМК-51, использующейся на протяжении 20 лет при поставке серийных образцов. На рис. 1 показаны в упрощенном виде основные устройства силовой схемы статического преобразователя в двухконтурном исполнении.

Входной усилитель обратной связи второго контура Х3, имеющий цепи коррекции частотной характеристики (R23, C3, C4), подключен к инвертирующему входу элемента Х2, использующегося в режиме триггера Шмитта. Порог переключения триггера Х2, на который поступает опорное напряжение от датчика тока первого контура (сигнал DT) задан делителем R7, R10. Элемент Х1 включен по типовой схеме инвертора.

Для ускорения процесса моделирования в программе MicroCAP вместо моделей силовых IGBT транзисторов используются ключи SW1...SW4. Выходной силовой инвертор представлен элементами SW1...SW4 и D1, D2, D5, D6. Транзисторы Q1...Q8 с элементами обвязки моделируют драйверы управления силового инвертора и задействованы в ключевом режиме работы.

Выходной фильтр низкой частоты представлен элементами L1, C2. В цепь

дросселя L1 включен датчик тока Н1 первого контура обратной связи. Датчик тока Н2 включен в цепь нагрузки R19 и представляет собой датчик второго контура обратной связи.

Диаграммы работы силовой схемы рис. 1 представлены на рис. 2.

При замыкании ключей SW1 и SW4 через дроссель L1 начинает протекать линейно нарастающий ток. Его величина, преобразованная датчиком тока Н1, сравнивается со значением управляющего напряжения, поступающего на инверсный вход триггера Х2. В момент, когда значения этих напряжений сравниваются, триггер Х2 переключается в противоположное состояние, одновременно с ним размыкаются ключи SW1, SW4 и замыкаются ключи SW2, SW3. Ток через дроссель L1 начинает линейно падать до сравнения с опорным напряжением управления, после этого ключи SW2, SW3 размыкаются, ключи SW1 и SW4 замыкаются, и процесс повторяется.

Различное время нахождения ключей SW1 и SW4, SW2 и SW3 в проводящем состоянии, меняющееся в зависимости от величины опорного сигнала, образует постоянную составляющую тока в нагрузке. При равенстве времени нахождения ключей SW1 и SW4, SW2 и SW3 в проводящем состоянии ток в нагрузке имеет нулевое значение.

Достоинством данной схемы является отсутствие «ступеньки» при смене

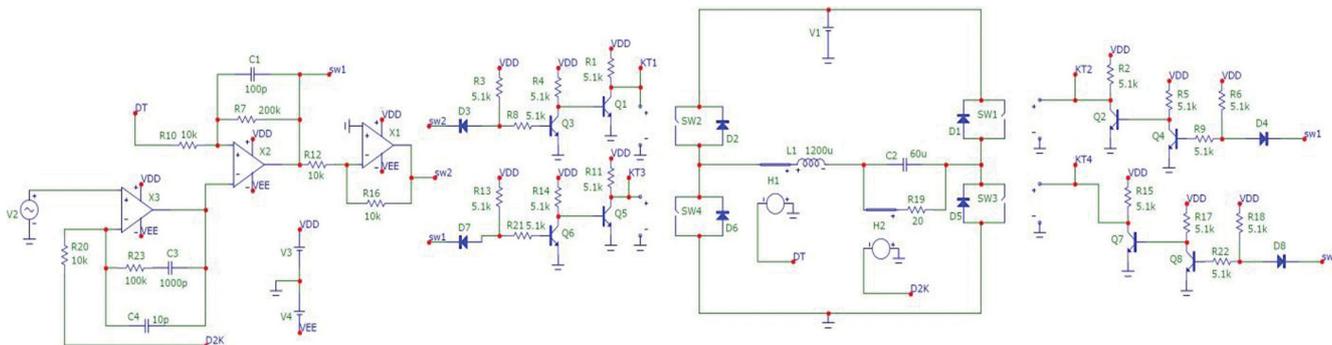


Рис. 1. Силовая схема серийного статического преобразователя

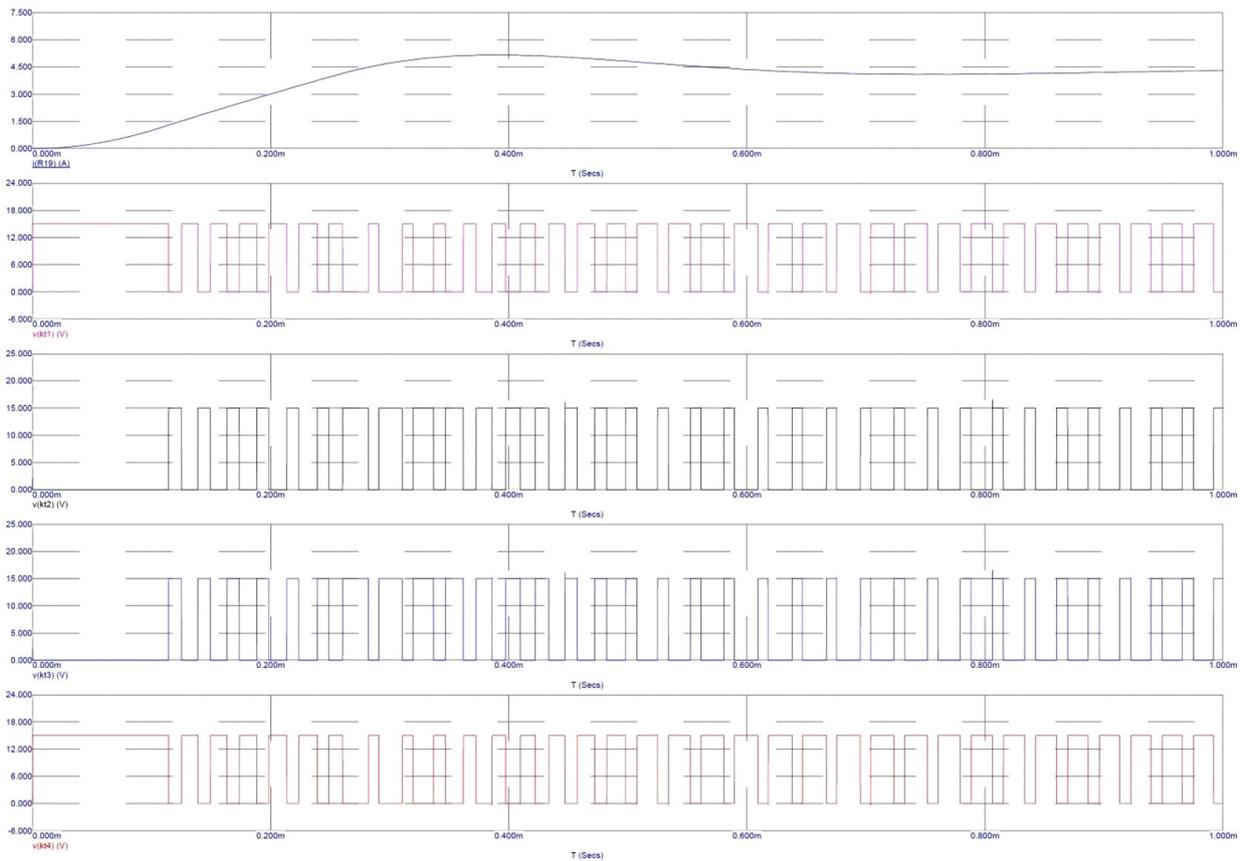


Рис. 2. Диаграммы работы силового инвертора в составе серийных статических преобразователей

полярности выходного тока статического преобразователя, что существенно для систем компенсации магнитных полей.

Если выполнить отключение усилителя обратной связи X3 от входа триггера Шмитта X2, а управляющий сигнал подать непосредственно на вход X2, то преобразователь станет одноконтурным. Такая схема также используется в изделии АМК-51 для преобразователей,

статическая характеристика регулирования тока которых обеспечивает значительные погрешности 1,5%. Для преобразователей со статической характеристикой регулирования тока с погрешностью не хуже 0,5% используется двухконтурная схема управления.

На рис. 3 представлена кривая выходного тока одноконтурной схемы при синусоидальном воздействии 5 Гц, а на рис. 4 – кривая выходного тока двухкон-

турной схемы. Гармонический анализ выходного тока показывает, что нелинейные искажения при передаче синусоидального сигнала незначительны и в том, и в другом варианте.

Главная особенность силовой схемы серийных статических преобразователей состоит в том, что ключи SW1...SW4 находятся в режиме быстрого переключения во всем диапазоне регулирования тока нагрузки.

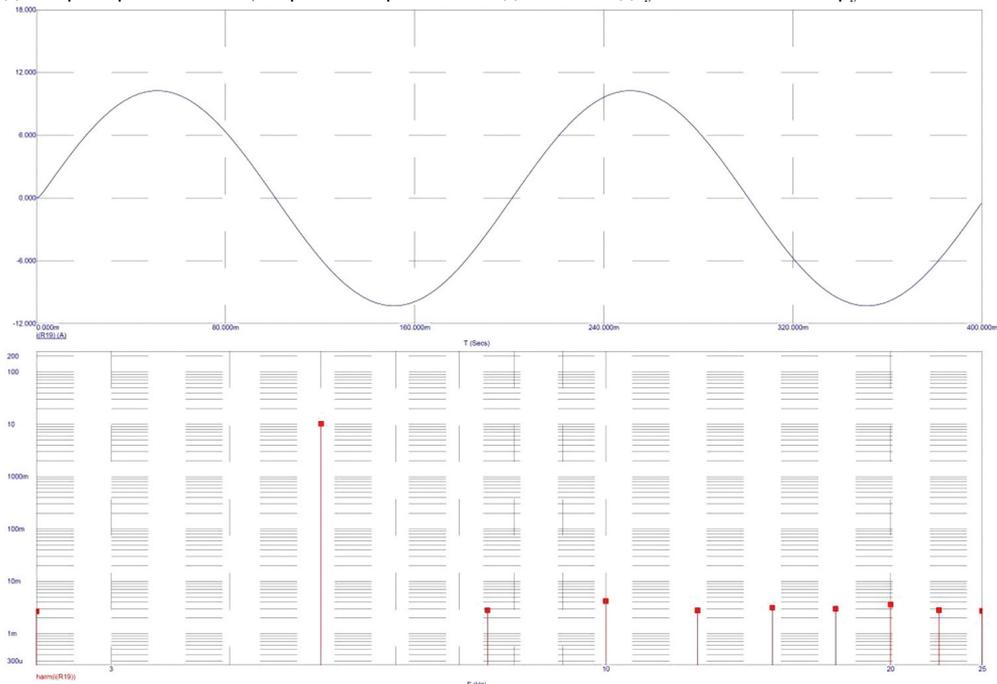


Рис. 3. Характеристика выходного тока одноконтурной силовой схемы серийного статического преобразователя

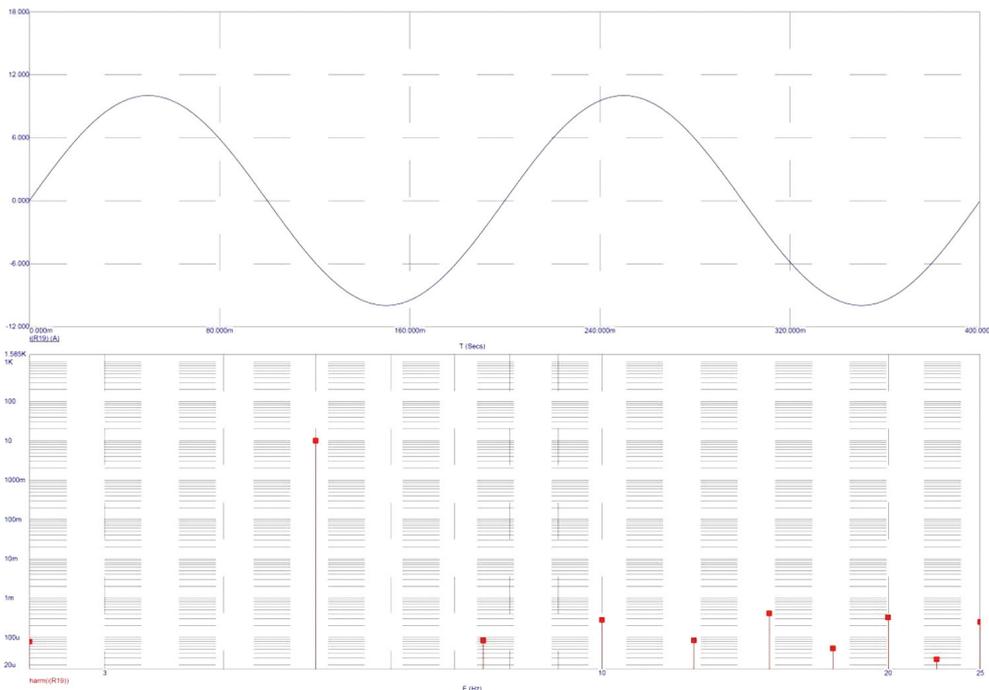


Рис. 4. Характеристика выходного тока двухконтурной силовой схемы серийного статического преобразователя

СИЛОВАЯ СХЕМА ОДНОКЛЮЧЕВОГО СТАТИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

Вопросы использования одноключевого режима для статических преобразователей, входящих в системы компенсации магнитных полей, были впервые затронуты в публикации [1], где также был предложен алгоритм управления одноключевым режимом. При реализации указанного алгоритма в состав статического преобразователя вводились три различные функции регулирования, переключаемых в зависимости от нахождения выходного тока: в положительной полярности, около нулевого значения, в отрицательной полярности. Приведенные авторами данные моделирования выходного тока свидетельствуют, что в моменты переключения алгоритмов управления возникают колебания выходного тока (рис. 5), которые не устраняются до конца, даже при точной настройке алгоритмов управления, а статический преобразователь становится чувствительным к изменению параметров нагрузки.

Задача, поставленная автором настоящей статьи, заключалась в пересмотре алгоритма управления, изложенного в [1], в пользу применения одной функции регулирования во всех режимах работы силовой схемы.

Рассмотрим выходной каскад инвертора тока в сопоставлении его с типовыми инверторными схемами. На рис. 6 изображены три силовые схемы, подробно описанные в литературе [2, 3] и многих других источниках.

Схема, показанная на рис. 6, а, используется при формировании токов

положительной и отрицательной полярности, близких к нулевому. Схемы согласно рис. 6, б и 6, в, применяются соответственно в положительной и отрицательной полярностях выходного тока, при выходе за диапазон малых токов.

Схема на рис. 6, а называется *мостовой*. В этой схеме ключи SW1, SW4 и SW2, SW3 парно включаются в противофазе. Режим ее работы был рассмотрен выше.

Схемы на рис. 6, б и 6, в представляют собой регуляторы типа «чоппер», с коммутацией силового ключа накачки

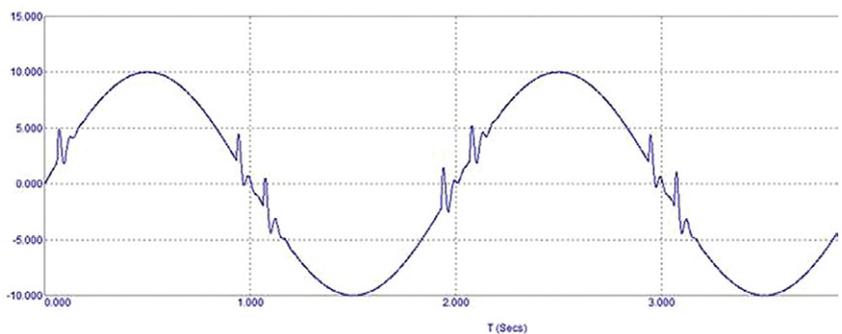


Рис. 5. Кривая выходного тока преобразователя [1] в одноключевом режиме

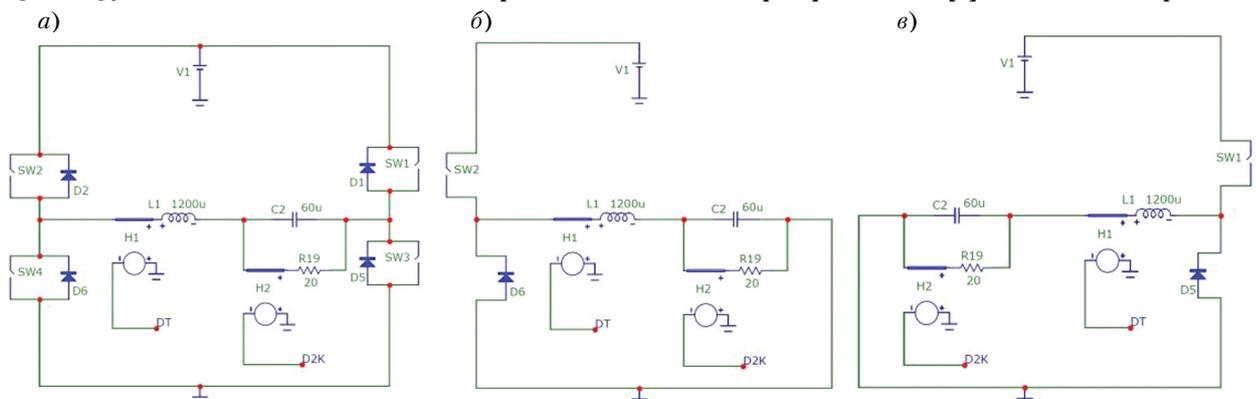


Рис. 6. Типовые инверторные схемы применительно к одноключевому режиму

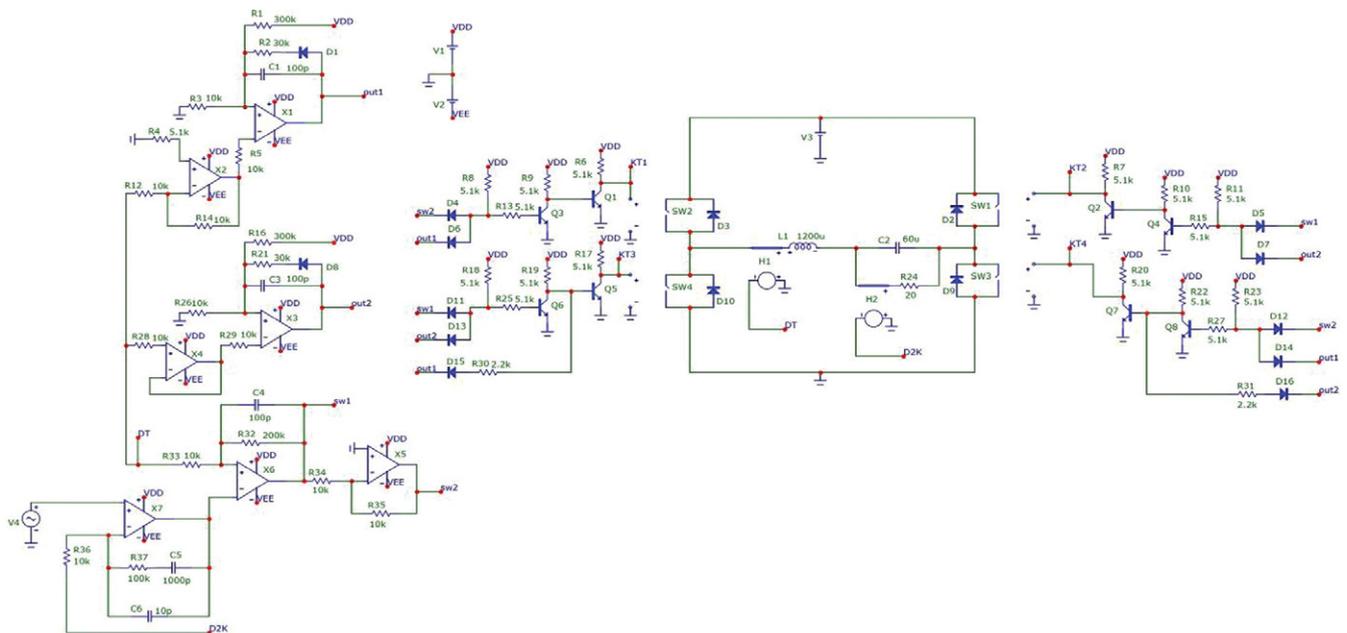


Рис. 7. Силовая схема модернизированного статического преобразователя с реализацией одноключевого режима работы

тока в верхнем плече моста и замыкания тока самоиндукции дросселя L1 через оппозитный диод нижнего плеча моста. В положительной полярности выходного тока ключ SW2 работает в активном режиме, ключи SW1 и SW4 постоянно разомкнуты, ключ SW3 постоянно замкнут. При отрицательной полярности выходного тока ключ SW1 работает в активном режиме, ключи SW2 и SW3 постоянно разомкнуты, ключ SW4 постоянно замкнут.

Силовая схема модернизированного статического преобразователя, реализующая комбинацию схем рис. 6, а – в при изменении уровня управляющего сигнала, показана на рис. 7.

В схеме, показанной на рис. 7, добавлен узел переключения режимов работы. Она реализована на основе двух

триггеров Шмитта X1 и X3, один из которых получает сигнал непосредственно от датчика тока H1 первого контура управления, а второй – инверсный сигнал от микросхемы X2. Микросхема X4 используется в режиме повторителя. Особенностью триггеров Шмитта, построенных на микросхемах X1 и X3, является «плавающий» порог опорного напряжения, смещаемый при переключении.

Режим функционирования мостовой схемы включается только при появлении двух сигналов высокого уровня на выходах «out1» и «out2». При высоком уровне на выходе «out1» и низком уровне на выходе «out2» включается одноключевой режим положительной полярности, при высоком уровне на выходе «out2» и низком

уровне на выходе «out1» – одноключевой режим в отрицательной полярности выходного тока.

При приближении нижней границы треугольного сигнала тока дросселя L1 к порогу переключения первого триггера Шмитта, последний переключается и устанавливает порог выше верхней границы треугольного сигнала, а также включает режим полного управления мостовой схемой. Далее, при приближении нижней границы треугольного сигнала тока дросселя L1 к порогу переключения второго триггера Шмитта, он также переключается и устанавливает порог выше верхней границы треугольного сигнала, одновременно отключая режим полного управления мостовой схемой.

Диаграммы работы схемы, показанной на рис. 7, приведены на рис. 8.

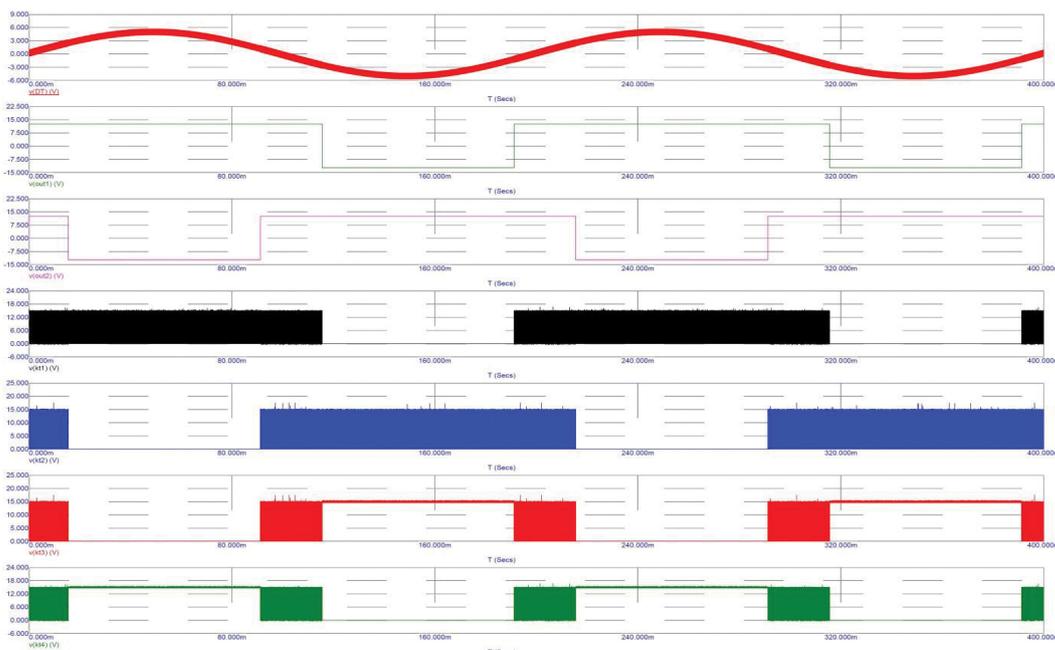


Рис. 8. Диаграммы работы одноключевого инвертора

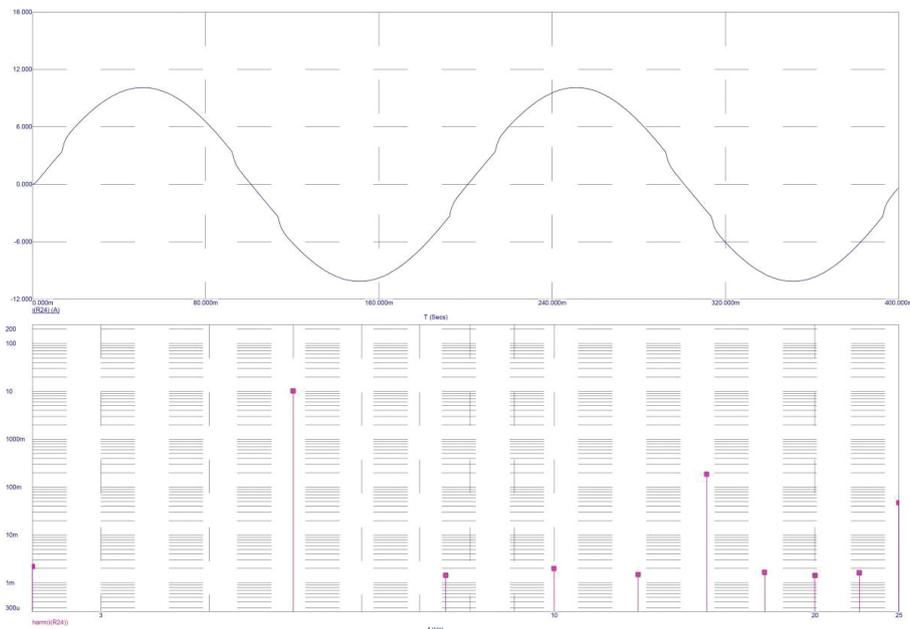


Рис. 9. Характеристика выходного тока одноконтурной силовой схемы в режиме одноключевого управления

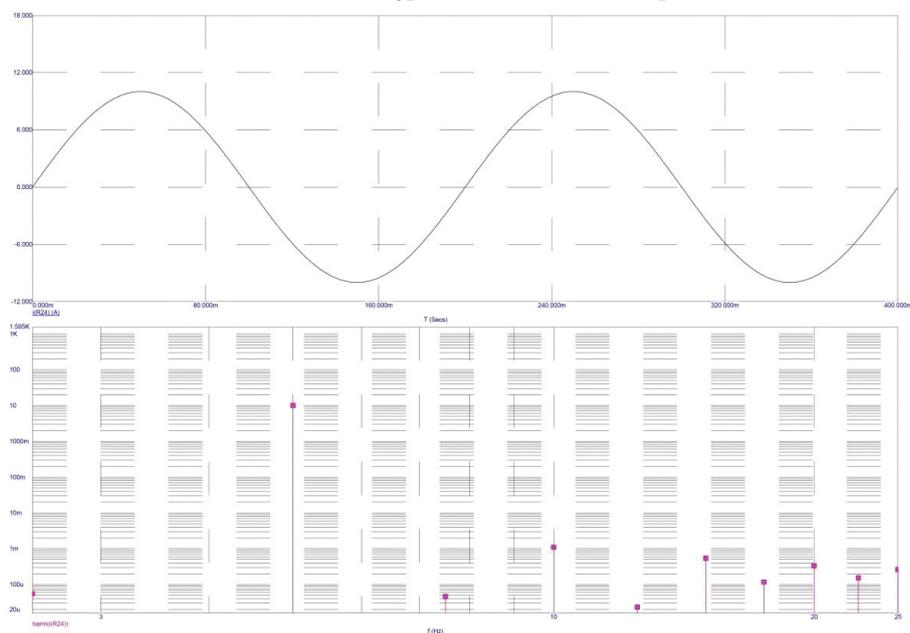


Рис. 10. Характеристика выходного тока двухконтурной силовой схемы в режиме одноключевого управления

Оценим качество выходного тока в одноключевом режиме работы инвертора. На рис. 9 приведена форма выходного тока для одноконтурной схемы, а на рис. 10 – для двухконтурной схемы. Из анализа представленных графиков с учетом расчета гармонического состава сигналов следует вывод – применение одноключевого режима работы инвертора тока целесообразно только с двухконтурной схемой управления.

По результатам исследования функционирования силовой схемы инвертора в одноключевом режиме с двухконтурной схемой управления можно сделать заключение, что ее основные характеристики оказались не хуже характеристики силовой схемы инвертора с полным управлением при условии, что одноключевая схема используется с двухконтурным управлением.

ТЕПЛОВЫЕ РЕЖИМЫ РАБОТЫ СХЕМ СИЛОВЫХ ИНВЕРТОРОВ

Перейдем к главному преимуществу одноключевой схемы управления – сниженные тепловые потери, и оценим, насколько эти потери могут быть снижены при использовании одноключевой схемы вместо схемы полного управления.

Рассмотрим статический преобразователь изделия АМК-51 с номинальной выходной мощностью 2 кВт, отдающий в нагрузку ток 10 А ($I_{ном}$) при напряжении 200 В ($U_{ном}$). В качестве расчетного примем режим 15% перегрузки при рабочей частоте 9 кГц ($f_{ср}$).

Средний ток нагрузки с учетом допустимой перегрузки

$$I_{max} = 1,15 \cdot I_{ном} = 10 \cdot 1,15 = 11,5 \text{ А.} \quad (1)$$

С учетом питания инвертора напряжением 300 В постоянного тока $U_{пит}$, ко-

эффициент заполнения широтно-модулированного сигнала

$$\gamma = 0,5 \left(\frac{U_{ном}}{U_{пит}} + 1 \right) = 0,5 \left(\frac{200}{300} + 1 \right) = 0,83. \quad (2)$$

Средний ток через один ключевой транзистор силового инвертора

$$I_{ave_igbt} = \gamma \cdot I_{max} = 11,5 \cdot 0,83 = 9,6 \text{ А.} \quad (3)$$

Средний ток через один оппозитный диод силового инвертора

$$I_{ave_fwd} = (1 - \gamma) \cdot I_{max} = 11,5 \cdot 0,83 = 2,0 \text{ А.} \quad (4)$$

Вначале оценим тепловые потери силовой схемы с полным управлением. В качестве базового варианта примем транзисторную сборку типа М12-200-12, выпускаемую АО «Электрум АВ» (г. Орел). Данные, необходимые для дальнейшего расчета, приведены в табл. 1.

Данные, необходимые для расчета

Параметр	Значение
Напряжение насыщения транзистора U_{sat_igbt} , В	2,5
Напряжение насыщения оппозитного диода U_{sat_fwd} , В	2,3
Энергия включения транзистора E_{on_igbt} , мДж	2,2
Энергия выключения транзистора E_{off_igbt} , мДж	2,0
Энергия обратного восстановления оппозитного диода E_{rr_fwd} , мДж	1,1

Прямые (статические) потери в открытом силовом транзисторе, Вт:

$$P_{sat_igbt} = U_{sat_igbt} \cdot I_{ave_igbt} \quad (5)$$

Прямые (статические) потери в открытом оппозитном диоде, Вт:

$$P_{sat_fwd} = U_{sat_fwd} \cdot I_{ave_fwd} \quad (6)$$

Коммутационные потери в силовом транзисторе, Вт:

$$P_{sw_igbt} = (E_{on_igbt} + E_{off_igbt}) \cdot f_{sw} \quad (7)$$

Коммутационные потери в оппозитном диоде, Вт:

$$P_{sw_fwd} = E_{rr_fwd} \cdot f_{sw} \quad (8)$$

Полные потери в силовом транзисторе, Вт:

$$P_{tot_igbt} = P_{sat_igbt} + P_{sw_igbt} \quad (9)$$

Полные потери в оппозитном диоде, Вт:

$$P_{tot_fwd} = P_{sat_fwd} + P_{sw_fwd} \quad (10)$$

Суммарные потери в одной сборке M12-200-12, Вт:

$$P_{tot} = P_{tot_igbt} + P_{tot_fwd} \quad (11)$$

Результаты расчета тепловых потерь, Вт, в расчете на одну транзисторную сборку M12-200-12 в режиме полного управления приведены ниже.

Результаты расчета тепловых потерь, Вт, в режиме полного управления

P_{sat_igbt}	24
P_{sat_fwd}	4,6
P_{sw_igbt}	37,8
P_{sw_fwd}	9,9
P_{tot_igbt}	61,8
P_{tot_fwd}	14,5
P_{tot}	76,2

С учетом наличия в инверторе двух транзисторных сборок общие потери тепловой мощности составят 153 Вт.

А теперь оценим тепловые потери при работе инвертора в одноключевом режиме. Здесь необходимо рассмотреть два режима работы: граничный режим полного управления и режим работы при максимальном выходном токе I_{max} равном 3 А. При этом в случае подключения к преобразователю номинальной нагрузки сопротивлением 20 Ом, напряжение на выходе $U_{ном}$ составит 60 В.

Определенный по формуле (2) коэффициент заполнения широтно-импульсного модулированного сигнала $\gamma = 0,6$.

Определенный по формуле (3) средний ток через один ключевой транзистор силового инвертора $I_{ave_igbt} = 1,8$ А.

Определенный по формуле (3) средний ток через один оппозитный диод силового инвертора $I_{ave_fwd} = 1,2$ А.

Результаты расчета тепловых потерь, Вт, в расчете на одну транзисторную сборку M12-200-12 для граничного режима приведены ниже.

Результаты расчета тепловых потерь, Вт, для граничного режима

P_{sat_igbt}	4,5
P_{sat_fwd}	3,1
P_{sw_igbt}	37,8
P_{sw_fwd}	9,9
P_{tot_igbt}	42,3
P_{tot_fwd}	13
P_{tot}	55,3

В расчете на две транзисторные сборки потери тепловой энергии в граничном режиме полного управления составят 110 Вт.

Наконец, оценим потери тепловой энергии при максимальном токе в режиме одноключевого управления. В этом режиме одна транзисторная сборка работает в активном режиме, и потери в ней могут быть определены по данным табл. 1. Вторая сборка

работает совершенно иначе – один ее транзистор полностью открыт, а второй полностью закрыт. Поэтому в этой сборке необходимо учесть только прямые (статические) потери открытого транзистора P_{sat_igbt} . В результате суммарные потери тепловой энергии в одноключевом режиме составят 101 Вт, причем наиболее теплонагруженным в данном случае является не режим номинального тока, а граничный режим полного управления. Тем не менее при использовании одноключевого режима удается уменьшить тепловые потери на 30...35% по сравнению с режимом полного управления.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предварительная проработка схемотехнической реализации одноключевого режима управления в статических преобразователях для систем компенсации магнитного поля корабельных корпусных конструкций показала, что даже при использовании транзисторных сборок с невысоким быстродействием, которые характеризуются высокими потерями на переключение, удается существенно снизить тепловые потери в силовых элементах инвертора.

Дальнейшее уменьшение тепловых потерь может быть связано с применением перспективных силовых модулей, изготавливаемых на основе карбида кремния. Такие технологии в настоящее время осваиваются отечественной промышленностью.

ЛИТЕРАТУРА

1. Селякова В.Ю., Фогель В.В. Одноключевой режим: инновационный подход к управлению силовым инвертором // Морской вестник. – 2022. – №2.
2. Семёнов Б.Ю. Силовая электроника: от простого к сложному. (Серия «Библиотека инженера»). – М.: Солон-Пресс, 2005.
3. Семёнов Б.Ю. Силовая электроника для любителей и профессионалов. (Серия «Библиотека инженера»). М.: – Солон-Пресс, 2001. ■

Корабельное устройство широкополосной связи (КУШС) может быть использовано для обеспечения своевременного, достоверного и безопасного обмена мультисервисной информацией (речь, видео, передача файлов, пакетная передача данных, телеметрия, электронная почта) взаимодействующих кораблей и судов в ультракоротковолновом (УКВ) диапазоне от ультравысоких до сверхвысоких частот.

Известно КУШС, работающее на частотах 4850–6425 МГц и состоящее из беспроводного репитера, адаптера, маршрутизатора беспроводной связи, коммутатора, антенны и роутера с поддержкой асимметричной цифровой абонентской линии ADSL или технологии быстрого мобильного интернета 4G [1]. Недостатком данного устройства является низкая скорость передачи данных с широкой диаграммой направленности (ДН) при использовании для связи с подвижными объектами.

Кроме того, известна широкополосная радиолиния связи, используемая для организации связи между кораблем и вертолетом на частотах 10 000–10 500 МГц [2]. Она состоит из цифрового блока приема-передачи бортового, антенно-электронного блока бортового приемного, антенно-электронного блока бортового передающего и автоматизированного рабочего места оператора. Недостатком данной радиолинии является низкая скорость обмена данными как между вертолетами, так между кораблями.

Так как каждая радиостанция работает в своем диапазоне частот, с различными скоростями передачи данных и имеет разные помехозащищенные коды, их встречная работа не поддерживается.

Наиболее близким аналогом, пригодным для решения технической проблемы, является радиостанция Р-620 с блоком широкополосных сетей [3], работающая на частотах 1500–1750, 2412–2462 МГц и состоящая из блока коммутации и управления с вычислительным модулем, блока широкополосных сетей, блока усилителей мощности, блока аппаратного расширения стыков, блока антенно-фидерного тракта и пульта управления. Недостатком данной радиостанции является то, что она работает в узком диапазоне частот, с низкой скоростью передачи данных и не поддерживает встречную работу с указанными в [1, 2] средствами широкополосного доступа.

Для расширения диапазона рабочих частот и функциональных возможностей устройства за счет введения новых режимов работы, позволяющих увеличить пропускную способность радиотракта и обеспечить встречную работу с другими средствами широкополосного

КОРАБЕЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО ШИРОКОПОЛОСНОЙ СВЯЗИ

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

Е.А. Рылов, канд. техн. наук, ген. директор АО «ПКБ РИО»,

В.А. Цыванюк, канд. воен. наук, ст. науч. сотрудник НИИ ОСИС ВМФ ВУНЦ ВМФ «ВМА им. Н.Г. Кузнецова»,
контакт. тел. +7(921)318 4607, +7(981)136 7169, +7(911)267 3827,
andrei.katanovitch@yandex.ru, rylov79@mail.ru, cizvaniuk@mail.ru

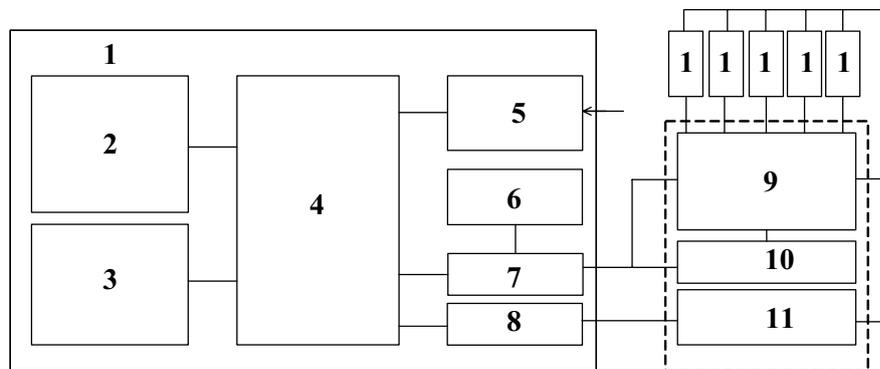


Рис. 1. Функциональная схема соединений в корабельном устройстве широкополосной связи

1 – широкополосный модуль приемопередачи (ШМПП); 2 – блок антенно-электронный многодиапазонный (БАЭМ); 3 – модуль цифровой обработки сигналов (МЦОС); 4 – кроссплата (КП); 5 – модуль трансиверов (МТ); 6 – телематический модуль (ТМ); 7 – модуль блока коммутации и опорного генератора (МБКОГ); 8 – модуль электропитания (МЭП); 9 – блок маршрутизации и управления (БМУ); 10 – автоматизированное рабочее место автоматизированного комплекса связи (АРМ АКС); 11 – блок электропитания (БЭП)

доступа, предлагается КУШС [4]. Функциональная схема соединений в таком устройстве представлена на рис. 1.

Широкополосный модуль приемопередачи 1 – основная часть КУШС и состоит из семи элементов: БАЭМ, МЦОС, КП, МТ, МП, ТМ и БКОГ. Все блоки и модули соединены через кроссплату.

Блок антенно-электронный многодиапазонный 2 представляет собой активный антенный многодиапазонный приемопередающий модуль и служит для выбора частотных диапазонов с учетом необходимости обеспечения в первую очередь взаимодействия большого количества различных объектов. Проблема состоит в том, что в их состав включены разнообразные средства приема и передачи информации, работающие в разных частотных диапазонах. Он включает: приемные и передающие платы-конвертеры, преобразующие промежуточные частоты в соответствующую рабочую частоту выбранного диапазона L (800–1200 МГц), диапазона S (2300–2600 МГц), диапазона C (5000–5500 МГц) или диапазона X (10 000–10 500 МГц); из приемные и передающие платы усилителей для усиления сигналов на рабочей частоте и управления лучом диаграммы направленности в азимутальной ($\pm 30^\circ$) и

угломерной ($\pm 25^\circ$) плоскостях; плата сопряжения и антенное полотно с излучателями, выполненное по принципу активной фазированной антенной решетки (АФАР).

Модуль цифровой обработки сигналов 3 обеспечивает управление БАЭМ 2 по интерфейсу управления RS-485, формирование стробов ПРМ/ПРД, работу в соответствующем диапазоне частот и управление лучом диаграммы направленности в зависимости от поставленной задачи.

Кроссплата 4 выполняет коммутацию сигналов управления и передачу частоты 100 МГц с опорного генератора.

Модуль трансиверов 5 формирует выходные сигналы передатчика с необходимыми сигнально-кодowymi конструкциями на промежуточной частоте (ПЧ) 1550 МГц, обрабатывает входные сигналы на ПЧ и передает их в МЦОС 3.

Телематический модуль 6 состоит из модулей ГЛОНАСС/GPS акселерометра, обеспечивающих определение координат, времени суток, курса и угла отклонения от вертикали, а также выдачу данных позиционирования по протоколу информационно-логического сопряжения.

Модуль блока коммутации и опорного генератора 7 включает коммутатор

потоков Ethernet 1000 BaSe-T и интерфейс Ethernet 1000 BaSe-X (оптика); высокочастотный прецизионный малошумящий кварцевый генератор ГК219-ТС частотой 100 МГц, который служит для обеспечения высокоточным опорным колебанием МЦОС, ячейки БАЭМ и телематического модуля. Генератор высокой частоты предназначен для выработки высокочастотных колебаний, частота которых удовлетворяет высоким требованиям к точности и стабильности частоты КУШС. Синтезатор преобразует частоту колебаний опорного генератора, которая обычно постоянна, в любую другую частоту, необходимую в данный момент для радиосвязи. Уровень стабильности частоты при этом не должен существенно снижаться.

Модуль электропитания 8 через кроссплату обеспечивает все микросхемы ШМПП напряжением 5 В.

С помощью блока маршрутизации и управления 9 осуществляются коммутация и управление ШМПП в варианте его исполнения с шестью блоками. БМУ представляет собой маршрутизатор, обеспечивающий разнесение ШМПП по разным подсетям, а также автоматический (путем использования искусственного интеллекта) выбор оптимального ШМПП для встречной работы в радиоканале.

Автоматизированное рабочее место 10 предоставляет пользователю удобный интерфейс для управления устройством широкополосной связи и его эксплуатации.

БЭП 11 обеспечивает питание ШМПП входным напряжением 27 В постоянного тока от трех типов бортовой сети: напряжением 220 В (однофазная сеть переменного тока частотой 50/400 Гц), 380 В (трехфазная сеть переменного тока и частотой 50 Гц) и 27 В (сеть постоянного тока). При включении блока электропитания одновременно происходит запитывание напряжением 27 В модуля трансиверов, телематического модуля, МЦОС, БМУ, БКОГ и БАЭМ.

КНШС предлагается использовать как связующее звено, обеспечивающее взаимодействие между подвижными объектами с помощью средств передачи данных на требуемой скорости. Основными потребителями и источниками информации, передаваемой по каналам КУШС, являются различные комплексы связи корабля, а также комплексы средств телекоммуникаций, в состав которого входят терминалы видеотелефонной связи и электронной почты. КУШС предоставляет услуги по передаче и приему:

- речевых сообщений в цифровой форме (IP-телефония);
- файлов (текстовых, графических и т.п.);

– видео со звуковым сопровождением.

При работе КУШС и в БАЭМ выполняется частотное сканирование во всех диапазонах с целью сбора информации о помеховой обстановке в радиозоне с определением оптимального для передачи данных канала, причем важно выдержать межэлементное расстояние, как правило, от 0,5λ до 0,7λ (λ – длина волны), чтобы избежать взаимного влияния излучателей и появления дифракционных максимумов при сканировании. Поскольку формирование апертуры происходит в нескольких диапазонах на одном антенном полотне, частоты следует выбирать таким образом, чтобы сетки расположения излучателей каждого диапазона не пересекались (т.е. накладывались друг на друга без коллизий). Следовательно, при кратности частот межэлементное расстояние должно быть также кратно. Поэтому размещать излучатели между излучателями других диапазонов можно на эквидистантном расстоянии, обеспечивая симметричность структуры и уменьшая взаимное влияние. С учетом этого в разрабатываемом антенном полотне межэлементное расстояние диапазона С выбирается равным 35 мм (~0,6λ); излучатели диапазона S располагаются между излучателями диапазона С с шагом 70 мм (~0,6λ) со сдвигом 17,5 мм (половина шага диапазона С); излучатель (при масштабировании – излучатели) диапазона L размещается между излучателями диапазона S, равно как и между излучателями диапазона С, по центру полотна. Так как из-за больших линейных размеров излучателей диапазона С их размещение между излучателями диапазона Х вызывает затруднение, а также повышается плотность активных элементов АФАР, апертуры диапазона Х вынесены в отдельные модули.

Ввиду сложности обеспечения электромагнитной совместимости АФАР и с учетом кратности частот вводится ограничение на одновременное использование нескольких диапазонов в пределах одного широкополосного модуля приемопередачи, поэтому в определенное время разрешается работать только в одном диапазоне. При выборе сигнально-кодовых конструкций и полосы частот сигнала следует учитывать факт снижения пропускной способности канала из-за увеличения дальности и, следовательно, времени ожидания ответа.

Для того чтобы КУШС могло регулировать усиление тракта по мощности, был проведен расчет требуемого отношения сигнал/шум SNR на выходе приемного устройства при условии наличия прямой оптической видимости в отсутствие дифракционных потерь.

Сначала вычисляем частотную полосу пропускания сигнала приемного

устройства по формуле

$$\Delta F = [S(1 + \beta)(1 + V_{cr})]/va,$$

где S – скорость передачи информации; β – коэффициент сглаживания фильтра Найквиста (0,5); V_{cr} – объем служебного трафика (30%); v – скорость кода (1/2); a – спектральная эффективность модуляции. В данном случае для расчета отношения SNR используется модуляция с эффективностью a = 1.

Затем определяем потери энергии сигнала, дБ, на трассе распространения сигнала между антеннами объектов по формуле

$$L = -32,33 - 20Lg(F) - 20Lg(R) + G_i + G_r,$$

где F – частота, МГц, несущей передаваемого сигнала; R – расстояние, км, между приемопередатчиками; G_i и G_r – усиление, дБ, приемной и передающей антенн соответственно.

При этом $G_i = 0$, так как используется понятие эквивалентной изотропно-излучаемой мощности (ЭИИМ) $G_r = -4$ дБ для диапазона L, $G_r = 9$ дБ для диапазона S, $G_r = 15$ дБ для диапазона С, $G_r = 12$ дБ для диапазона Х.

Мощность сигнала, Вт, в точке приема определим из выражения

$$P_{прм} = 10^{(P_{прд} + L)/10} \cdot 10^{-3},$$

где L – величина, дБ; $P_{прд}$ – ЭИИМ передатчика, дБ, относительно милливатта (дБм).

Минимальную мощность в точке приема, Вт, при которой мощность сигнала на выходе линейного тракта приемника превышает мощность шума в заданное число раз (реальная чувствительность приемника), определяем по формуле

$$P_{прм\min} = K T \Delta F K_{ш} SNR,$$

где K – постоянная Больцмана, $K = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К; T – абсолютная температура приёмника, К; $K_{ш}$ – коэффициент шума приёмника.

В качестве минимальной величины $P_{прм\min}$ принимается мощность сигнала в точке приема $P_{прм}$. Предполагается, что величина коэффициента шума приемника $K_{ш} = 3$ дБ, 1,99 раза.

Отношение сигнал/шум на входе линейного тракта приемника определяется по формуле

$$SNR = P_{прм} / [K T \Delta F K_{ш}].$$

Абсолютная температура T приемника задается равной эталонной 290 К, поскольку именно эта величина при вычислении коэффициента шума приемника является стандартной (принята ассоциацией IEEE) и приближенной оценкой температуры приемника в большинстве каналов связи.

Требуемые параметры сигнально-кодовых конструкций передатчика с использованием технологии открытой радиосвязи Open Wi-Fi, необходимых для

Параметры сигнально-кодовых конструкций передатчика

Дальность связи, км	Диапазон частот, МГц	Требуемая скорость, Мбит/с	Максимальная частота, МГц	ЭИИМ, дБм	Вид модуляции	Скорость кода	Полоса сигнала, МГц	Теоретический предел скорости, Мбит/с	Требуемое SNR, дБ
12,5	L	50	1200	47	16-QAM	1/2	80	117	18,9
	S		2600	45					23,2
	C	100	5500	50	64-QAM	5/6	80	292,5	27,7
	X		10 500	52					21,1
25	L	10	1200	47	QPSK	1/2	40	27	15,9
	S		2600	45					20,2
	C	50	5500	50	16-QAM	1/2	80	117	21,7
	X		10 500	52					15,1
50	L	5	1200	47	QPSK	1/2	20	13	12,9
	S		2600	45					17,2
	C	12,5	5500	50	QPSK	1/2	40	27	18,7
	X		10500	52					12,1
100	L	1	1200	47	BPSK	1/2	10	3	9,9
	S		2600	45					14,2
	C	3	5500	50	BPSK	1/2	20	6,5	18,7
	X		10 500	52					9,1
250	L	0,2	1200	47	BPSK	1/2	5	1,5	5,0
	S		2600	45					5,2
	C	0,5	5500	50	BPSK	1/2	5	1,5	13,7
	X		10 500	52					7,1

создания КУШС, а также результаты вычислений значения отношения сигнал/шум SNR на входе линейного тракта приемника приведены в табл. 1.

На основе данных, представленных в табл. 1, определяем вероятность битовой ошибки приема BER.

Для этого рассчитываем отношение энергии сигнала, приходящейся на бит принимаемого сообщения E_b , к энергетической спектральной плотности шума N_0 :

$$E_b/N_0 = SNR - 10Lgm + 10 \text{Lg}(1/V) + K_{\text{кор}}$$

где m – коэффициент маппинга (число битов на символ информации) $m = \text{Log}_2 M$; M – объем алфавита; $K_{\text{кор}}$ – корректирующий коэффициент, позволяющий учитывать энергетические затраты при использовании LDPC-кода (0,44).

Таблица 2

Вероятность битовой ошибки с применением сигнально-кодовых конструкций с использованием технологии Open Wi-Fi

Дальность связи, км	Диапазон частот, МГц	Вид модуляции	Скорость кода	Требуемое отношение SNR, дБ	Отношение E_b/N_0 , дБ	Вероятность битовой ошибки BER
12,5	L	16-QAM	1/2	18,9	16,3	$1,7 \cdot 10^{-9}$
	S			23,2	20,6	$2,5 \cdot 10^{-22}$
	C	64-QAM	5/6	27,7	21,1	$3,1 \cdot 10^{-10}$
	X			21,1	14,5	$1,2 \cdot 10^{-3}$
25	L	QPSK	1/2	15,9	16,3	$8,5 \cdot 10^{-21}$
	S			20,2	20,64	$1,2 \cdot 10^{-52}$
	C	16-QAM	1/2	21,7	19,1	$2,2 \cdot 10^{-16}$
	X			15,1	12,5	$5,7 \cdot 10^{-5}$
50	L	QPSK	1/2	12,9	13,3	$2,5 \cdot 10^{-11}$
	S			17,2	17,6	$2,2 \cdot 10^{-27}$
	C	QPSK	1/2	18,7	19,1	$7,3 \cdot 10^{-38}$
	X			12,1	12,5	$1,0 \cdot 10^{-9}$
100	L	BPSK	1/2	9,9	13,3	$2,4 \cdot 10^{-11}$
	S			14,2	17,6	$1,9 \cdot 10^{-27}$
	C	BPSK	1/2	18,7	22,2	$1,2 \cdot 10^{-73}$
	X			9,1	12,5	$9,9 \cdot 10^{-10}$
250	L	BPSK	1/2	5,0	8,4	$9,2 \cdot 10^{-5}$
	S			5,2	8,6	$6,4 \cdot 10^{-5}$
	C	BPSK	1/2	13,7	17,2	$1,3 \cdot 10^{-24}$
	X			7,1	10,5	$9,4 \cdot 10^{-7}$

Используя значения отношения E_b/N_0 , выполняем расчет вероятности битовой ошибки BER (полученные данные представлены в табл. 2). Из данных, приведенных в табл. 2, видно, что применение технологии открытой радиосвязи Open Wi-Fi в КУШС потенциально может обеспечить требуемые значения дальности и скорости передачи информации.

При использовании 16-QAM и 64-QAM переведем усилитель в линейный режим, что позволит уменьшить эквивалентную изотропно-излучаемую мощность и, соответственно, уровень отношения SNR на входе линейного тракта приемника.

Сигнал с платы сопряжения БАЭМ через кроссплату поступает в модуль трансиверов, в котором осуществляются обработка аналоговой части сигнала, выделение полезного высокочастотного сигнала и передача его в модуль цифровой обработки сигналов.

МЦОС контролирует формирование необходимых напряжений с помощью ячеек питания, собирает информацию от модулей ГЛОНАСС/GPS и акселерометра и обрабатывает ее, обеспечивает вычисления, обработку, формирование данных и управление ячейкой трансиверов (основной интерфейс JESD-406). В состав МЦОС входят процессор цифровой обработки сигналов (ЦОС), элементы аналого-цифрового интерфейса и синхронизации.

По внешнему или внутреннему сигналу синхронизации, сформированному процессором ЦОС (программно или с помощью таймера), входное и выходное устройства выборки-хранения переводятся из режима слежения в режим хранения сигнала, с некоторой

задержкой запускается аналого-цифровой преобразователь (АЦП) и переписываются выходные данные из регистра временного хранения (РВХ) в регистр выходных данных ЦАП. Процессор ЦОС по сигналу синхронизации считывает регистр данных ввода-вывода АЦП, обрабатывает данные, записывает их в РВХ, а затем ожидает новый сигнал синхронизации или формирует его. Совмещенный с регистром выходных данных регистр состояния канала ввода обнуляется после ввода данных и устанавливается в исходное состояние по завершении преобразования АЦП по его выходному сигналу готовности. При синхронизации прерывания или подтверждении готовности регистра состояния ввод данных начинается с момента его установки. Далее через модуль блока коммутации и опорного генератора сигнал по стыку-Ethernet поступает на высокопроизводительный, отличающийся низким электропотреблением одноплатный компьютер блока маршрутизации и управления. По окончании передачи данных в КУШС включается режим «Служебный канал».

Известно [3], что в показания системы GPS могут преднамеренно вноситься искажения. Поэтому для телематического модуля должна быть предусмотрена независимая работа в системе как ГЛОНАСС, так и GPS. Длины кабеля 15 м достаточно для использования его в составе КУШС мобильного и стационарного исполнения.

Автоматизированное рабочее место, как уже сказано, предоставляет оператору интерфейс управления устройством и предназначено для выполнения следующих функций:

– отображения, ввода и изменения ре-

жимов и параметров работы;

- отображения, ввода и изменения передаваемых сообщений;
- звукового оповещения о начале ведения радиосвязи и аварийных событиях;
- обеспечения интерфейса для подключения микротелефонной гарнитуры, носителя типа флеш, печатающего устройства и пульта дистанционного управления.

Таким образом, КУШС, конструктивно выполненное в шести компактных блоках приемопередающих широкополосных модулей, позволяет организовать связь со всеми действующими в УКВ диапазоне средствами связи на скоростях до 100 Мбит/с. При этом могут быть уменьшены габариты устройств при расширении рабочей полосы частот в диапазонах L , S , C , X и расширены функциональные возможности за счет введения новых режимов работы, позволяющих увеличить пропускную способность радиотракта и обеспечить встречную работу КУШС с другими средствами широкополосного доступа.

ЛИТЕРАТУРА

1. ТЛВА.464412.009.РЭ. Руководство по эксплуатации изделия «Дина». – М.: АО «Воентелеком». 2012. – 175 с.
2. ШИВА.464416.003.РЭ. Руководство по эксплуатации устройства ШРС-Б. – М.: ОАО «Радиотехн. институт им. акад. А.Л. Минца». 2010. – 126 с.
3. ЯРИТ.464514.007.РЭ. Руководство по эксплуатации радиостанции Р-620 с блоком широкополосных сетей. – Ярославль: АО «Ярославский радиозавод». 2011. – 164с.
4. Патент РФ № 279661 / Катанович А.А. и др. Корабельное устройство широкополосной связи. – 29.05.2023 г. ■

В современном мире имеет важное значение информационный обмен между различными объектами. Сегодня технические средства связи могут обеспечить обмен информацией между абонентами с заданной скоростью и тем самым решить задачу передачи информации больших объемов, в том числе с использованием радиоканалов. Радиоканалы нашли свое широкое применение в сфере доставки информации и обмена ею в различных сферах деятельности человека, там, где невозможна или нецелесообразна по технико-экономическим причинам организация проводных, оптических или спутниковых сетей связи. К таким сферам можно отнести такие виды деятельности человека, как нефтегазодобыча, работа в отдаленных районах страны, связанная с освоением просторов Крайнего Севера, включая арктические районы, лесное и водное хозяйство. Вместе с тем для безопасного и комфортного обеспечения жизнедеятельности человека существуют специальные службы или федеральные органы исполнительной власти, которые обладают информационным ресурсом и активно используют средства радиосвязи: МВД, МЧС, Росгвардия, Министерство обороны, Росминздрав, Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, Федеральная служба по надзору в сфере природопользования, Федеральное агентство лесного хозяйства и др. Каждая из перечисленных служб в том или ином виде занимается организацией связи и обменом информацией. Сложившаяся в настоящее время ситуация показывает, что в подразделениях этих служб и ведомств имеются средства связи, способные в какой-то мере решать задачу информационного обмена. В основном это средства связи иностранного производства, и их спектр достаточно широк.

Анализ задач, выполняемых различными ведомствами, показывает, что зачастую существует потребность в организации информационного обмена между, например, МЧС, МВД, Росгвардией и Министерством обороны. Неэффективность информационного обмена или его полное отсутствие препятствуют качественно и своевременно выполнению совместных задач. А в связи с изменяющейся геополитической обстановкой в мире, острой необходимостью борьбы с терроризмом и жизненно необходимой потребностью сокращения времени поисковых и спасательных операций задача тесного взаимодействия различных министерств становится с каждым днем все более острой и актуальной. Существующие средства связи не в состоянии обеспечить совместную встречную работу из-за раз-

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛИ КОМПЛЕКСА ИНТЕГРИРОВАННЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБМЕНА В СРЕДЕ ГЕТЕРОГЕННОЙ СИСТЕМЫ СВЯЗИ

А.С. Батурин, руководитель Специального конструкторского бюро – гл. конструктор ТЗУ,

Б.П. Верба, начальник отдела разработки схемотехники, СКБ АО «НПО Завод «Волиа», г.Сарапул, контакт. тел. (812) 252 0914

ных конструктивных и алгоритмических решений, использованных при их разработке. Появившиеся относительно новые средства связи в своей основе имеют элементы SDR технологии и позволяют реализовывать программным способом алгоритмы работы и сигналы, но каждый разработчик применяет свои уникальные алгоритмы и сигналы, тем самым блокируется встречная работа средств связи разных разработчиков.

Таким образом, для информационного взаимодействия различных ведомств становится актуальной задача комплексной интеграции технических средств радиосвязи в единое информационно-коммуникационное пространство. Такое взаимодействие возможно между подразделениями МЧС, МВД и МО и крайне необходимо при решении задач борьбы с терроризмом, ликвидации техногенных или природных катастроф. Вместе с тем предмет исследования актуален и для других сфер деятельности человека, таких как нефтегазодобыча, исследование природных ресурсов, арктических территорий, т.е. в труднодоступных местах, там, где есть проблема обеспечения радиосвязью, где отсутствуют проводные и оптические линии связи.

Исходя из вышеизложенного, можно сформулировать следующие цели и задачи исследования: повышение эффективности информационного обмена в гетерогенной системе связи (ГСС) путем комплексной интеграции средств связи в единое информационно-коммуникационное пространство и выбор оптимального канала связи с учетом требований к информационному потоку, доступности средств связи и помеховой обстановки.

Для достижения поставленной цели необходимо:

- исследовать аналоги систем связи с близкими характеристиками и выявить недостатки существующих систем с учетом возрастающих

требований к передаче информационного потока;

- разработать структуру ГСС, удовлетворяющей современным требованиям к информационному обмену, лишенную недостатков, выявленных в результате исследования аналогов;
- разработать имитационную модель ГСС, обеспечивающую комплексную интеграцию средств связи в единое информационно-коммуникационное пространство;
- исследовать пути организации взаимодействия радиосредств различных систем связи вневедомственной принадлежности;
- обосновать полученные результаты путем математического моделирования работы системы связи в различных условиях доставки информации с учетом различных видов и типов информации, временных требований к ее доставке;
- выработать рекомендации для построения современных систем связи.

Актуальной проблемой повышения эффективности решения задач является создание единого информационно-коммуникационного пространства для технических средств управления и связи. Такое пространство может быть создано при разработке комплекса интегрированных средств (КИС) радиосвязи, который должен повысить эффективность информационного обмена путем своевременной доставки информации до пунктов управления (ПУ), в том числе фото- и видеoinформации, а также унификации радиоканалов и технических средств различных ведомств.

Исходя из поставленных целей, осуществлен выбор системно-технической архитектуры комплекса и схемы организации взаимодействия в ГСС связи (рис. 1).

При выборе варианта построения архитектуры КИС определены и обоснова-

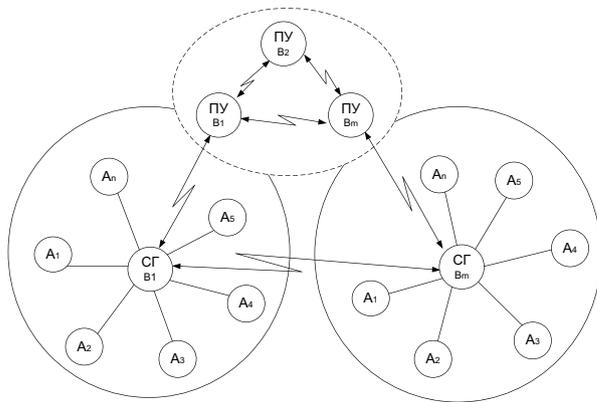


Рис. 1. Структурная схема организации взаимодействия в гетерогенной системе связи

ны виды каналов КИС, его подсистемы, определен предполагаемый состав.

На основании анализа состояния современных систем связи, элементной базы и идей, преобладающих в современной теории связи, рассмотрения преимуществ цифровых систем обосновано, что большинство каналов КИС с точки зрения входных и выходных сигналов должны быть цифровыми. Это определяет соответствующие требования к используемым видам модуляции, необходимость применения помехоустойчивого кодирования и должно учитываться при разработке сигнально-кодовых конструкций (СКК) и приемопередающих трактов.

Цифровым системам передачи присущи определенные недостатки. В частности, цифровые системы несовместимы со старыми аналоговыми. Более того, при неизвестных форматах представления информации и протоколах обмена затруднительно обеспечить совместимость и с цифровыми системами старого парка. Поэтому радиосредства комплекса должны поддерживать открытые аналоговые (непрерывные) каналы, в первую очередь, для передачи речи. Это позволит связаться с большинством радиостанций старого парка и аппаратурой других ведомств в критических ситуациях.

Анализ достоинств и недостатков узкополосных и широкополосных систем показывает, что необходим набор СКК и адаптивный их выбор с учетом условий связи. Соответственно, каналы и тракты КИС должны обеспечивать прохождение как узкополосных, так и широкополосных сигналов.

Для создания единого телекоммуникационного пространства необходимо организовать каналы связи различных частотных диапазонов. Среди необходимых каналов радиосвязи можно выделить два основных – ВЧ (КВ) и УВЧ (УКВ) каналы. На основании аналитических расчетов, анализа существующих систем связи, характеристик сопрягаемых радиостанций и возможности реализации выбраны диапазоны частот 148–174 и 430–450 МГц для сети меж-

видового взаимодействия (СМВ), а для взаимодействия в КВ диапазоне – частоты 1,530 МГц. Для организации передачи видеозображений и данных больших объемов связь между радиостанциями выгоднее организовать на частотах 300–500 МГц, а для ретрансляции через беспилотный летательный аппарат (БЛА) выгоднее использовать частоты порядка 2,4 ГГц.

КИС целесообразно строить по сетевой архитектуре, что предполагает ретрансляцию во всех сетях и диапазонах непосредственно радиостанциями.

Проведенный анализ существующих систем геоинформационного обеспечения (ГИС) показывает, что их применение резко повышает эффективность управления. В частности, они позволяют формализовать информацию, полученную с помощью средств видеонаблюдения. В результате можно значительно снизить объем передаваемой информации, а следовательно, и требования к скорости ее передачи. Это позволяет передавать такую информацию, как координаты и тип объекта, даже по КВ каналам связи. На принимающей стороне она будет отражена на электронной карте в нужном виде.

Математическое и имитационное моделирование сложных технических систем должно базироваться на ряде принципов, обеспечивающих корректность и достоверность результатов моделирования и, в конечном счете, качественное проектирование систем. Среди этих принципов можно выделить три основных:

- системный подход при решении задачи анализа и синтеза;
- принцип иерархического многоуровневого моделирования;
- принцип множественности моделей.

Основное достоинство имитационного моделирования заключается в универсальности, т. е. в возможности исследования систем практически любой сложности с любой степенью детализации.

Для имитационного моделирования гетерогенной системы может использоваться различное программное обеспе-

чение, все многообразие которого можно свести к трем большим группам:

- объектно-ориентированные языки программирования как таковые;
- интегрированные среды моделирования;
- библиотеки моделирования, расширяющие возможности объектно-ориентированных языков программирования.

Для моделирования зон радиопокрытия в качестве моделирующей программы для расчета диапазона рабочих частот с учетом распространения радиоволн в различных условиях предлагается использовать программный продукт Radio Mobile.

В рамках данной работы обоснован состав и предложена структура имитационной модели, ГСС (рис. 2). В состав предложенной модели входит ряд ключевых элементов:

- набор моделей распространения радиосигнала;
- набор сценариев использования ГСС;
- методика обработки результатов моделирования и определения на их основе характеристик подсистемы радиосвязи;
- модель прогнозирования распространения сигнала метрового диапазона;
- геоинформационная система;
- набор радиосредств, входящих в состав гетерогенной системы.

В свою очередь набор радиосредств также состоит из целого ряда различных, но в то же время взаимодействующих моделей. К их числу относятся:

- набор моделей используемых антенн;
- набор моделей используемых сигнально-кодовых конструкций;
- набор моделей используемых протоколов связи всех уровней;
- набор моделей услуг.

Рассмотрены СКК, на которых возможна реализация служебного радиоканала для реализации технических средств. Установлено, что требования к энергопотреблению накладывают ограничения на пик-фактор сигнала. При ненулевом пик-факторе необходимо снижать среднюю мощность на выходе передатчика во избежание нелинейного режима работы усилителя, который может привести к росту внеполосного излучения и существенным искажениям в сигнале. Применение модуляции с нулевым или крайне низким пик-фактором позволит минимизировать издержки, связанные со снижением дальности связи.

В ходе построения СКК необходимо решать две основные задачи: выбор схемы модуляции и схемы кодирования. Первая должна обеспечивать нулевой пик-фактор, хорошие показатели по вне-

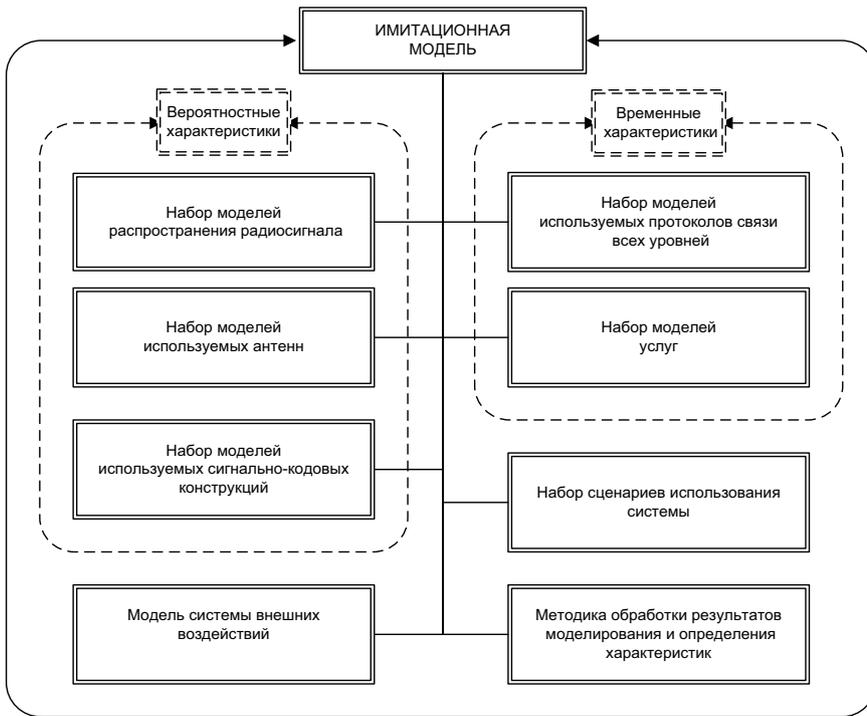


Рис. 2. Обобщенный состав имитационной модели

полосному излучению и относительно простую демодуляцию с минимальным числом возможных фазовых состояний, либо с применением некогерентного демодулятора, тогда как выбор кода должен основываться на компромиссе между сложностью реализации и помехоустойчивостью.

Разработаны варианты протоколов взаимодействия радиосредств разной ведомственной принадлежности. Определена сводка формул для расчета вероятностных характеристик процедуры взаимодействия. На основании результатов моделирования можно будет определить количественные характеристики используемых ресурсов ГСС и сравнить

их с расчетами, проведенными по предложенным формулам.

Выполненная в рамках исследований оценка эффективности информационного обмена позволяет прогнозировать качество организации связи, в том числе потенциально достижимые скорости передачи пакетных данных как для различных диапазонов частот, так и для различных удалений абонентов относительно друг друга. Задаваемые в модели гетерогенной системы обмена информации параметры позволяют сформулировать технические требования к разрабатываемым техническим средствам связи и управления для межведомственного

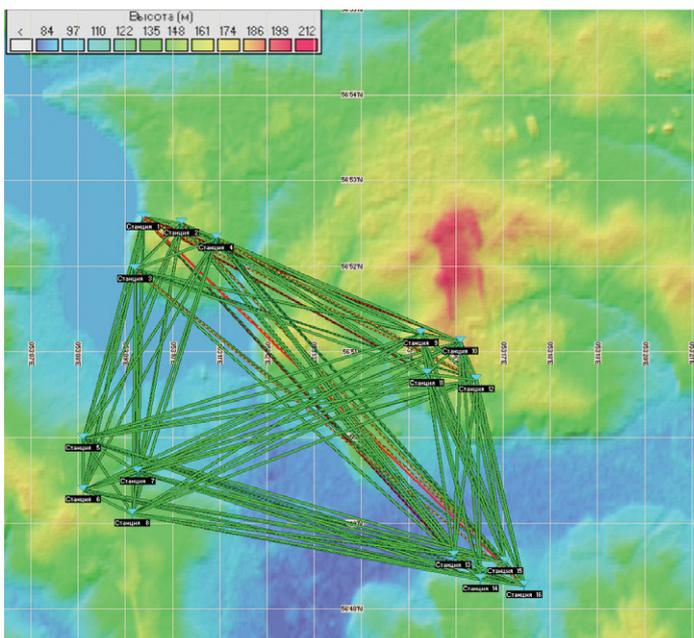


Рис. 3. Вид карты высот с уровнем сигнала связи по сети в целом

применения.

Получаемые в результате моделирования данные, как выходные, так и входные, обеспечивают оптимальный подбор технических параметров при моделировании системы в целом.

На основании вышеизложенного можно сформулировать рекомендации для построения современных систем связи:

- современные комплексы интегрированных средств должны решать вопрос унификации радиоканалов и технических средств различных ведомств;
- каналы и тракты технических средств, входящих в ГСС, должны обеспечивать прохождение как узкополосных, так и широкополосных сигналов;
- ГСС целесообразно строить по сетевой архитектуре, что предполагает ретрансляцию во всех сетях и диапазонах непосредственно радиостанциями;
- большинство каналов ГСС с точки зрения входных и выходных сигналов должны быть цифровыми. Это определяет соответствующие требования к используемым видам модуляции, необходимость применения помехоустойчивого кодирования и должно учитываться при разработке СКК и приемопередающих трактов;
- принимая во внимание тот факт, что для построения ГСС необходима реализация старых режимов работы радиосредств различных ведомств наряду с вновь вводимыми в эксплуатацию, целесообразно разработку технических средств связи ГСС вести по технологии программно-определяемого радио;
- для адаптации параметров передачи радиосистем к условиям обстановки требуется использование технологии когнитивного радио совместно с технологией программно-определяемого радио.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кучерявый Е.А., Самуйлов К.Е. Методология распределения ресурсов в гетерогенных сетях // Электросвязь – 2018. – № 4 – С. 34–40.
2. Шахнович И.В. Современные технологии беспроводной связи. – М.: Техносфера. – 2006. – 288 с.
3. Шишаков К.В., Бояришинов М.А., Караванов П.В., Батуриш А.С., Савельев А.В. Методика расчета радиолиний между двумя антеннами // Интеллектуальные системы в производстве. – 2016. – № 3. – С. 64–67.
4. Корнышев Ю.Н., Пшеничников А.П., Харкевич А.Д. Теория телетрафика- учебник для вузов. – М.: Радио и связь. – 1996. – 272 с.
5. Report INU-R SM/2152 Definition of Software Defined Radio (SDR) and Cognitive Radio System (CRS). – ITU, 2009. ■

Ультразвуковые противообрастающие системы используют механическую высокочастотную энергию преобразователей для отпугивания и борьбы с подводными микроорганизмами. Данная технология основывается на принципе воспроизведения импульсов ультразвуковых волн одновременно на нескольких частотах. Вследствие этого на наружной поверхности корпуса образуются микроскопические пузырьки, которые под действием кавитации схлопываются. За счет имплозии создается микроструйное воздействие, которое разрушает одноклеточные организмы, такие как водоросли.

Ультразвуковые системы разных производителей имеют похожие конструкции, а также принцип действия. На рынке ультразвуковых систем можно найти множество вариантов, таких как «Sonihull», «SHIPSONIC», EFC, а также производства АО «МНС» и т. д.

Конструктивно все эти системы имеют электронный блок управления и излучатели, которые крепятся непосредственно к корпусу судна. Излучатель у всех производителей представляет собой два резонатора из алюминиевого сплава, между которыми находится два пьезокерамических элемента. Ультразвуковой излучатель, изображенный на рис. 1, прикрепленный к корпусу, создает продольную волну на оси устройства, которая проходит через толщу корпуса и рассеивается в воде, а также направленную поперечную волну, которая распространяется в радиальном направлении от преобразователя.

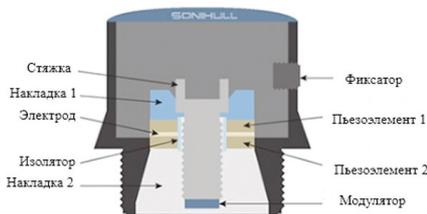


Рис. 1. Излучатель «Sonihull»

Частота импульса излучателя имеет диапазон 19,5–55 кГц. По утверждению производителей данных систем, импульсы указанного диапазона наиболее эффективно влияют на одноклеточные организмы и не оказывают негативного влияния на морских млекопитающих и людей, находящихся на судне.

В теории область действия излучателей должна покрывать всю поверхность судна, что должно обеспечить его чистоту. На практике излучатель передает вибрацию на прямых участках корпуса. В местах же, где есть ребра жесткости или форма отлична от прямой, вибрация гасится. Как следствие, эти участки более подвержены обрастанию. Стоит отметить, что материал и толщина корпуса также влияют на эффективность данной системы. Чем толще корпус, тем меньше

УЛЬТРАЗВУКОВЫЕ СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ОТ ОБРАСТАНИЯ СУДОВ

К.А. Смирнов, канд. техн. наук, ген. директор,
Р.А. Андреев, директор департамента ПКР и новых разработок,
Д.С. Бабкин, начальник отдела,
А.А. Малов, конструктор, АО «МНС»,
контакт. тел. (812) 320 3840

эффект кавитации наблюдается на его наружной поверхности.

Использование ультразвуковой системы предотвращает образование биопленки (слизи) на поверхностях посредством высокочастотных волн при генерировании колебаний разной частоты по заданному образцу.

Рассмотрим более подробно работу устройства на примере системы, разработанной АО «МНС» для установки на катера и яхты малого водоизмещения.

Работа типового прибора возможна от сети переменного тока частотой 50 Гц, напряжением 220 В или напряжением 27 В. Прибор имеет два режима работы: «Работа» и «Очистка». В режиме «Работа» прибор, формирующий сигналы, передает на ультразвуковой излучатель цикл из шести групп длительностью 1 с. Каждая группа состоит из излучения и паузы, каждое излучение – из набора от одного до трех радиоимпульсов заданной частоты и длительности.

В режиме «Очистка» прибор передает излучение при постоянной частоте 40 кГц в непрерывном режиме.

Режим «Работа» предназначен для предотвращения обрастания наружной поверхности корпуса одноклеточными организмами. В случае образования обрастания на внешней поверхности корпуса следует перевести прибор в режим работы «Очистка».

Генератор сигналов устанавливается во внутренних помещениях судна. Рекомендуется устанавливать прибор в электрошкафу. Внешний вид прибора приведен на рис. 2.



Рис. 2. Генератор сигналов

Акустический излучатель, изображенный на рис. 3, устанавливается в количестве двух штук. Каждый излучатель обеспечивает защиту в радиусе нескольких метров от места установки. Первый прибор устанавливается с внутренней стороны корпуса в доступном месте вблизи от носа судна. Второй прибор устанавли-

вается с внутренней стороны корпуса судна в доступном месте вблизи от его кормы.



Рис. 3. Ультразвуковой датчик

Компоновка системы с одним генератором и двумя излучателями показана на рис. 4.

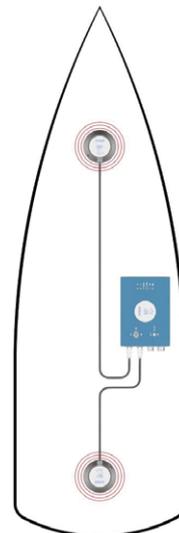


Рис. 4. Компоновка системы

Подобная компоновка может применяться на судах и яхтах малого водоизмещения типа «Bayliner 305». На судах большого водоизмещения применяются изделия, состоящие из более чем двух ультразвуковых преобразователей. На крупных судах их число может достигать до 200 шт., а генератор будет выполнен в виде шкафа с питанием от трехфазной сети переменного тока напряжением 380 В и мощностью потребления порядка 10 кВт.

Применение современных систем очистки и защиты от обрастания позволяет безопасно эксплуатировать суда в различных районах Мирового океана. Отсутствие обрастания или хотя бы его замедление, особенно в южных морях, позволяет сохранить мореходные качества, увеличить междокковый интервал, а также сэкономить на техническом обслуживании судна. ■

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ ПРИБОРОСТРОЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ

В начале текущего века в ряде зарубежных стран, позже в России, были приняты концепции безэкипажных судов (БЭС) и их судовождения по внутренним водным путям (ВВП) с целью уменьшения финансовых затрат на содержание экипажей судна и подготовку квалифицированных моряков. В соответствии с [1, 2] безэкипажное судно – это судно, управляемое внешним оператором или автономной бортовой программой. Автономное БЭС выполняет автономное плавание по заданному предварительно маршруту и управляется только автономной бортовой программой.

Среди важнейших требований к БЭС выделяют безопасность судовождения во избежание чрезвычайных происшествий. Для обеспечения безопасности внедряется ряд технических решений, направленных на создание систем новых типов [1]. Решающую роль в этом призвана сыграть интеграция навигационных, радиолокационных, оптических, коммуникационных и информационных технологий, повышающих эффективное применение БЭС [2–5].

При управлении подвижными объектами с использованием навигационного поля возникает ряд проблем [6, 7]. Одной из главных проблем в области беспилотных технологий на речном транспорте следует считать проблему автоматического путевождения: удержания судна в пределах фарватера, маневрирование на изгибах рек и каналов, расхождение судов, плавание в сложных условиях, причаливание, предупреждение столкновения и т. п. Поэтому в интегрированных системах управления важным аспектом обеспечения безопасности беспилотного судовождения является полное покрытие высокоточным радионавигационным полем бассейнов ВВП. Особенно это актуально при вождении судов в узких местах ВВП (каналах), при интенсивном движении (особенно двустороннем), в сложных гидрометеорологических условиях (штормовой ветер, сильное течение, наличие льда, посторонних свободно плавающих предметов и т. п.).

Судно, двигаясь по заранее проложенному маршруту на электронной навигационной карте, ориентируется по сигналам высокоточного радионавигационного поля. Очевидно, что запредельная ориентация судна, связанная с неточным определением своего местоположения, может привести к выходу за пределы габаритов судового хода (фарватера) и послужить причиной аварии и даже катастрофы. Поэтому *важно* заранее *сформулировать требования* к точности радионавигационных систем, обслуживающих суда, так как именно точная проводка судов и своевременное

ОБОСНОВАНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К ТОЧНОСТИ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ РЕЧНЫХ БЕЗЭКИПАЖНЫХ СУДОВ

С.А. Якушенко, д-р техн. наук, доцент, ст. науч. сотрудник,

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

В.К. Снежко, канд. техн. наук, доцент и проф.,

ВАС им. С.М. Будённого,

was16@mail.ru, practicsv@yandex.ru

реагирование на изменение местоположения судна при маневрах обеспечит безопасность и эффективность судовождения. Этому вопросу и посвящена данная работа.

НАВИГАЦИОННЫЕ ОСОБЕННОСТИ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ СУДОВ РЕЧНОГО ФЛОТА

Для речных потребителей исходными данными при определении требований к радионавигационным системам являются навигационные особенности ВВП. Под навигационными особенностями бассейнов рек будем понимать отличительные свойства и факторы водного пути и окружающей его территории, а также сооружения и устройства, влияющие на качество обеспечения пользователей высокоточным радионавигационным полем. С этой точки зрения навигационные особенности бассейнов водных путей России можно разделить на три основные группы:

1. Навигационные особенности собственно водоемов, а именно: глубина фарватера, размеры судового хода, скорость течения, высота волны, а также технические и геометрические параметры судов, влияющие на судовождение и его безопасность.

2. Навигационные особенности рельефа местности бассейнов, включающие физико-географические условия, параметры подстилающей поверхности почвы, климатические и метеорологические факторы, *влияющие* на условия распространение радиоволн и уровень сигналов в точке приема.

3. Технические сооружения, системы, электроустановки и радиотехнические устройства в бассейне ВВП, создающие радиопомехи и негативно влияющие на электромагнитную обстановку в точке приема радиосигналов.

Анализ приведенных навигационных особенностей ВВП показывает, что на количественные характеристики требований к точности определения местоположения БЭС влияют особенности ВВП первого типа. Особенности второго и третьего типа влияют на качество приема радионавигационных сигналов,

что является дополнительным направлением исследования. Поэтому далее рассмотрим роль навигационных особенностей ВВП первого типа при обосновании требований к точности определения местоположения судна [8, 9].

Проанализируем обоснование требований к точности радионавигационной системы на примере Единой глубоководной системы европейской части (ЕГС ЕЧ) ВВП России. Основные показатели навигационных особенностей для некоторых участков ЕГС ЕЧ ВВП приведены в табл. 1. В табл. 2 приведены обобщенные размеры некоторых крупных речных судов и скорости их передвижения, эксплуатирующихся на ВВП России.

Приведенные параметры косвенно могут влиять на обоснование требований к точности позиционирования судов. Так, из табл. 1 следует, что наибольшее влияние на безопасность судовождения будут оказывать гарантированные габариты судового хода ВВП. Их численные значения можно свести к значениям, которые наиболее опасны для судовождения: глубина канала – 3,6 м, ширина канала – 36 м, ширина шлюза – 18 м, радиус закругления – 500 м.

В табл. 2 представлены габариты крупных и средних речных судов: длина – 138–140 м, ширина – 12,6–16,8 м, осадка – до 3,6 м и скорость движения судов – до 26 км/ч.

ОБОСНОВАНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К ТОЧНОСТИ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ РЕЧНЫХ БЭС

На основе проведенного анализа навигационных особенностей ВВП и их параметров обоснуем требования к радионавигационным системам по точности определения текущего местоположения судна для его безопасности при движении по ВВП.

Характеристикой (мерой) точности измерения является погрешность (величина отклонения значения измерения от его истинного значения). Погрешность измерения параметров точности есть случайная величина, которая распределена по нормальному закону. Вероятность того, что отклонение нормально распределенной случайной величины

Навигационные особенности ВВП ЕГС ЕЧ России

Участок ВВП	Протяженность, км	Гарантированные габариты судового хода ВВП, м		
		глубина	ширина	радиус закругления
Беломорско-Балтийский канал: Повенец-Беломорск (шлюзы)	227	4	36-50 (18)	500
Волго-Балтийский судоходный канал: устье р. Вытегры-Торова (шлюзы)	367	4	50-80 (18)	600
Волго-Донской канал: -проход с р. Волга -шлюз № 1-№ 13	4 101	3,8 4	60 38 (18)	800 550
От шлюза № 13 г. Волгодонска	181	4	120	1000
шлюз № 14-шлюз № 15	6	4	50	1000
р. Дон: шлюз № 15 - Кочетковский шлюз Кочетковский шлюз-Азов	129 164	3,6 3,6	80 80	500 350
Канал им. Москвы	126	4	55	1000
р. Волга	599	3,5-4	80-100	1000-1200
р. Белая	459	1,8-4	60-100	500
р. Кама	222	3,3-4	100-200	900
р. Свирь	222	4	85	600
р. Нева	74	4	85	600

Таблица 2

Характеристики судов, эксплуатирующихся в бассейнах ВВП

Тип судна	Длина, м	Ширина, м	Высота, м	Скорость, км/ч	Мощность, л.с.	Класс судна
Проект 305	77,9	15,2	12,25	18-20	400	О
Проект 646	65,2	12	13	22-24	400	М
Проект 785	80	12,5	11,4	22-24	400	О
Проект 588	95,8	14,3	16,7	22-25	400	О
Проект 26-37	96,2	14,9	14,8	24-26	575	О
Проект 20	121,4	16,8	15,5	24-26	900	О
Проект Q-40 (А)	110	14,5	15,1	22-24	900	О
Проект 301	125	16,7	15,9	22-24	1000	О
Проект 02-016	135,8	16,8	16,1	22-26	1000	О
Проект «Волга-Дон»	138,3	16,7	5,5	18,5	1800	
Проект «Волжский»	139	16,7	5,5	18,5	1200	
Проект RSD44	140	16,5	5	19,5	1200	

от математического ожидания меньше заданной величины Δ [10, 11]:

$$P(|x - m| < \Delta) = \Phi\left[\frac{m + \Delta - m}{\sigma}\right] - \Phi\left[\frac{m - \Delta - m}{\sigma}\right] = \Phi\left[\frac{\Delta}{\sigma}\right] - \Phi\left[-\frac{\Delta}{\sigma}\right] = 2\Phi\left[\frac{\Delta}{\sigma}\right], \quad (1)$$

где $\Phi(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right)$ – нормальный закон распределения случайной величины x ; m – математическое ожидание случайной величины; σ – среднеквадратическое отклонение (СКО) случайной величины относительно ее математического ожидания.

Таким образом, точность удобно оценивать среднеквадратической погрешностью σ с вероятностью 0,6827, максимальной среднеквадратической погрешностью 2σ с вероятностью 0,9545 или предельной среднеквадратической погрешностью 3σ с вероятностью 0,9973. В большинстве расчетов по связи и на-

вигации в качестве требуемой выбирают доверительную вероятность 0,95, т.е. 2σ .

Определим значение σ на основе навигационных особенностей первого типа, а именно, параметров собственно рек, водохранилищ и каналов ВВП. Здесь определяющими, с точки зрения безопасности судовождения, являются параметры фарватера или судового хода.

На участках с односторонним движением предельные значения 2σ должны быть не более 0,5 ширины фарватера ($2\sigma < L_{\Phi}/2$). На участках с двухсторонним движением – 0,25 ширины фарватера ($2\sigma < L_{\Phi}/4$). Это максимальные значения погрешности определения местоположения судна, так как в противном случае судно может выйти из фарватера, а это – авария. Таким образом из всех навигационных особенностей главным ограничителем на ВВП являются параметры фарватера.

Следующими ограничениями являются скорость движения судна V и частота отсчетов навигационных данных

в судовом средстве наземной навигации (СНН). В настоящее время частота отсчетов в современных СНН составляет один отсчет за одну секунду. Это значит, что выдача координат о местоположении судна СНН происходит с интервалом 1 с, и за это время судно не должно выходить за пределы требуемой погрешности, т.е. 2σ . Следовательно, пройденный путь судном за 1 с не должен превышать 2σ .

Отсюда следует, что, чем больше скорость, тем меньше должна быть погрешность. Погрешность обратно пропорциональна скорости, или произведение скорости на погрешность – величина постоянная $2\sigma V = \text{const}$. Определим эту константу для стандартных условий. Для этого воспользуемся данными навигационных особенностей ВВП и характеристик речных судов, приведенными в табл. 1 и табл. 2. Описывая изменение скорости как случайной величины нормальным законом распределения и используя правило трех сигм, можно получить стандартную скорость судов на участках ВВП. Выберем минимальные значения ширины фарватера для рек 100 м и для каналов 36 м. Таким образом, константа для стандартных (средних) условий определяется стандартной скоростью движения судна, ее разбросом, размерами (шириной) фарватера и способом судоходства – одностороннее или двустороннее движение.

Отсюда следует важный вывод, что при заданной ширине фарватера изменение точности определения координат судна должно сопровождаться обязательным изменением его скорости движения, и наоборот. Если по экономическим соображениям скорость судна задана, то тем самым задается и требование к точности. Отношение скоростей равно отношению погрешностей:

$$V_1/V_2 = \sigma_2/\sigma_1. \quad (2)$$

Отсюда справедливо равенство $V_1\sigma_1 = V_2\sigma_2$. Обозначив произведение скорости на погрешность для стандартных условий параметром C , получим

$$V_i\sigma_i = C \text{ или } \sigma_i = C/V_i. \quad (3)$$

Необходимо также отметить, что требования к точности позиционирования судна на закруглениях русла реки (канала) будут более жесткими по причине виртуального снижения ширины фарватера за счет инерциального заноса судна. Кроме того, необходимо учитывать и ширину судов L_c . Тогда ширина для маневрирования судна по причине неточного определения координат будут виртуально изменяться:

$$L_{\Phi\text{в}} = (L_{\Phi} - L_c)(1 - \sin\alpha), \quad (4)$$

где α – угол поворота судна, определяемое радиусом закругления реки.

Таким образом, требования к точности позиционирования судна при его движении по ВВП будет зависеть от многих фак-

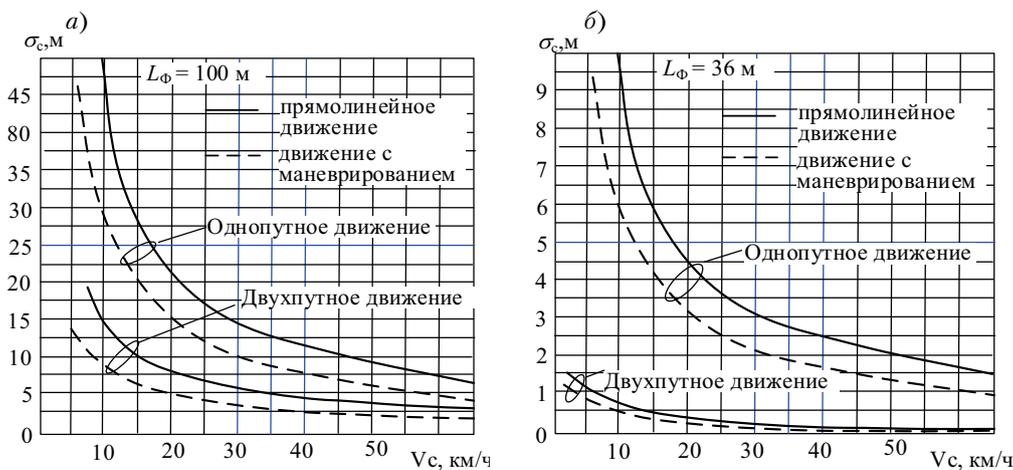


Рис. 1. Требования к точности позиционирования крупногабаритных БЭС в зависимости от скорости их движения и навигационных особенностей рек ВВП (а) и особенностей каналов ВВП (б)

торов, основными из которых являются: ширина фарватера ВВП; время накопления измерений в СНН; скорость судна; размеры судна; угол поворота судна.

Далее обоснуем количественные значения требований к точности определения местоположения судов в зависимости от параметров их движения судов и параметров навигационных особенностей ВВП с использованием формул (2) – (4), получим

$$\sigma_i = \frac{(L_\phi - L_c) V_{ct}}{m_n V_{ci} T_n} (1 - \sin \alpha), \quad (5)$$

где V_{ci} – текущее значение скорости движения судна с учетом течения водного потока в реке (канале); V_{ct} – значение скорости движения судна на водном пути для стандартных условий; m – коэффициент определяющий способ движения судов ($m = 2$ – однопутное движение; $m = 4$ – двухпутное движение). Результаты требований к точности определения местоположения БЭС, обеспечивающих безопасность их судоходства приведены на рис. 1, а и б. Расчет требований проводился для крупногабаритных судов с максимальной шириной 16,8 м, стандартной скоростью 10 км/ч и максимальным углом поворота судна $\alpha = 20$ град. для однопутного и двухпутного движения при ширине фарватера реки 100 м и канала 18 м (наихудший случай).

Таким образом, на основании проведенных исследования обоснования требований к точности позиционирования БЭС на ВВП России можно сделать следующие выводы.

1. Основным показателем точности для определения местоположения БЭС необходимо использовать максимальную погрешность 2σ с вероятностью 0,95.

2. На количественные характеристики требований определения местоположения БЭС влияют навигационные особенности ВВП первого типа. При этом определяющим параметров при формировании требований к точности является

половина ширины фарватера для однопутного движения и четверть ширины фарватера для двухпутного движения. Кроме того, на точность определения местоположения БЭС влияют ширина судна, скорость его движения и его возможности по маневрированию.

3. Для безопасного путевождения крупногабаритных БЭС радионавигационная система должна обеспечить в наихудших случаях с максимальной разрешенной скоростью 20 км/ч на изгибах ВВП следующие гарантируемые показатели точности: для однопутного движения БЭС не более 13 м для реки и не более 3 м для канала; для двухпутного движения БЭС не больше 5 м для реки и не более 0,2 м для канала. Точность определения местоположения судна в шлюзах должна быть не хуже 0,2 м.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленный в работе математическая модель позволяет научно обосновать требования к показателю точности на реках ВВП в зависимости от характеристик навигационных особенностей и технических возможностей БЭС, обеспечивающих безопасность судоходства по внутренним водным путям Российской Федерации. В связи с тем, что параметры навигационных особенности на ВВП отличаются, то с экономической точки зрения требования к точности позиционирования БЭС целесообразно задавать к участкам бассейнов с одинаковыми параметрами. Избирательность требований к показателю точности экономически эффективно при создании высокоточного радионавигационного поля.

Результаты работы можно использовать на этапе проектирования и модернизация радионавигационных систем и БЭС.

Дальнейшее исследование должно быть направлено на уточнение законов распределения движения судов по ВВП, их скорости, степени влияния парамет-

ров БЭС (инерция судна, его неуправляемый дрейф и т.п.) на значение показателя точности обслуживающих радионавигационных полей, а также на интеграцию подсистем и комплексирование устройств с целью повышению безопасности и экономичности судоходства.

ЛИТЕРАТУРА

- ГОСТ Р 59284–2020. Суда безэкипажные технического флота. Общие требования. – М.: Стандартинформ, 2021.
- ГОСТ Р 59298–2021. Суда безэкипажные внутреннего плавания. Термины и определения. – М.: Стандартинформ, 2021.
- Снежко В. К., Якушенко С. А. Военные интегрированные системы навигации, связи и управления: Учебник для вузов связи – СПб.: Изд. ВАС, 2014. – 452 с.
- Снежко В. К., Якушенко С. А. Интегрированные системы навигации, связи и управления сухопутных подвижных объектов: Учеб. пособие для вузов связи. – СПб.: Изд. ВАС, 2008. – 308 с.
- Снежко В. К., Якушенко С. А. Средства и комплексы навигационного обеспечения систем управления специального назначения: Учебник для вузов связи. – СПб.: Изд. ВАС, 2018. – 308 с.
- Якушенко С. А. Проблемы навигационного обеспечения систем мониторинга и диспетчеризации подвижных объектов и оценка его безопасности // Информатика и космос. – 2019. – № 2. – С. 78–81.
- Снежко В. К., Якушенко С. А., Мальцев А. Д. Наземное навигационное обеспечение в задачах. Учеб. пособие. – СПб.: Изд. ВАС, 2010. – 240 с.
- Каретников В. В., Бекряшев В. А. Перспективы комплексирования речных инфокоммуникационных технологий для повышения безопасности судоходства на ВВП // Речной транспорт (XXI век). – 2014. – № 2 (67). – С. 49–53.
- Шахнов С. Ф. Помехозащищенность и устойчивость радиолиний речных дифференциальных подсистем ГНСС ГЛОНАСС/GPS: монография. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2015. – 170 с.
- Вентцель Е. С., Овчаров Л. А. Прикладные задачи теории вероятностей. – М.: Радио и связь. 1983. – 416 с.
- Вентцель Е. С. Исследование операций. – М.: Советское радио. 1972. – 552 с. ■

В соответствии с Российским морским регистром судоходства (РМРС) и гл. IV СОЛАС–74, каждое судно в зависимости от типа морского района, в котором оно осуществляет плавание, регламентированно снабжается средствами связи согласно «Правилам по оборудованию и снабжению» [1]. При этом судам, находящимся в пределах района А1–А3, предписано иметь радиустановку, работающую в диапазоне промежуточных волн (ПВ) и коротких волн (КВ) [2].

В соответствии с регламентом для организации связи на дальностях порядка 150–200 мор. миль, морской подвижной службой (МПС) рекомендовано использование радиоволн ПВ диапазона на частотах 1,605–4,0 МГц, а для обеспечения связи на больших дальностях – радиоволн КВ-диапазона на частотах 4,0–2,75 МГц [3].

Помимо указанной связи, требованиями международной системы Глобальной морской системы связи при бедствии (ГМССБ), изложенными в гл. IV СОЛАС–74, каждое судно должно иметь две различные и независимые друг от друга системы радиосвязи для обеспечения аварийного оповещения [1]. В частности, при нахождении судов в морском районе А2 (район в пределах 150 мор. миль, т.е. зоны действия, по крайней мере, одной береговой ПВ-радиостанции), предписано непрерывное наблюдение на частоте 2187,5 кГц и ведение радиообмена в режиме телефонии на частоте 2182 кГц.

Таким образом, средства радиосвязи ПВ/КВ диапазона являются неотъемлемой частью любого морского судна, осуществляющего плавание в пределах района А1–А3. В связи с этим в настоящей статье представлены результаты анализа требований, предъявляемых к морской радиосвязи ПВ/КВ диапазона, а также оценки помехоустойчивости, используемых в ней передач.

АНАЛИЗ ТРЕБОВАНИЙ РЕГЛАМЕНТА РАДИОСВЯЗИ МПС, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫХ К МОРСКОЙ РАДИОСВЯЗИ

Регламент радиосвязи МПС [4] является основополагающим документом, в котором определены требования к морской радиосвязи. В соответствии с ним морская радиосвязь должна обеспечивать:

- 1) безопасность мореплавания и охрану человеческой жизни;
- 2) оперативное управление деятельностью судов и организаций, связанных с эксплуатацией судов;
- 3) управление движением судов;
- 4) передачу информации:
 - в интересах безопасности мореплавания;
 - гидрометеорологических и навигационных данных;
 - в интересах организации поиска и спасанию людей на море;
 - корректурных данных для электронных навигационных карт;
 - данных для автоматизированных систем управления;
- 5) обмен информацией.

При этом линии морской радиосвязи (ЛМРС) организуются для обмена информацией:

- 1) с береговыми станциями:
 - российскими и иностранными судовыми станциями;
 - воздушными судами при проведении поисково-спасательных операций на море;
 - российскими и иностранными береговыми станциями;
- 2) судовыми станциями:
 - российскими и иностранными береговыми станциями;
 - российскими и иностранными судовыми станциями;
 - воздушными судами при проведении поисково-спасательных операций на море.

АНАЛИЗ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ ПЕРЕДАЧ МОРСКОЙ РАДИОСВЯЗИ ПВ/КВ ДИАПАЗОНА

*С.С. Дворников, канд. техн. наук,
С.В. Дворников, д-р техн. наук, проф.,
М.Р. Бибарсов, канд. техн. наук, доцент, ГУАП и ВАС им. С.М. Будённого,
Г.Н. Москалец, канд. техн. наук,
зам. ген. директора – главный инженер ФГУП «ГосНИИПП»,
контакт. тел. (812) 247 9400*

Средства связи, используемые для организации ЛМРС, согласно требованиям МПС, должны обеспечивать следующие передачи:

- 1) телефонную (в том числе с приоритетом бедствия и срочности);
- 2) текстовую (в том числе с приоритетом бедствия и срочности);
- 3) факсимильной информации (в телефонном канале);
- 4) данных, в том числе передачу корректурных материалов для электронных навигационных карт;
- 5) группового вызова судовых станций.

При этом передача информации о безопасности на море должна осуществляться с помощью расширенного группового вызова групп судов или всех судов, находящихся в соответствующем географическом районе. Для этого каждое судно оснащается средствами радиосвязи, которые способны обеспечить:

- 1) передачу оповещений о бедствии в направлении «судно–берег», по крайней мере, двумя отдельными и независимыми средствами, каждое из которых использует различные виды радиосвязи;
- 2) прием оповещений о бедствии в направлении «берег – судно»;
- 3) передачу и прием оповещений о бедствии в направлении «судно – судно»;
- 4) передачу и прием сообщений для координации поиска и спасания;
- 5) передачу и прием сообщений на месте бедствия;
- 6) передачу и прием информации по безопасности на море, включая прогнозы погоды, волнения моря и ледовой обстановки, навигационные рекомендации по безопасному плаванию судна, штормовые предупреждения и оповещения;
- 7) радиообмен по согласованию взаимодействия при маневрировании судов и представления информации для функционирования системы управления движением судов;
- 8) передачу и прием радиосообщений общего назначения;
- 9) передачу и прием сообщений «мостик – мостик».

Правилами радиосвязи МПС определены категории и отметки срочности обработки радиограмм (табл. 1) [4].

При этом характерные протяженности радиотрасс в ПВ/КВ диапазоне, согласно результатам анализа в [5], составляют 200–400 мор. миль.

АНАЛИЗ ТРЕБОВАНИЙ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫХ К СРЕДСТВАМ МОРСКОЙ РАДИОСВЯЗИ ДМД ДИАПАЗОНА

Регламентом [1] к морской радиосвязи предъявляются достаточно жесткие требования по своевременности, достоверности и безопасности передачи информации. При этом в условиях высокой загруженности ПВ/КВ диапазона приоритетным становится требование достоверности, характеризующее помехозащищенность ЛМРС, которая, в свою очередь, определяется особенностями технической реализации применяемых средств связи.

Согласно [6], достоверность связи определена как способность воспроизвести передаваемые сообщения в пунктах при-

Очередность обработки	Категория	Отметка срочности	Очередность передачи
1	Вне категории	МИГ – вручить немедленно; МОБИЛИЗАЦИОННАЯ – мобилизационные мероприятия, вручить немедленно	1, 2
2	Внеочередная	СОС – сигнал бедствия и сообщение о бедствии; МЕДПОМОЩЬ – срочная медицинская помощь; АВАРИЯ – авария или инцидент; ШТОРМ – штормовое предупреждение	3, 4, 5, 6
3	Президент РФ	ПРЕЗИДЕНТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ	7
4	Председатель Правительства РФ	ПРЕДСЕДАТЕЛЬ ПРАВИТЕЛЬСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ	8
5	Высшая	ВЫСШАЯ ПРАВИТЕЛЬСТВЕННАЯ	9
6	Правительственная	ПРАВИТЕЛЬСТВЕННАЯ	10
7	Весьма срочная	ВСЬМА СРОЧНАЯ	11
8	Срочная	ДИСПЕТЧЕРСКАЯ – диспетчерское регулирование мореплавания; МЕТЕО – гидрометеорологическая информация; ДИСЛОКАЦИЯ – информация о местоположении судна (судов); РЕЙС – информация о рейсе судна (судов); НАВИР – информация, относящаяся к безопасности мореплавания; СРОЧНАЯ	12, 13, 14, 15, 16, 17
9	Обыкновенная	Отметки нет	18

ема с заданной точностью, которая достигается проведением следующих организационных мероприятий:

- поддержанием технических характеристик и электрических параметров средств и каналов связи в установленных нормах;
- применением специальной аппаратуры повышения достоверности;
- использованием для передачи наиболее важной информации каналов лучшего качества;
- одновременной передачей приказов, распоряжений, команд, сообщений по нескольким каналам связи, образованным различными средствами;
- повторной передачей сообщения и обратной его проверкой.

Технические мероприятия, обеспечивающие требования достоверности и своевременности передачи сообщений, нормативно представлены в [1], где достоверность передачи сообщения характеризуется как степень соответствия сигналов на входе и выходе радиоканала, которая определяется:

- физическими свойствами среды распространения радиоволн;
- видами сигналов, способами модуляции и демодуляции сигналов;
- способами кодирования источника сообщений и канала;
- техническими особенностями построения техники радиосвязи.

Количественно достоверность как показатель помехоустойчивости и помехозащищенности дискретных сигналов оценивается вероятностью ошибочного приема элемента сигнала $P_{\text{ош}}$ ($0 \leq P_{\text{ош}} \leq 0,5$), которая представляет собой отношение искаженных $N_{\text{иск}}$ к общему числу переданных посылок N :

$$P_{\text{ош}} = \frac{N_{\text{иск}}}{N}. \quad (1)$$

Допустимым значением вероятности ошибочного приема знака телекодовой информации и передачи данных (ПД) считается $P_{\text{ош доп}} = (1 \div 2) \times 10^{-2}$.

За допустимую вероятность ошибочного приема элемента дискретного сигнала речевых кодеров принято значение $P_{\text{ош доп}} = (3 \div 5) \times 10^{-3}$ [7].

Для повышения помехоустойчивости приема активно используют методы избыточного кодирования и системы с решающей обратной связью. Достоверность непрерывных сигналов телефонных сообщений (ТЛФ), оценивается словесной артикуляцией (словесной разборчивостью) [8]:

$$A = R_0 / R, \quad (2)$$

где R_0 – количество правильно принятых слов; R – общее число переданных.

Качество ТЛФ считается отличным, если $A \geq 98\%$; хорошим – при $A = (95-98)\%$; удовлетворительным, если $A = (90-95)\%$;

и предельно допустимым при $A = (80-90)\%$.

В случае использования цифровых модемов достоверность приема оценивается вероятностью ошибочного приема элемента сигнала (символа). При этом требования формулируют как для дискретных сигналов.

В табл. 2 представлены обобщенные сведения по показателям достоверности, предъявляемым к радиосвязи [8].

При этом особенно жесткие требования предъявляются к ЛМРС, осуществляющим цифровой избирательный вызов (ЦИВ).

Так, регламентом определены 9 градаций категорий очередности обработки радиোগрам и 18 категорий в очередности передачи (см. табл. 1).

Таблица 2

Требования к достоверности передачи сообщений

Виды связи	Показатель достоверности	Приоритеты сообщений		
		I	II	III
ТЛФ	Коэффициент артикуляции A	0,85 – 0,93	0,75 – 0,85	0,6 – 0,75
ТЛГ	Вероятность ошибки $P_{\text{ош}}$	10^{-3}	5×10^{-3}	10^{-2}
ПД	Вероятность ошибки $P_{\text{ош}}$	10^{-6}	$10^{-4} - 10^{-5}$	$10^{-3} - 10^{-4}$

АНАЛИЗ СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КЛАССОВ ИЗЛУЧЕНИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ НА ЛМРС ПВ/КВ ДИАПАЗОНОВ

Радиостановки ПВ/КВ-диапазон, согласно «Правилам по оборудованию морских судов» РМРС, устанавливаются на всех судах, работающих в районах А3 и А4 независимо от их водоизмещения [1].

Для передачи сообщений, согласно требованиям, изложенным в указанных Правилах, в ПВ/КВ радиостановках должна быть предусмотрена работа сигналами с такими классами излучений, как J3E, H3E, J2B или F1B [3]:

- J3E – сигнал аналоговой телефонии с однополосной модуляцией (ОМ) с подавленной несущей;
- H3E – сигнал аналоговой телефонии с ОМ с полной несущей;
- J2B – сигнал цифровой информации при использовании модулирующей поднесущей с ОМ с подавленной несущей;
- F1B – сигнал цифровой информации с частотной модуляцией (ЧМ) без использования модулирующей поднесущей.

Для передач ОМ в МПС используется только верхняя боковая полоса. Кроме того, в аппаратуру связи к указанным классам излучений могут вводиться дополнительные для работы азбукой Морзе (A1A, A2A, H2A) в режиме факсимиле (F1C, F2C,

ФЗС) и др. При этом остаточное значение несущей частоты в ОМ может составлять не более 3, 10 и 70%.

Пиковая мощность ПВ/КВ радиостановки при нормальной модуляции для излучений классов J3E и H3E, а также средняя мощность для излучения класса J2B или F1B должна быть не менее 60 Вт. Но если же средняя выходная мощность передатчика превышает величину 400 Вт, то в этом случае должна быть предусмотрена возможность ее снижения до указанного значения.

Чувствительность приемников излучений классов J3E и F1B должна составлять не менее 6 мкВ при отношении сигнал/шум (ОСШ) на входе, равном 20 дБ, а для ЦИВ коэффициент ошибок, приходящийся на знак, не должен превышать уровень 10^{-2} при ОСШ не менее 12 дБ.

Для сигналов J3E и H3E разнос каналов составляет 3 кГц при необходимой ширине полосы частот $\Delta F = 2,7$ кГц.

Для передач ЦИВ используется класс излучения F1B – частотная модуляция непосредственно несущей частоты f_0 цифровым сигналом передаваемых данных.

В современных передатчиках для ЦИВ используют класс излучения J2B, в котором поднесущая 1,7 кГц манипулируется импульсами с девиацией частоты $\Delta f = 85$ Гц, что обеспечивает частотную полосу канала $\Delta F = 304$ Гц при скорости передачи данных 100 Бод.

Спектральные характеристики сигналов морской радиосвязи ПВ/КВ-диапазонов представлены в табл. 3, где введены следующие обозначения:

ΔF – необходимая ширина полосы в Герцах, B – скорость ПД в бодах (бит/с для сигналов бинарной модуляции), M – максимальная частота модуляции в Герцах, L – нижняя частота модуляции в Герцах, Δf – пиковая девиация, т.е. половина разности между максимальным и минимальным значениями мгновенной частоты, K – числовой коэффициент, зависящий от класса радиоизлучения.

Таблица 3

Спектральные характеристики сигналов J3E, H3E, F1B и J2B

Класс излучения	Необходимая ширина занимаемой полосы частот		Полное обозначение излучения
	Формула расчета	Численные значения	
H3E	$\Delta F = M$	$M = 3$ кГц; $\Delta F = 3$ кГц	3K00H3E1N
J3E	$\Delta F = M \times L$	$M = 3$ кГц; $L = 0,3$ кГц $\Delta F = 2,7$ кГц	2K70J3E1N
F1B	$\Delta F = 2M + 2 \Delta f K$ $M = B/2$ $K = 1,2$	$B = 100$ Бод; $\Delta f = 85$ Гц; $\Delta F = 304$ Гц	304HF1BCN
J2B	$\Delta F = 2M + 2 \Delta f K$ $M = B/2$ $K = 1,2$	$B = 100$ Бод; $\Delta f = 85$ Гц; $\Delta F = 304$ Гц	304HJ2BCN

ОЦЕНКА ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ ПРИЕМА СИГНАЛОВ, ИСПОЛЗУЕМЫХ В ЛМРС

Помехоустойчивость приема определяется качеством работы демодулятора, в состав которого должны входить фильтр додетекторной обработки, детектор и фильтр последдетекторной обработки. Для того чтобы демодулятор был оптимальным, указанные фильтры также должны быть оптимальными [7]. В условиях слабых помех амплитудно-частотные характеристики (АЧХ) фильтров должны быть П-образными:

- фильтр додетекторной обработки – полосовой фильтр, граничные частоты полосы пропускания которого совпадают с граничными частотами спектра модулированного сигнала;
- фильтр последдетекторной обработки – фильтр низких частот (ФНЧ), частота среза которого совпадает с максимальной частотой спектра первичного сигнала F_{max} .

Помехоустойчивость рассмотрим в канале с аддитивным белым гауссовым шумом (АБГШ).

Согласно [9], анализ помехоустойчивости состоит в определении выигрыша демодулятора в ОСШ на его выходе по отношению ОСШ на входе:

$$g = \frac{P_{cpb} / P_{cpe}}{P_{cps} / P_{cpn}} \quad (1)$$

где P_{cpb} – средняя мощность сигнала на выходе демодулятора; P_{cpe} – средняя мощность помехи на выходе демодулятора; P_{cps} – средняя мощность сигнала на входе демодулятора; P_{cpn} – средняя мощность помехи на входе демодулятора.

Аналитически сигнала ОМ можно представить как [10]

$$s_{OM}(t) = A_0 b(t) \cos(2\pi f_0 t) \pm A_0 b^*(t) \sin(2\pi f_0 t), \quad (2)$$

где $b(t)$ и $b^*(t)$ – модулирующий (информационный) сигнал и его сопряженная по Гильберту копия средняя мощность сигнала на выходе демодулятора; A_0 – амплитудное значение [11].

Схема оптимального демодулятора сигнала ОМ представлена на рис. 1.

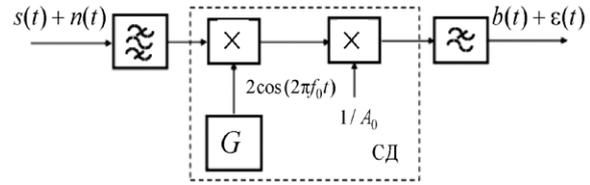


Рис. 1. Схема оптимального демодулятора сигналов ОМ

На рис. 1 входная реализация $z(t)$, представляющая собой аддитивную сумму полезного сигнала $s(t)$ и шума $n(t)$, поступает на вход полосового фильтра, имеющего полосу пропускания $\Delta F_{OM} = M \cdot (F_{max})$ (см. табл. 3).

Непосредственное детектирование сигнала ОМ происходит в синхронном детекторе (СД), обязательным элементом которого является фильтр нижних частот (ФНЧ) с постоянной АЧХ П-образного типа, выполняющим функции фильтра последетекторной обработки [12], т.е. частота среза которого равна F_{max} .

Средняя мощность демодулированного сигнала ОМ будет

$$P_{cps} = s_{OM}^2(t) = A_0^2 P_b. \quad (3)$$

Так, СД обеспечивает пропуск лишь синфазной составляющей демодулированного сигнала, поэтому на выходе получим сигнал $b(t)$, средняя мощность которого равняется P_{cpb} .

Помеху на входе СД (как полосовой процесс) представим квадратурными составляющими $n(t) = N_c(t) + N_s^*(t)$. Тогда при демодуляции получим [13]

$$n(t) = N_c(t) \cos(2\pi f_0 t) + N_s^*(t) \sin(2\pi f_0 t). \quad (4)$$

Согласно выражению (4), мощность помехи в демодуляторе делится поровну между квадратурными составляющими, мощность каждой из них будет равна $P_n/2$ [14–16]. Так как квадратурная составляющая помехи не проходит через синхронный детектор, на выходе демодулятора имеем

$$\varepsilon(t) = N_c(t) / A_0. \quad (5)$$

Учитывая, что $N_c^2(t) \cos^2(2\pi f_0 t) = P_{cpn} / 2$, а левая часть равенства (5) будет равна $0,5 N_c^2(t)$, $N_c^2(t) = P_{cpn}$. И с учетом множителя $1/A_0$, мощность помехи на выходе демодулятора составит

$$P_{cp\varepsilon} = P_{cpn} / A_0^2. \quad (6)$$

В итоге, подставляя полученные значения в формулу (1), можно рассчитать значение выигрыша демодулятора сигнала ОМ, который составит

$$g_{OM} = \frac{P_{cpb} A_0^2 P_{cpn}}{P_{cpn} A_0^2 P_{cpb}} = 1. \quad (7)$$

Оптимальный прием сигналов АМ вида

$$s_{AM}(t) = A_0 (1 + m_{AM} b(t)) \cos(2\pi f_0 t), \quad (8)$$

где m_{AM} – индекс амплитудной модуляции, которую осуществляют на базе синхронного детектора (рис. 2).

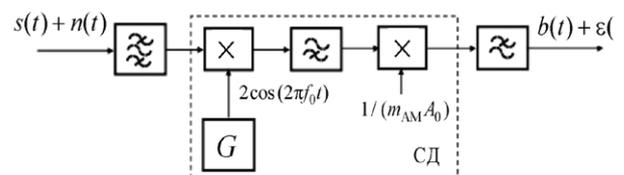


Рис. 2. Схема оптимального демодулятора сигналов АМ

Выигрыш в помехоустойчивости такого демодулятора определяется следующим выражением [14]:

$$g_{AM} = \frac{1 / K_A^2 m_{AM}^2 P_{cpn}}{P_{cpn} 0,5 A_0^2 (1 + m_{AM}^2 / K_A^2)} = \frac{2 m_{AM}^2}{m_{AM}^2 + K_A^2} \quad (9)$$

Здесь $P_{cpn} = 1 / K_A^2$ характеризует коэффициент амплитуды сигнала $b(t)$.

Поскольку величина K_A эквивалентна значению пик-фактора модулирующего сигнала Π , то при $m_{AM} = 1$ помехоустойчивость сигнала АМ может быть теоретически сопоставима с помехоустойчивостью ОМ $g_{OM} = g_{AM} = 1$.

На практике при передаче голосовых сообщений, пик-фактор которых $\Pi \approx 3$, и с учетом равенства информации в ВБП и НБП реальное значение при $m_{AM} = 0,7$ составляет всего $0,5 \cdot (2 \cdot 0,7^2 / (0,7^2 + 3^2)) \approx 0,051$.

Следует отметить, что представленные выражения характеризуют потенциальную помехоустойчивость сигнала ОМ в предположении полного подавления несущего колебания. Однако радиоприем таких сигналов на практике невозможен ввиду сложности обеспечения синхронизации. Поэтому для оценки помехоустойчивости приема рассмотрим только виды сигналов, определяемые табл. 3.

Результаты оценки помехоустойчивости приема сигналов, используемых на ЛМРС, представлены на рис. 3.

Оценка выполнена по показателю вероятности битовой ошибки p_0 от отношения сигнал/шум в канале (ОСШ). Значение ОСШ дано в дБ.

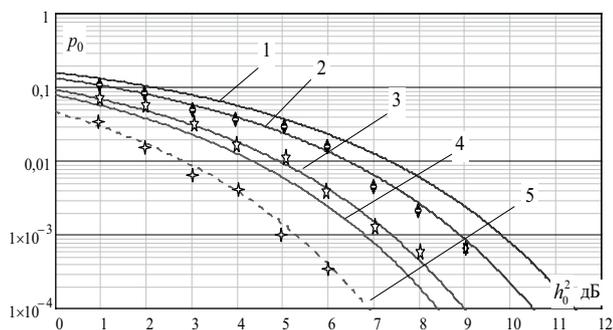


Рис. 3. Графики оценки помехоустойчивости приема сигналов ЛМРС

1 – помехоустойчивость сигналов частной манипуляции, используемой в классе излучения J2B; 2 – помехоустойчивость сигналов ОМ при 70% сохраненной несущей, соответствует классу излучения НЗЕ; 3 – помехоустойчивость сигналов ОМ при 3% сохраненной несущей, соответствует классу излучения НЗЕ; 4 – помехоустойчивость сигналов двойной фазовой манипуляции (ФМ-2); 5 – потенциально достижимая помехоустойчивость сигналов ОМ

Заметим, что кривые помехоустойчивости для сигналов, обозначенных цифрами 2, 3 и 5, получены эмпирически (на рис. 3 показаны точки) в соответствии с результатами исследования, представленного в [17], и затем аппроксимированы кривыми.

В ходе моделирования синтез сигналов ОМ при 70% сохраненной несущей и 3% сохраненной несущей осуществлялся путем фильтрации верхней боковой полосы в спектре АМ сигнала. То есть так, как это реализуется в радиостанциях средней мощности [17, 18].

Очевидно, что такой подход является нерациональным, поскольку отфильтрованная энергия в дальнейшем не используется.

Вместе с тем в [19, 20] раскрыт механизм, позволяющий перераспределять высвободившуюся энергию подавляемой боковой полосы и пилот-сигнала в интересах оставшихся информационных компонент. Именно для такой сигнальной конструкции ОМ с управляемым уровнем пилот-сигнала проведено моделирование, обозначенное на рис. 3 цифрой 5.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы. Рекомендуемые классы излучений для ЛМРС уступают в

помехоустойчивости модемам, использующим сигналы ФМ-2, в частности, сигналы класса излучения J2B порядка 3 дБ при уровне ошибки 10^{-4} , а сигналы ОМ при 70% и 3% сохраненной несущей – соответственно 1,4 дБ и 0,6 дБ. При этом применение сигнальных конструкций ОМ с управляемым пилот-сигналом увеличивает помехоустойчивость приема почти на 1,5 дБ по отношению к сигналу ФМ-2.

Таким образом открываются возможности разработки средств нового поколения ПВ/КВ диапазонов для работы на ЛМРС, использующих помехоустойчивые конструкции ОМ с управляемым уровнем пилот-сигнала.

В дальнейшем авторы планируют рассмотреть возможность повышения помехоустойчивости передач ПВ/КВ диапазонов с использованием методов совместной обработки сигналов [21, 22].

ЛИТЕРАТУРА

1. Международная конвенция по охране человеческой жизни на море СОЛАС–74 с изменениями Протоколом 1988 г. к ней и поправками (с изменениями на 24 мая 2018 г.). – URL: <https://www.conventions.ru/convention/id/?id=141> (дата доступа 17.10.2023)
2. Степаненко Д. П. Границы морских районов А2 и реальная дальность ПВ-радиосвязи в направлении «судно–берег». – Мат-лы VI Международ. Балтийского морского форума, Калининград, 3–6 сентября 2018 г. – В 6 т. – Т.2. – Калининград. ГТУ, 2018. – С. 51–60.
3. ГМССБ. Принципы морской радиосвязи, 7.11.2021. – URL: <https://mirmarine.net/sudovoditel/gmdss/950-gmssb-printsipy-morskoj-radiosvyazi> (дата доступа 17.10.2023).
4. Приказ Министерства транспорта Российской Федерации от 9.12.2022 № 486 «Об утверждении Правил радиосвязи морской подвижной службы и морской подвижной спутниковой службы» (Зарегистрирован 30.12.2022 № 71938). № опубл. 0001202212300073. Дата опубл. 30.12.2022.
5. Громоздин В.В., Иевлев К.В., Козуб М.С., Новиков Т.В. Определение требуемой мощности передатчика передающего центра морского района А2/ГМССБ // Тр. ежегодной НТК/СПБНТОРЭС. – 2022. – № 1(77). – С. 195–196.
6. Дворников С. В. Кудрявцев А. М. Теоретические основы частотно-временного анализа кратковременных сигналов: монография. – СПб.: Изд. Воен.акад. связи, 2010. – 240 с. – ISBN 978-5-91690-008-8.
7. Зюко А.Г. Помехоустойчивость и эффективность систем связи. – М.: Связь, 1972. – 360 с.
8. Военные системы радиосвязи. – Ч. I / Под ред. В. В. Игнатова. – Л.: Изд. ВАС, 1989. – 386 с.
9. Теоретическое обоснование синтеза ансамбля биортогональных сигналов с повышенной помехоустойчивостью / Дворников С. В., Кузнецов Д. А., Кожевников Д. А. и др. // Вопросы радиоэлектроники. – Сер.: Техника телевидения. – 2015. – № 5. – С. 16–20.
10. Павлов А. А., Дворников С. С., Кондрашин А. Е., Дворников С. В. Управление параметрами сигналов с амплитудной манипуляцией в радиолиниях морской подвижной службы // Информация и космос. – 2023. – № 2. – С. 12–17.
11. Дворников С. В. Метод обнаружения на основе посимвольного перемножения реализаций спектра наблюдаемого процесса с автоматическим расчетом порога принятия решения // Научное приборостроение. – 2004. – Т. 14. – № 4. – С. 92–97.
12. Павлов А. А., Дворников С. В. Повышение энергетического потенциала линий радиосвязи с амплитудной модуляцией // Морской вестник. – 2023. – № 2(86). – С. 79–82.
13. Дворников С.В., Железняк В.К., Комарович В.Ф., Храмов Р.Н. Метод обнаружения радиосигналов на основе обработки их частотно-временных распределений плотности энергии // Информация и космос. – 2005. – № 4. – С. 13–16.
14. Финк Л.М. Теория передачи дискретных сообщений. – М.: Сов. радио, 1970. – 718 с.
15. Крячко А.Ф., Дворников С.В., Пшеничников А.В. Моделирование радиотехнических систем в конфликтных ситуациях когнитивного характера. – В сб.: Волновая электроника и инфокоммуникационные системы. – Сб. ст. XXII Международ. науч.конфер. – В 2-х ч. – 2019. – С. 84–89.
16. Прохоров В.К., Шаров А.И. Методы расчета показателей эффективности радиосвязи. – Л.: Изд. ВАС, 1990. – 132 с.
17. Сазонов В.В., Манаенко С. С., Белов А. Д., Девятяров В. Б. Способ формирования сигналов с однополосной угловой модуляцией для передачи дискретной информации // REDS: Телекоммуникацион-

- ные устройства и системы. – 2016. – Т. 6. – № 1. – С. 122–126.
18. Дудин А. Ю., Хмырова Н. П. Цифровой модем ДКМ радиостанции // Техника радиосвязи. – 2006. – № 11. – С. 16–28.
 19. Анализ помехоустойчивости передач с однополосной модуляцией в каналах с флуктуационными помехами / Дворников А. С., Гудков М. А., Аюков Б. А. [и др.] // Вопросы радиоэлектроники. – Сер.: Техника телевидения. – 2022. – № 4. – С. 58–64.
 20. Дворников С. В., Дворников С. С., Желгов К. Д. Помехоустойчивость сигналов однополосной модуляции с управляемым уровнем несущего колебания // Информатика и автоматизация. – 2023. – Т. 22. – № 2. – С. 261–288. – DOI 10.15622/ia.22.2.2.
 21. Теоретическое обоснование синтеза ансамбля биортогональных сигналов с повышенной помехоустойчивостью / Дворников С. В., Кузнецов Д. А., Кожевников Д. А. и др. // Вопросы радиоэлектроники. – Сер.: Техника телевидения. – 2015. – № 5. – С. 16–20.
 22. Дворников С. В. Теоретические основы синтеза билинейных распределений энергии нестационарных процессов в частотно-временном пространстве (обзор) // Тр. учебных заведений связи. – 2018. – Т. 4. – № 1. – С. 47–60. ■

МЕТОДЫ ЧИСЛЕННОЙ ОЦЕНКИ АНТЕННЫХ УСТРОЙСТВ

Антенны коротковолнового диапазона волн конструируются, как правило, из цилиндрических хорошо проводящих металлических прямых отрезков, определенным образом ориентированных в пространстве. Диаметры отрезков проводников при этом весьма малы по сравнению с длиной волны. На этапе электродинамического анализа перед разработчиком стоит задача расчета электрических характеристик спроектированной антенны в рабочей полосе частот. Интересующие характеристики можно получить, зная распределение тока на проводах, образующих антенну. Эта операция нахождения распределения тока в конечном итоге выполняется численными методами решения системы интегральных уравнений на ЭВМ и известна под названием «метод моментов» [6, 7].

На сегодняшний день для расчета основных характеристик проектируемой антенны можно воспользоваться специализированными профессиональными пакетами, реализующими различные модификации данного метода. Наиболее ориентированными на расчет КВ антенн являются программы NEC (Numerical Electromagnetic Code).

При внешнем несходстве все существующие программы моделирования антенн NEC устроены однотипно. В основе расчетов лежит вычислительное ядро, обеспечивающее численное решение уравнений поля методом моментов для каждой точки. Над ядром существует сервисная оболочка, готовящая данные для ядра и представляющая в удобном виде полученные результаты расчета. В настоящее время существует три основных ядра. Все они написаны в США в Ливерморской национальной лаборатории им. Лоуренса (Lawrence Livermore National Laboratory – LLNL) большими коллективами и предназначены для профессиональных (в первую очередь военных) целей. Сомневаться в их точности не приходится, поскольку ядра прошли многолетнюю и тщательную проверку коллективами профессионалов, на соответствие расчетных и реальных параметров антенн. Рассмотрим все три ядра.

MININEC (MiniNumerical Electromagnetic Code). Присутствующее в названии Mini означает не урезанность, а то, что вре-

О МЕТОДАХ РАЗРАБОТКИ АНТЕННЫХ СИСТЕМ КВ ДИАПАЗОНА ЧАСТЬ 2*

В.Д. Пашкевич, начальник отдела перспективных исследований и разработок,
В.М. Голубев, канд. техн. наук, гл. науч. сотрудник отдела перспективных исследований и разработок,
А.А. Павлов, генеральный директор,
С.В. Русин, канд. техн. наук, вед. науч. сотрудник отдела перспективных исследований и разработок, АО «НТИ «Радиосвязь»,
Я.А. Демидов, специалист по системам радиосвязи,
 контакт. тел. +7 (962) 680 8607, pashkevich_vd@ntiradio.ru

мя вычислений минимизировано. Имеет несколько версий. Исторически это самое первое удачное ядро, примененное на персональном компьютере. Основной недостаток: при моделировании реальной земли не учитываются потери ближней реактивной зоны антенны в реальной земле. При вычислениях входного сопротивления земля полагается идеальной. Поэтому при моделировании низковисящих антенн возникает погрешность в определении усиления (только для горизонтальных антенн на высоте $h < 0,16\lambda$) и входного сопротивления.

NEC2 (Numerical Electromagnetic Code 2). Вышел на несколько лет позднее MININEC. Не является более новой версией MININEC – это отдельное вычислительное ядро. Написано для преодоления вышеупомянутого недостатка MININEC. Входное сопротивление и усиление низковисящих над реальной землей антенн считается точнее, с учетом потерь ближней зоны. Также требуемая точность расчета достигается при меньшем, чем у MININEC, числе сегментов. Это ускоряет вычисления. Введена коррекция на скачки диаметра при стыках проводов. Но она дает хорошие результаты в случае, если провод с такими скачками имеет размер, соизмеримый с длиной волны, и стыкуемые отрезки не слишком коротки.

NEC4 – это дальнейшее развитие NEC2. Может учитывать противовесы, как на поверхности земли, так и закопанные в нее. Проблема с коррекцией скачков диаметров для коротких и нерезонансных отрезков хотя и не решена полностью, но сведена до приемлемой в большинстве случаев точности. Однако воспользоваться этим ядром не представляется возможным.

В отличие от MININEC и NEC2, исходные коды которых изначально были сделаны и распространяются как freeware, ядро NEC4 распространяется только по лицензии. На это ядро СОСОМ Комитет США по контролю над экспортом наложил запрет на экспорт в очень многие страны, в Россию в том числе. Этот комитет запрещает экспорт оборудования и технологий, которые могут быть использованы для производства оружия. Впрочем, многочисленные тесты показывают, что, исключая случаи закопанных в землю проводов, MININEC и NEC2 дают результаты, близкие к NEC4.

Ознакомившись с ядрами, обратимся к оболочкам. Оболочка должна позволять делать виды антенны, давать возможность ее редактирования, модификации, и все в удобном пользователю виде, а результаты расчета должны выдаваться в удобном для восприятия формате (таблицы, графики, диаграммы). Кроме того, оболочка стыкует вычислительные возможности компьютера с вычислительными потребностями ядра.

Первые оболочки: ELNEC, EZNEC первых версий, NEC4WIN использовали ядро MININEC. К сожалению, то ли в погоне за массовым потребителем (а это все платные программы), то ли по какой иной причине авторы этих оболочек ограничили максимальное число точек 120, 120 и 300 соответственно (в самом ядре нет ограничения по этому параметру – ограничивает именно оболочка). Для сложных, профессиональных антенн это крайне мало, и при попытке смоделировать такие антенны в рамках от 120 до 300 сегментов получались результаты, временами не имеющие ничего общего с реальностью. Ввод описания антенны (проводов) проводился

*Продолжение. Часть 1 см. «Морской вестник», 2023, №4(88).

только цифрами координат начала и конца провода (кропотливая и долгая работа, требующая терпения).

Появившиеся позднее оболочка EZNEC3.0 и еще несколько малоизвестных на ядре NEC2 имели более удобный интерфейс, но все же их авторы удобствами пользователя не очень озаботились – все те же длинные ряды цифр в таблице, описывающие провода, надо было набивать руками. Максимальное количество точек составило от 300 до 500, что также очень мало для серьезных антенн. Есть оболочки, имеющие удобный графический интерфейс пользователя (рисование и правка антенны мышью), хороший сервис и с большим максимальным числом точек (до нескольких тысяч), причем как на ядре MININEC – Expert MININEC Professional MININEC Broadcast, так и на ядре NEC2 – WireGrid SuperNEC, Antenna Solver, NEC-Win Pro.

На ядре же NEC4 известны только две подобные оболочки – GNEC и EZNEC pro 3.0. Но, как уже было сказано выше, получить лицензию на NEC4 невозможно. Все перечисленные оболочки являются платными продуктами.

В открытом доступе существует бесплатная и более мощная, чем все перечисленные, оболочка 4NEC2. Программа ее – это личный проект Arie Voors 1995 г. [8]. На наш взгляд, это одна из лучших свободно распространяемых программ, которая работает на ядре NEC2, также может работать с лицензионным ядром NEC4. Программа имеет удобный и информативный интерфейс, позволяет моделировать антенны с количеством сегментов до 11 000, получать выходные данные в различных форматах: текстовом, графическом и

трехмерном. Программа интегрирована с программами GNUPLOT (построение дополнительных графиков), POV-Ray (создание высококачественных рисунков), ITS HF Propagation (прохождение радиоволн на коротких волнах).

Программа условно делится на несколько частей:

- графическая, в которой пользователь задает структуру антенной системы;
- расчетная, содержащая расчетное ядро программы NEC2;
- интерфейс, представляющий полученные расчетом массивы данных в графическом виде и в виде таблицы.

Составив и решив системы интегральных уравнений для заданной структуры антенны, программа получает токовое распределение на проводах. По нему 4NEC2 рассчитывает и выводит на экран входное сопротивление по отношению к точке включения генератора, определяемое как отношение комплексной амплитуды тока в точке расположения генератора к задаваемому напряжению возбуждения ЭМП в диапазоне частот. По токовому распределению на заданной частоте программа вычисляет диаграмму направленности в сферической системе координат.

Также в открытом доступе существует вариант оболочки 4NEC2X, который позволяет визуализировать 3-мерную диаграмму направленности, совмещенную с изображением антенны.

По нашему мнению, 4NEC2 – авторитетное вычислительное средство, многократно проверенное на практике, в ходе выполнения ряда НИОКР с положительными результатами.

На рис. 5 и рис. 6 и в таблице пред-

ставлены результаты сравнения основных энергетических характеристик исследуемых объектов – V-образной и ромбической горизонтальной (РГ) антенн в масштабе 1:50, полученных путем анализа результатов вычислений электродинамической модели, построенной в 4NEC2, и изготовленного макета. В обоих случаях подстилающая поверхность – идеально-проводящая.

Результаты расчета максимальных значений абсолютного коэффициента усиления, положения максимумов диаграмм направленности модели и макета V-образной антенны и антенны РГ для горизонтальной поляризации приведены в таблице.

Полученные результаты в исследуемом диапазоне частот позволяют сделать следующие выводы:

- расчетные и экспериментальные значения КСВН, действительной и мнимой частей входных сопротивлений демонстрируют очень хорошее совпадение;
- диаграммы направленности в вертикальной и горизонтальной плоскости, максимумы излучений также совпадают, разница в ориентации максимумов диаграмм направленности составляет в среднем 3 град;
- по абсолютному коэффициенту усиления разница составила от 1 до 1,7 дБи, что также свидетельствует о высокой точности расчета.

Получив приемлемые результаты количественных показателей масштабных моделей, было принято решение изготовить полноразмерные макеты антенн и формировать из 4-элементных антенных решеток (рис. 7).

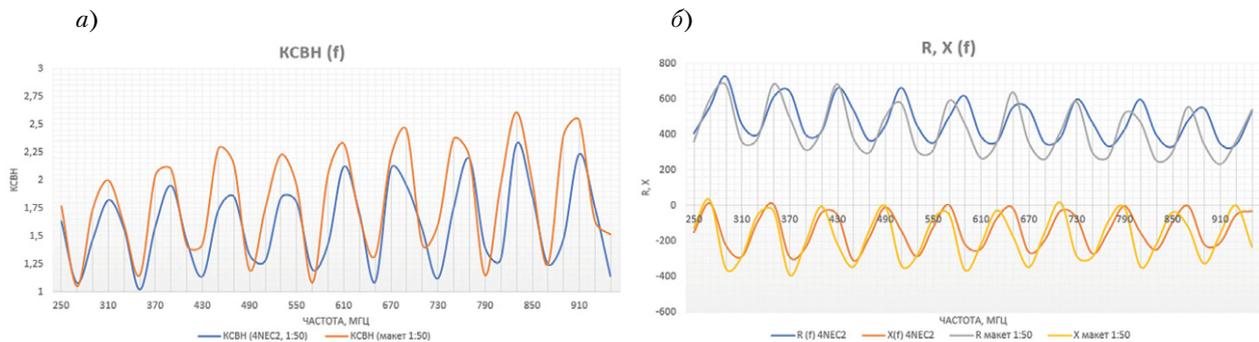


Рис. 5. Графики зависимостей КСВН (f) и R, X (f) V-образной антенны в масштабе 1:50 (макет и математическая модель)

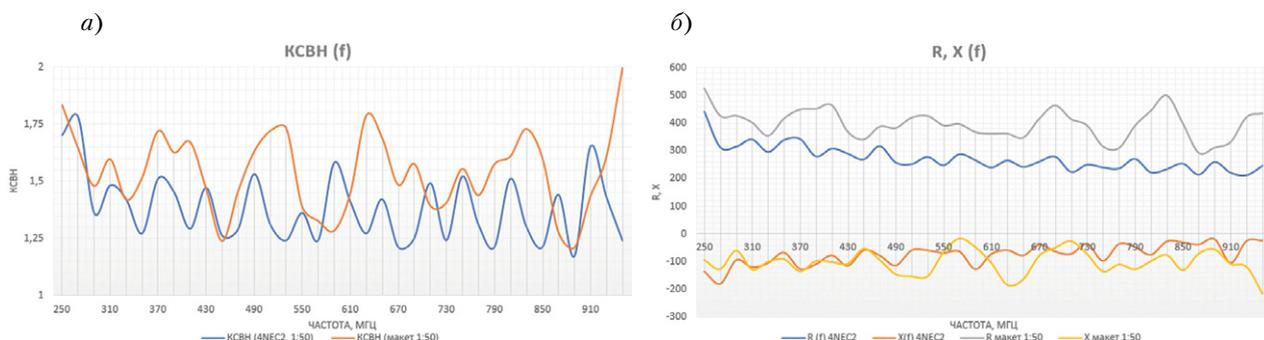


Рис. 6. Графики зависимостей КСВН (f) и R, X (f) антенны РГ в масштабе 1:50 (макет и математическая модель)

Таблица 1

Результаты сравнения характеристик излучения математических моделей и макетов V-образной и РГ антенны в масштабе 1:50 (поляризация горизонтальная)

f, МГц	V образная антенна				РГ антенна				
	4NEC2		Макет		4NEC2		Макет		
$\theta_{\text{макс}}$, °	$G_{\text{Апер}}$, дБи								
300	61	4,87	58	3,86	55	12,2	57	12,35	
400	67	7,37	70	6,01	63	14,5	66	14,76	
500	71	9,02	75	7,24	69	16,6	70	15,77	
600	74	9,83	76	8,2	73	17,8	76	17,1	
700	76	10,5	79	8,8	76	19	80	17,78	
800	78	10,8	81	9,43	76	18,8	81	20	
900	79	10,4	82	8,84	80	20,3	82	20	

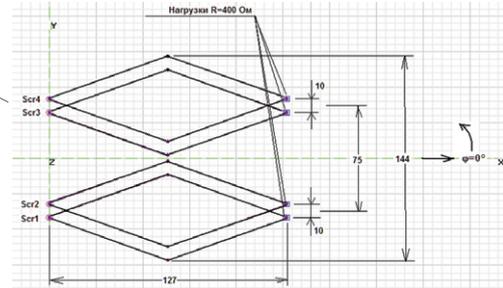
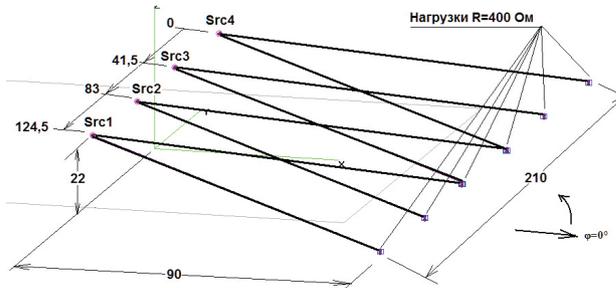


Рис. 7. Четырехэлементные АФАР на базе V-образных и РГ антенн

По результатам проведения расчетных оценок значений КСВН различие во входных характеристиках между крайней и внутренней антеннами весьма незначительное, поэтому на графике рис. 8 приводятся одна кривая, полученная численным методом анализа одного элемента в составе АФАР и четыре кривых, полученные экспериментально.

Расчетные и экспериментальные значения КСВН также демонстрируют очень хорошее совпадение

По совокупности оценок параметров антенных систем относительно простых конструкций, полученных численным экспериментом, и их последующего сравнения с результатами экспериментальных (натурных) исследований можно

сделать вывод об успешной верификации метода численного эксперимента с применением метода численного эксперимента. Это позволило применять метод численного эксперимента и для решения сложных задач.

Примером является разработка сверхширокополосной логопериодической антенны пирамидальной формы диапазоном от 2 до 30 МГц и четырехэлементной АФАР (рис. 9) на ее основе. Главной особенностью при разработке данной весьма сложной антенной системы было то, что по результатам численного эксперимента была определена оптимальная геометрия базовой ЛПА и АФАР, которая заложена в конструкторскую документацию для последующего изготовления опытного об-

разца без обычного в таких случаях полномасштабного макетирования.

Опытный образец этой АФАР (рис. 10) без каких-либо конструкторских доработок показал на испытаниях ожидаемые высокие характеристики.

Сложная по своей геометрии сверхширокополосная логопериодическая антенна пирамидальной формы, построенная только по результатам численного эксперимента, сразу показала весьма высокий уровень согласования в 15-кратном диапазоне частот. Следует отметить, что применение ЛПА такой сложной формы в составе АФАР было вызвано необходимостью сведения к минимуму количества опорных мачт и, соответственно, времени развертывания антенной системы. Разработка такой системы, используя традиционные методы (расчетный и физический эксперимент), является практически невозможной.

В дальнейшем методом численного эксперимента были разработаны и исследованы и другие геометрически сложные антенные системы, обладающие очень полезными характеристиками. Например, на рис. 11 представлены антенные системы, состоящие из ортогонально расположенных ЛПА. Такие антенные системы с по-

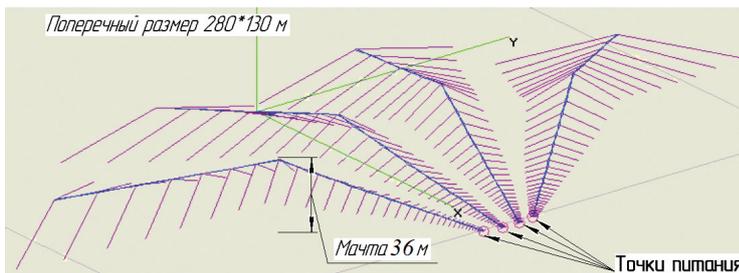


Рис. 9. Активная ФАР на базе четырех сверхширокополосных логопериодических антенн



Рис. 10. Опытные образцы комплексов КВ диапазона различного назначения на базе 4-элементных АФАР

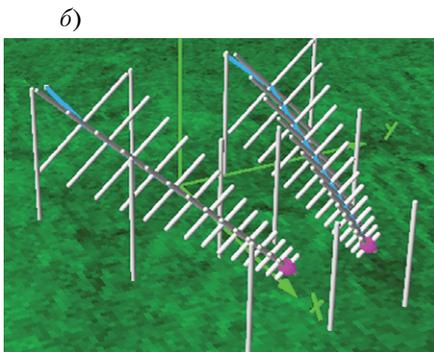
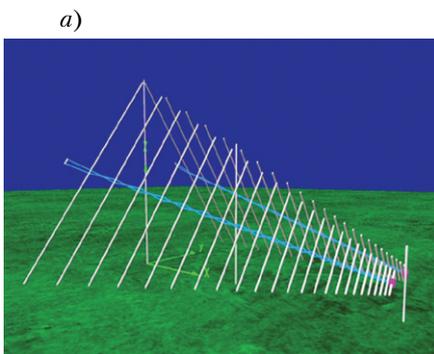


Рис. 11. Широкополосные антенные системы с управляемой поляризацией: а – АФАР из двух плоских ЛПА; б – 4-элементная АФАР из турникетных ЛПА

мощью соответствующего фазирования позволяют изменять поляризацию излучаемого поля.

Применение метода численного эксперимента позволило также исследовать антенные решетки, обладающие очень высоким коэффициентом усиления. На рис. 12 представлены такие АФАР на базе плоских ЛПА с рабочим диапазоном от 2 до 30 МГц и КУ от 14,5 до 18,3 дБи и антенн типа РГ с рабочим диапазоном от 6 до 18 МГц и КУ от 17,2 до 26,2 дБи.

Приведенные примеры использования метода численного эксперимента демонстрируют и подтверждают высокую мощность и продуктивность при разработке антенных систем. В ряде случаев данный метод позволяет полностью исключить физический эксперимент из технологической цепочки при разработке АФУ, в том числе это касается и проведения испытаний опытных образцов, так как при определении пространственных характеристик и особенно определении значения абсолютного КУ численное моделирование дает более

точные результаты [9], чем физический эксперимент.

Еще одной сферой, в которой метод численного эксперимента на базе пакета программ 4NEC2 эффективно используется, является проектирование антенных полей радиочастот КВ диапазона с целью электродинамической совместимости антенных систем. Данный метод широко применялся при модернизации антенных полей стационарных радиочастот узлов связи различных ведомств.

ВЫВОДЫ

1. При всестороннем рассмотрении достоинств и недостатков коротковолновая радиосвязь имеет стратегическое значение как основной резерв в сетях силовых и гражданских ведомств. Степень и глубина проработки, модернизации элементов сети военной радиосвязи должна определяться по результатам анализа текущего состояния техники связи и РЭБ НАТО.

2. В последние десятилетия в связи со скачком совершенствования ЭВМ получил развитие метод численного моделирования, реализованный на основе метода моментов. В ходе выполнения ряда НИ-ОКР, направленных в том числе на разработку антенных систем, широко применялся данный метод, полученные результаты позволили сделать вывод о его эффективности при приемлемом уровне погрешности. Метод численного моделирования позволил повысить качество каналов КВ радиосвязи, увеличить помехозащищенность в ведомственных радиоприемниках. Данный инструмент должен получить широкое распространение и признание как разработчиков, так и заказчиков систем связи.

3. В отечественной промышленности отсутствует верифицированный программный продукт, учитывающий поглощающие свойства земной поверхности, что создает необходимость применять зарубежные программные продукты с ограниченным функционалом. Это, по нашему мнению, предопределяет необходимость разработки отечественного лицензированного программного продукта для предприятий оборонно-промышленного комплекса, занимающихся разработкой КВ антенн.

4. Методики расчета помехозащищенности КВ радиоприемников оперируют, как правило, случайно изменяющимися

параметрами, такими как, например, W_T в (1), при этом параметры антенн считаются детерминированными. На практике усиление антенн: $G_{\text{Антер}}$ и $G_{\text{Анр}}$ (1) оказываются меньше расчетных из-за поглощающих свойств земли. Неопределенность параметров антенн вносит ряд практических проблем, связанных с неверной оценкой помехозащищенности радиоприемников. Применение программы расчета, учитывающей влияние земли, значительно уменьшит остроту проблемы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Концепция информационного противоборства Вооруженных сил РФ. – М.: МО РФ, 1997.
2. Игнатов В.В., Сахнин А.А. Радиоэлектронная защита систем и средств военной связи. – СПб.: Изд. ВУС им. С.М. Буденного, 2001. – 212 с.
3. Мальцев Г.Н., Сохен М.Ю., Плотников М.Ю. Сравнительный анализ диаграмм направленности логопериодических антенн и антенн бегущей волны коротковолнового диапазона/Науч. сессия ГУАП: Санкт-Петербург, 11–15 апреля 2016 г. – Сб. докл. – Т. 2. – СПб.: Изд. СПб ГУАП, 2016. – С. 92–96.
4. Головин О.В., Простов С.П. Системы и устройства коротковолновой радиосвязи. – М.: Горячая линия-Телеком, 2006. – 598 с.
5. Гвоздев И.Н., Муравьев Ю.К., Серков В.П., Черволес В.Л. Характеристики антенн радиосистем связи. – Л.: Изд. ВАС им. С.М. Буденного, 1978. – 231 с.
6. Банков С.Е., Грибанов А.Н., Курушин А.А. Электродинамическое моделирование антенных и СВЧ структур с использованием FEKO. – М.: One Book, 2013. – 423 с.
7. Чекалин А.А., Шапин А.М., Коньков Д.И., Кудрявцев А.О. Применение метода моментов для проектирования проволочных антенн // Инновационные достижения и результаты научной деятельности операторов научных рот Вооруженных сил Российской Федерации: Сб. науч. ст. по материалам «круглого стола» 29 ноября 2022 г. / Военная академия связи. – СПб.: Изд. ВАС им. С.М. Буденного, 2022. – С. 257–264.
8. NEC based antenna modeler and optimizer – [электронный ресурс]. URL: <http://www.qsl.net/4nec2/>.
9. Боданов А.В., Пашкевич В.Д. Метод измерения абсолютного коэффициента усиления антенных систем КВ диапазона. – Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании (АПИНО–2019): сб. науч. статей VIII Междунар. науч.-техн. и науч.-метод. конфер., Санкт-Петербург, 27–28 февраля 2019 г. – В 4 т. – Т. 3. – СПб.: СПбГУТ им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, 2019. – С. 43–49. ■

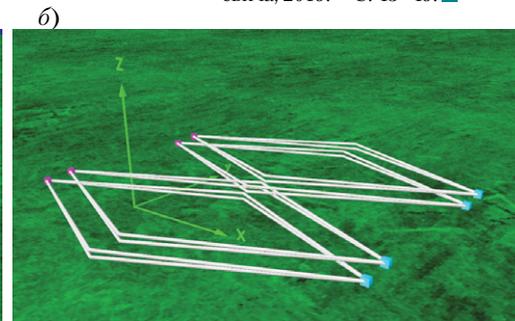
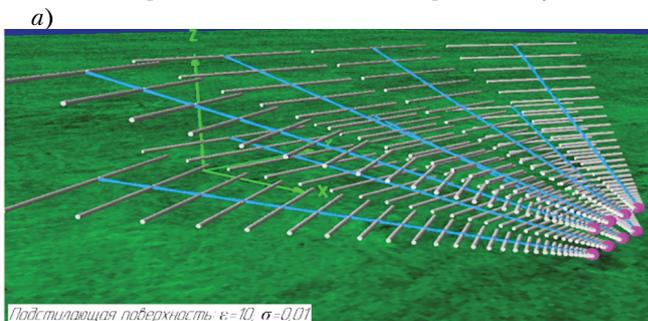


Рис. 12. Антенные системы с повышенным КУ: а – 8-элементная АФАР из ЛПА ; б – 4-элементная АФАР из РГ

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в России бурно развиваются разработки вооружения, военной и специальной техники (ВВСТ) с использованием новейших технологий, в том числе производство комплексов крылатых ракет (КР) нового поколения. Современные условия развития Вооруженных сил Российской Федерации и ведущих зарубежных стран выдвигают новые требования к разработчикам ВВСТ. Время, когда заказчику требовались только образцы вооружения, давно прошло. Теперь заказчику ВВСТ необходима не только техника, но и ее техническое сопровождение разработчиком (изготовителем, поставщиком ВВСТ) на всех этапах жизненного цикла.

Опыт показывает, что внедрение современных технологий позволяет существенно повысить качество и скорость послепродажного обслуживания ВВСТ, сократив при этом целый ряд издержек.

При разработке ВВСТ конечным продуктом является изделие, созданное для выполнения определенной функции. Основные свойства изделия включают его функциональность, надежность, эффективность, безопасность и долговечность. Жизненный цикл изделия охватывает все этапы его существования, начиная с идеи и проектирования и заканчивая утилизацией или переработкой. В процессе жизненного цикла изделие проходит через различные этапы, включая разработку, производство, эксплуатацию и утилизацию. Каждый этап имеет свои особенности и требует определенных знаний и навыков. Поэтому заказчик и предъявляет к изготовителю ВВСТ требования к техническому сопровождению изделия на всех этапах жизненного цикла, в том числе в период его эксплуатации в подразделениях Министерства обороны. Таким образом, возникает необходимость в послепродажном обслуживании.

Послепродажное обслуживание – комплекс мероприятий, обеспечивающих функциональность изделия для удовлетворения потребностей пользователя в процессе его доставки, хранения, эксплуатации и использования.

Послепродажное обслуживание в гарантийный период включает:

- распаковку и расконсервацию изделия в присутствии представителя заказчика;
- пусконаладочные работы;
- подготовку инженерного состава в области эксплуатации изделия;
- сбор информации о надежности изделия в эксплуатации;
- осуществление планового технического обслуживания, предписанного руководством по эксплуатации на изделие;

ПУТИ ОПТИМИЗАЦИИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОПРОВОЖДЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ ВОЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

В.Г. Пушкин, канд. техн. наук, начальник ИТЛ НКЦ,

В.В. Филиппов, начальник НИЛ НПК,

Л.А. Просвирякова, инженер НИЛ НПК,

АО «Концерн «Гранит-Электрон»,
контакт. тел. (812) 578 9440

- ремонт при конструкционном или производственном отказе;
- восполнение комплектующих изделий из ЗИП после проведения ремонта;
- модернизацию изделий (по согласованию с заказчиком).

Послепродажное обслуживание после окончания гарантийного срока включает следующие, наиболее распространенные услуги:

- сбор информации о надежности изделия в эксплуатации;
- обеспечение ЗИП (при необходимости);
- ремонт (при необходимости);
- модернизация изделий (по согласованию с заказчиком);
- оказание разнообразной технической помощи.

Под технической помощью подразумевается оказание консультаций, выполнение функций инженерного состава по эксплуатации изделий и др.

При эксплуатации комплексов КР большое значение имеет контроль их состояния и возможности выполнять поставленную задачу. Для этого в состав комплекса включается контрольно-про-

верочная аппаратура (КПА). Отказ или сбой в работе КПА приводит к невозможности оперативного контроля пригодности КР перед выдачей ее на носитель. Таким образом, послепродажное обслуживание непосредственно перед самой КПА – один из важнейших этапов оптимизации процесса контроля и состояния КР для достижения наилучших результатов.

АНАЛИЗ ТЕКУЩЕГО СОСТОЯНИЯ ОРГАНИЗАЦИИ ПОСЛЕПРОДАЖНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ИЗДЕЛИЙ ВВСТ НА ПРИМЕРЕ КПА КР

Текущая организационная структура проведения ремонта КПА представлена на рис. 1, и работы выполняются предприятием-изготовителем (поставщиком) в соответствии с ГОСТ РВ 51030–97 или ГОСТ РВ 0015.703–2019. На рис. 1 указано регламентированное время от отправки уведомления о вызове представителя поставщика до отправки специалиста в место эксплуатации изделия, которое составляет четыре дня для иногороднего изготовителя (поставщика) и один день для местно-



Рис. 1. Структура согласования вызова представителя изготовителя (поставщика)

го. Фактическое время может составить семь–десять дней, что связано с широкой географией применения комплексов КР и удаленностью размещения данных комплексов от предприятия-изготовителя.

Для послегарантийного ремонта время отправки специалиста на порядок возрастает в связи с необходимостью заключения договора на послегарантийное обслуживание, который включает в процесс работы несколько заинтересованных сторон: Министерство обороны, представителя поставщика и представителя изготовителя.

Время восстановления работоспособности отказавшей КПА можно было бы сократить в случае выполнения ремонта легкой и средней сложности представителями эксплуатирующей организации с получением необходимых консультаций от представителя разработчика (поставщика) с помощью различных средств коммуникации. Однако возникает проблема следующего характера: сложность высокотехнологичной аппаратуры подразумевает необходимость высокого уровня знаний, касающихся конкретного изделия, и определенных навыков работы, что усложняется недостаточным объемом ремонтной документации, а также наличием в ней перекрестных ссылок.

Для примера рассмотрим следующую ситуацию: во время загрузки КПА

на экране прибора управления и обработки информации вывелось сообщение «Отсутствие связи со стандартным исполнительным процессором электрооборудования». Причинами данной неисправности могут быть: нарушение стыковки кабеля Ethernet к процессорной плате, нарушение контакта процессорной платы или выход ее из строя, а также выход из строя жесткого диска.

Работы по диагностике и ремонту в соответствии с причинами включают в себя: проверку стыковки кабеля к процессорной плате, перестыковку процессорной платы, замену отказавшего устройства.

На рис. 2 представлена модель процесса диагностики и ремонта КПА.

Все вышеперечисленные работы не требуют высокой квалификации инженерного состава, однако так как описание данных работ может отсутствовать в явном виде в эксплуатационной документации КПА, для составления пошаговой инструкции требуется изучить и иметь возможность свободно ориентироваться в документах, представленных в правой части рисунка.

Также требуется практика выполнения ремонтно-восстановительных работ конкретного образца КПА.

В табл. 1 приведено примерное время в минутах, которое потребуется специалистам разного уровня для решения одних и тех же задач на этапах работы 1–7 (рис. 2).

Таблица 1
Примерное время в минутах для решения одинаковых задач специалистами разного уровня на этапах работы 1–7

Этап работы	Молодой специалист (опыт работы 2 года)	Опытный специалист (опыт работы 10 лет)
1	60	40
2	60	30
3	60	30
4	30	5
5	30	5
6	60	30
7	120–300	60–240
Общее время	$180 + (240 \dots 420) = 420 \dots 600$	$100 + (100 \dots 280) = 200 \dots 380$

Как мы видим из табл. 1, время, затраченное молодым специалистом, примерно в 1,8 раза больше, чем его более опытным коллегой. Наибольший разрыв наблюдается на этапах 4–7, которые занимают около 65% времени каждого из специалистов, что указывает на необходимость оптимизации этой части работы. Оптимизация этапа 3 подробно описана в [4].

Решить проблемы уменьшения требований к инженерному составу, занимающемуся техническим обслуживанием и ремонтом изделий ВВСТ, можно путем визуализации процесса поиска неисправности и ремонта. Этого можно достичь путем использования отдельных компонентов ИПИ-технологий при разработке ремонтной документации изделий.

ПРЕДЛАГАЕМЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ОПТИМИЗАЦИИ ЭТАПОВ ТЕХНИЧЕСКОГО СОПРОВОЖДЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ ВВСТ

Интерес к ИПИ (CALS)-технологиям во всем мире стремительно возрастает, однако то, что применимо в гражданских изделиях, не всегда подходит для ВВСТ. Применение информационных технологий при эксплуатации ВВСТ, в отличие от эксплуатации гражданской техники, носит весьма фрагментарный характер, обусловленный режимом.

На современном уровне информационная поддержка реализуется путем создания и дальнейшего использования интерактивных электронных документов, которые представляют собой структурированную мобильную информационную базу, заменяющую традиционные технические описания, руководства по эксплуатации, регламенты и каталоги. Методологической основой разработки электронных документов являются стандарты ASD 1000D и ASD 2000D.

В настоящее время все большее распространение получают виртуальные

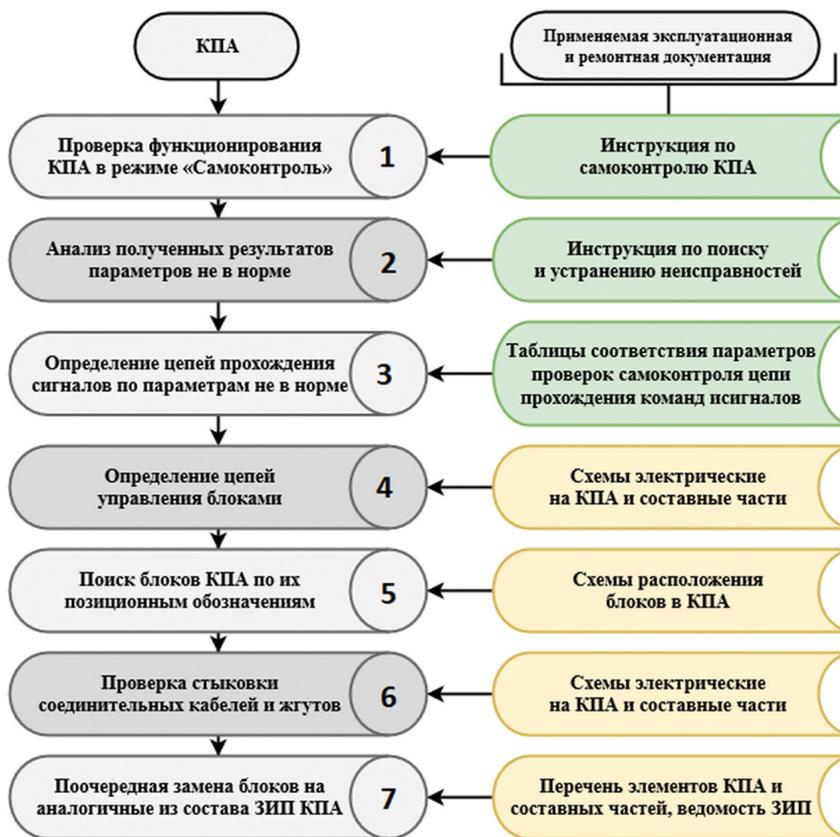


Рис. 2. Модель процесса ремонта КПА

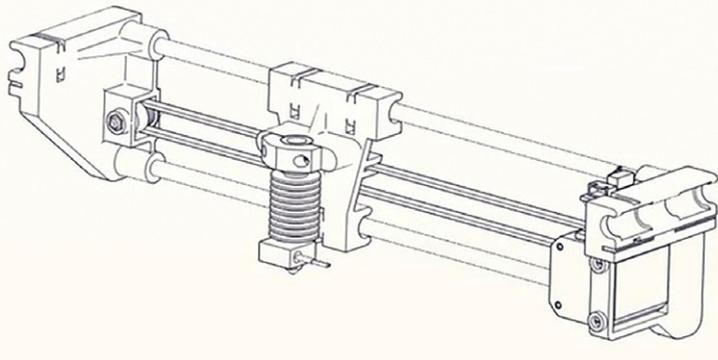


Рис. 3. 3D модель прибора, созданная в программе трехмерного проектирования

руководства, содержащие анимированное представление процессов обслуживания и ремонта, для создания которых используется программное обеспечение для трехмерного проектирования САПР.

Такие системы САПР предназначены для создания интерактивной документации различного вида и функционального назначения на изделия любой степени сложности. Среда разработки позволяет автоматизировать процесс создания инструкций по сборке/разборке изделия, что особенно пригодится на этапе 7 (рис. 2), инструкций по эксплуатации, инструкций по техническому обслуживанию и ремонту, технических иллюстраций. На рис. 3 и рис. 4 представлены 3D модели прибора и его составных частей, созданные в программе трехмерного проектирования. Спецификация прибора указана в левом нижнем углу рис. 4.

Разработанная с помощью систем САПР ремонтная документация позволяет специалисту быстро определить блоки, участвующие в цепи прохождения сигнала, и связи между ними, передвигать составные части изделия, чтобы посмотреть их трехмерный внешний вид, взаимное расположение и крепление.

В текстовых комментариях можно ознакомиться с типовыми неисправностями блоков, наличием и расположением запасных блоков, инструментами необходимыми для проведения замены и возможными нюансами, возникающими при проведении ремонтных работ.

Результатом вышеизложенного становится снижение количества ошибок и затраченного времени при проведении ремонтно-восстановительных работ, а также объема необходимой документации.

На рис. 5 представлена модель процесса ремонта КПА с использованием виртуальных трехмерных руководств.

Для наглядности рассмотрим следующий пример. При контроле пригодности КР перед выдачей ее на носитель на экране прибора управления и обработки информации вывелось сообщение «Отсутствие контроля стыковки изделия». Причинами данной неисправности могут быть: нарушение стыковки кабелей к КР, нарушение контакта преобразователя напряжения или выход его из строя, а также выход из строя реле выдачи контрольного напряжения.

Работы по диагностике и ремонту в соответствии с причинами включат-

ют в себя: проверку стыковки кабелей к КР, что можно эффективно провести в соответствии с методами, указанными в [4], перестыковку преобразователя напряжения, замену отказавшего устройства.

В табл. 2 приводится время в минутах, затраченное на решение задачи с помощью трехмерного руководства.

Таблица 2
Время в минутах, затраченное на решение задачи с помощью трехмерного руководства

Этап работы	Молодой специалист	Опытный специалист
1	60	40
2	60	30
3	60	30
4	10	3
5	10	3
6	40	20
7	60–230	40–200
Общее время	$180 + (120 \dots 290) = 320 \dots 480$	$100 + (66 \dots 226) = 166 \dots 336$

Как мы видим из табл. 2, время, затраченное молодым специалистом теперь примерно в 1,6 раз больше, чем у его более опытного коллеги, этапы 4–7 занимают у молодого специалиста до 50% общего времени работ, а у опытного – до 65%. Общее время работы каждого из специалистов сократилось на 20%. Отсюда можно сделать вывод, что эффективность виртуального руководства выше для молодого специалиста.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, для организации современного послепродажного обслуживания КПА имеются все необходимые инструменты, в том числе программы создания интерактивных электронных технических руководств. Специфика работы с ВВСТ накладывает ограничения на применение технологий, но с развитием отечественной компьютерной техники и программного обеспечения возможности использования ИПИ-технологий будут расширяться.

В рассмотренных в статье примерах применение виртуального руководства по ремонту помогло бы уменьшить срок, необходимый на диагностику и ремонт КПА на 20%, а также снизить минимально достаточный уровень подготовки инженерного состава для выполнения работ. Часть работ может выполняться сотрудниками эксплуатирующей организацией, что сокращает время восстановления работоспособности (см. рис. 1).

Также стоит отметить наличие в сети Интернет большого количества обучающих видеокурсов (на английском и русском языках), в том числе и на офици-

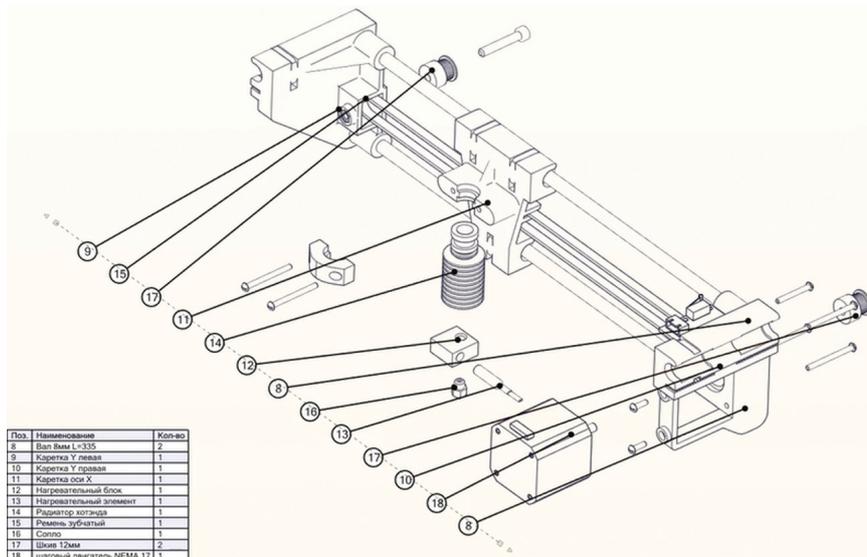


Рис. 4. 3D модель составных частей прибора

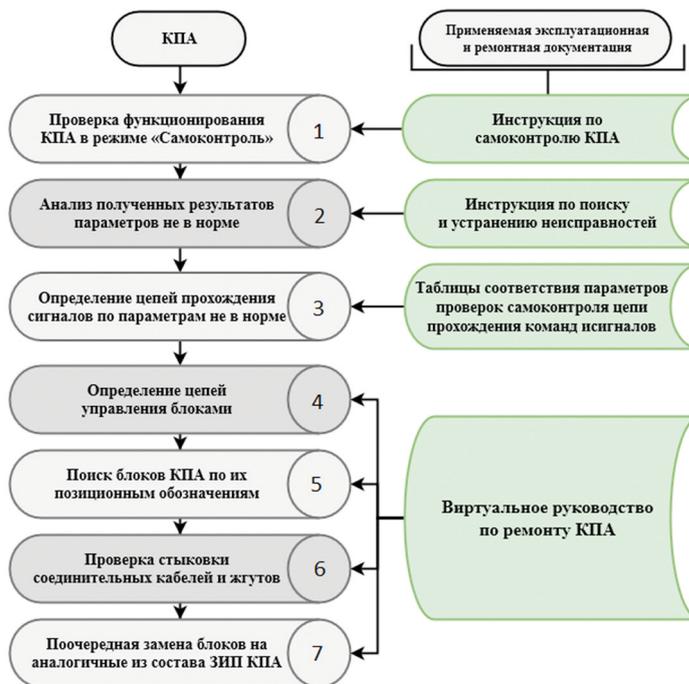


Рис. 5. Модель процесса ремонта КПА с использованием виртуального руководства

альных сайтах продуктов, в которых с нуля разбирается процесс создания модели изделия и документации к ней. Это делает интерактивные руководства еще более доступными для конечного пользователя.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Норенков И. П., Кузьмик П. К.* Информационная поддержка наукоемких изделий (CALS-технологии). – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2002. – 320 с.
2. ГОСТ РВ 51030–97. Комплексы ракетные и космические. Порядок организации и проведения рекламационной работы. – М.: Изд-во стандартов, 1998. – 55 с.
3. Р 50.1.029–2001 Информационные технологии поддержки жизненного цикла продукции. Интерактивные электронные технические руководства. Общие требования к содержанию, стилю и оформлению. – М.: Госстандарт России, 2002. – 27 с.
4. *Пушин В. Г., Филиппов В. В., Просвирякова Л. А.* Модель выбора метода диагностики неисправностей электрической цепи из набора альтернатив // Морской вестник. – 2023. – № 2 (86). – С. 109–111. ■

ВВЕДЕНИЕ

В современном производстве изделий судового машиностроения (как на стадиях их прототипирования, так и на стадиях их изготовления) широко применяется оборудование с программным управлением (ЧПУ-оборудование), одно из основных требований к которому – обеспечение заданной точности геометрических характеристик воспроизводимого изделия. Неослабевающие темпы роста требуемой точности влекут за собой необходимость опережающего совершенствования ЧПУ-оборудования [1–3]: в ходе его эволюционного развития неуклонно совершенствуются параметры конструкции, приближающиеся к предельно достижимым значениям, в связи с чем возрастает актуальность задач поиска принципиально иных методов обеспечения точностного потенциала парка станочного оборудования с программным управлением.

УПРАВЛЯЮЩИЕ ПРОГРАММЫ ЧПУ-ОБОРУДОВАНИЯ: ОСОБЕННОСТИ И ОГРАНИЧЕНИЯ

Среди многообразия видов команд в управляющих программах для ЧПУ-оборудования определяющую значимость для повышения точностных характеристик воспроизведения деталей представляют команды управления перемещением исполнительных элементов (рис. 1).

АППРОКСИМАЦИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ ИЗДЕЛИЙ СУДОВОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ МЕТОДАМИ ТЕОРИИ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ

*А.Е. Васильев, д-р техн. наук, зав. каф. ТСМ,
А.В. Вегнер, ст. преподаватель,
В.А. Карпенко, ст. преподаватель,
Йе Мин Хтет, аспирант,
Хтут Шайн, аспирант, СПбГМТУ,
контакт. тел. (812) 713 8405*

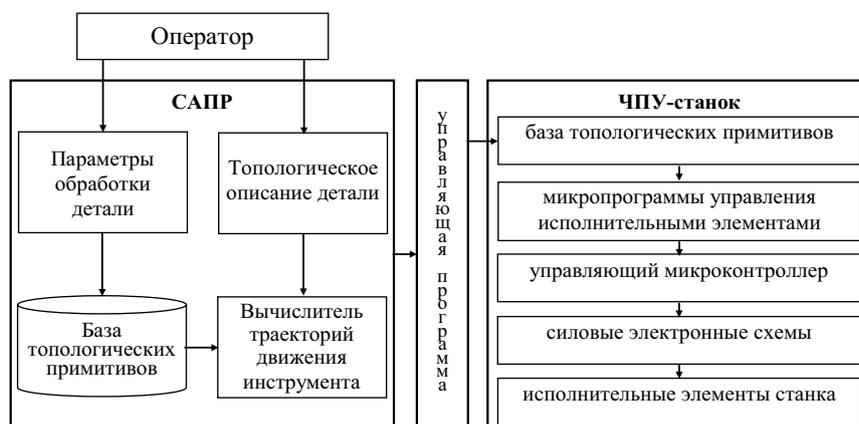


Рис. 1. Традиционная схема разработки и исполнения управляющих программ

Вычисление траекторий движения инструмента основано на использовании совокупности predetermined шаблонов траекторий («базы топологических примитивов»), описываемых

полиномами относительно невысоких порядков, допускающими параметризацию [4]. Недостаточность порядка аппроксимирующего полинома (даже при идеальной отработке задаваемой

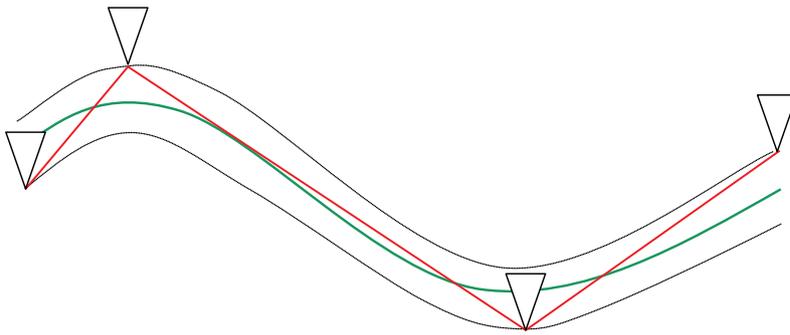


Рис. 2. Иллюстрация искажений формы поверхности при аппроксимации

им траектории движения исполнительными элементами ЧПУ-оборудования) провоцирует возникновение геометрических искажений формы (рис. 2). Известны подходы, позволяющие снизить величину этих искажений путем их прогностического моделирования [5], коррекции воздействия на ЧПУ-оборудование возмущающих факторов путем применения нейросетевых вычислителей [6, 7], однако компенсаторные возможности таких подходов в значительном ряде практических случаев также оказываются недостаточными.

Таким образом, значимым направлением повышения точностных характеристик ЧПУ-оборудования является, наряду с конструктивным и технологическим совершенствованием, его алгоритмическое совершенствование с целью поиска принципиально новых методов аппроксимации.

НОВЫЕ ПОДХОДЫ К АППРОКСИМАЦИИ ТОПОЛОГИЧЕСКИ СЛОЖНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Известны работы [8], направленные на повышение порядка применяемого при аппроксимации полинома, что позволяет повысить точность аппроксимации и увеличить размеры аппроксимируемого участка поверхности, что, однако, не снимает принципиальных ограничений аппроксимации поверхностей произвольной формы наперед заданными полиномами.

Для воспроизведения поверхностей произвольной топологии авторы предлагают применение нечетких (Fuzzy) вычислителей, которые не только нашли широкое применение в системах принятия решений, но и хорошо зарекомендовали себя в задачах аппроксимации. Методы автоматизированного синтеза высокоточных нечетких аппроксиматоров разработаны и опубликованы [9] одним из соавторов данной статьи.

Кратко перечислим основные этапы одного из этих методов (метода сечений), позволяющего сгенерировать нечеткий аппроксиматор топологии поверхности по ее аналитическому

описанию.

Принцип, положенный в основу данного метода, заключается в нахождении «образа» (функциональной зависимости меньшей размерности), существенно характеризующего исходную функцию, и закона его изменения. Этим «образом» часто выступает сечение, изменяющее некоторый свой параметр (например, амплитуду). Так, для функции двух независимых переменных строят два взаимосвязанных аппроксиматора: один описывает функцию сечения, второй – функцию изменения этой функции (в случае большей размерности исходной задачи принцип может применяться итерационно). Тем самым исходная зависимость описывается не с точки зрения совокупностей наборов данных (т. е. фактологически), а с точки зрения законов их взаимного изменения (т. е. онтологически):

1. Строятся сечения исходной поверхности плоскостями, параллельными плоскостям, ограничивающим пространство ее допустимых значений. Из всего множества независимых переменных выбирается «переменная–аргумент», обладающая минимальным количеством форм таких сечений; остальные объявляются «переменными–параметрами».

2. Для «переменной–аргумента» каждая новая форма сечения описывается парой термов (прямым и инверсным; в общем случае функции принадлежности этих термов будут

нелинейными). Области изменения «переменных–параметров» разбиваются на участки (каждый описывается отдельной парой термов – прямым и инверсным, в общем случае с нелинейными функциями принадлежности) так, чтобы в пределах каждого такого участка форма прямого (а, следовательно, и инверсного) термина «переменной–аргумента» не менялась.

3. Для каждой комбинации участков «переменных–параметров» определяется значение выходной переменной в точках максимумов функций принадлежности прямого и инверсного термов «переменной–аргумента»; каждому уникальному значению выходной переменной назначается терм (с максимумом функции принадлежности в точке, численно равной этому значению выходной переменной).

4. Для каждой комбинации участков «переменных–параметров» задаются два правила: одно – соответствующее прямому терму «переменной–аргумента», второе – инверсному.

5. Полученная база нечетких знаний подвергается тестированию в соответствии с известными методиками.

Предлагаемая авторами концепция применения нечетких аппроксиматоров в задачах управления позиционированием исполнительных элементов ЧПУ-оборудования показана на рис. 3.

Система автоматизированного проектирования управляющих программ дополняется модулем, продуцирующим для заданной топологии изготавливаемой детали базу нечетких знаний (в показанном на рис. 3 примере для фрезерного станка высота расположения рабочего органа, т. е. его z -координата, определяется через нечеткую функцию от проекции позиции его текущего положения на плоскость стола, т. е. от кортежа его x - и y -координат). Сгенерированная база нечетких знаний конкатенируется с управляющей программой и переда-

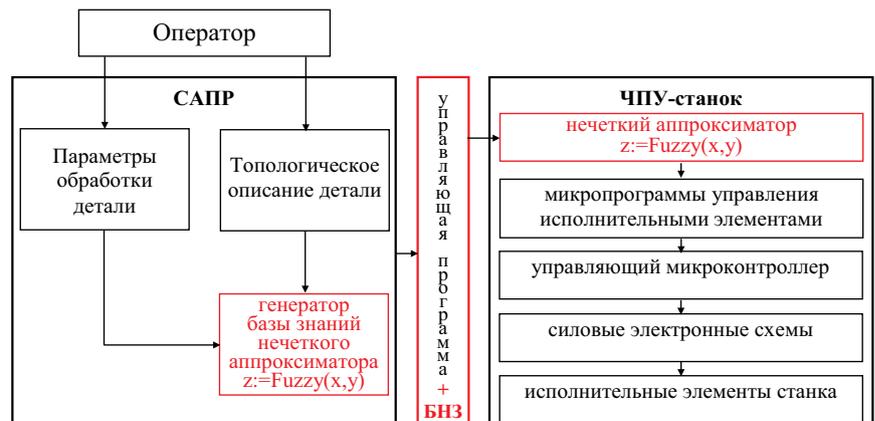


Рис. 3. Предлагаемая схема разработки и исполнения управляющих программ

ется на встроенную вычислительную систему ЧПУ-станка.

В состав программного обеспечения ЧПУ-станка дополнительно введен модуль универсального нечеткого вычислителя, пригодный для нахождения координаты z инструмента по его x - и y -координатам. Переданная на станок конкретная база нечетких знаний задает конкретную топологическую зависимость координаты z от пары координат (x, y) . Определенная нечетким аппроксиматором позиция инструмента обрабатывается нижерасположенными уровнями программно-аппаратного обеспечения ЧПУ-оборудования.

Отметим, что в данной системе отпадает необходимость в хранении и обработке базы топологических примитивов.

ПРИМЕР НЕЧЕТКОЙ АППРОКСИМАЦИИ ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛИ СЛОЖНОЙ ТОПОЛОГИИ

В качестве иллюстрации пригодности предлагаемого подхода рассмотрим нечеткую аппроксимацию «поверхности-прототипа» детали объекта судового машиностроения, в качестве которой выберем перо турбинной лопатки.

Для проведения эксперимента используем среду моделирования нечетких контроллеров Fuzzy51 и среду общетехнического моделирования MathCad. В соответствии с изложенной выше методикой в среде MathCad задаются аналитические выражения, описывающие искомую поверхность; характеристические проекции определяют нелинейные термы входных переменных X и Y ; по значениям функции в точках экстремумов термов входных переменных определяются термы-синглтоны выходной переменной Z ; зависимость Z от сочетаний значений X и Y определяет нечеткие правила. Описание соответствующего нечеткого аппроксиматора и результаты его функционирования показаны на рис. 4.

Для достижения общности при демонстрации предлагаемого авторами принципа в рассмотренном примере не использовались аналитические зависимости, описывающие поверхность турбинной лопатки конкретной модели: при подстановке соответствующих аналитических выражений и их параметров можно осуществить аппроксимацию поверхности любых необходимых типов лопаток.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предлагаемые подходы к построению систем управления исполнитель-

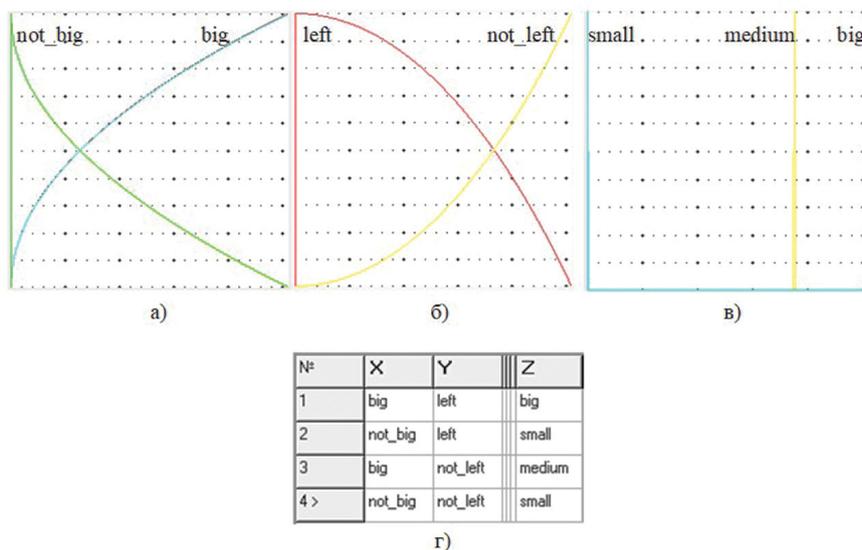


Рис. 4. Пример нечеткого аппроксиматора: термы переменной X (а), термы переменной Y (б), термы переменной Z (в), база правил $Z := \text{fuzzy}(X, Y)$ (г), поверхность-прототип (д, изображение из открытых интернет-источников), результат аппроксимации (е)

ными элементами ЧПУ-оборудования, помимо увеличения потенциала точности, позволяют также снизить время на подготовку управляющих программ и прогнозируемое время механообработки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Додонов В. В. Повышение точности обработки на станках с числовым программным управлением // Инженерный журнал: наука и инновации. – 2016. – № 6. – С. 5.
2. Бушуев В. В. Повышение точности станков с ЧПУ для контурной обработки за счет улучшения динамических характеристик электромеханических приводов подачи. – Дисс. на соискание уч. степени канд. техн. наук – М.: Изд. МГТУ, 2017. – 183 с.
3. Никуличев И. В. Повышение точности 5-координатных многоцелевых станков с ЧПУ на основе разработанных методов измерения геометрических отклонений. – Дисс. на соискание уч. степени канд. техн. наук. – М.: Изд. МГТУ, 2013. – 132 с.
4. Каштальян И. А. Программирование и наладка станков с числовым программным управлением. – Минск: Изд-во БНТУ, 2015. – 135 с.
5. Некрасов Р. Ю., Темпел Ю. А. Концеп-

туальная модель управления геометрической точностью деталей, обрабатываемых на станках // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2019. – Т. 21. – № 3. – С. 6–16.

6. Позевалкин В. В., Поляков А. Н. Применение нейросетевых моделей для повышения точности обработки деталей на станках с ЧПУ. – Мат-лы Всерос. науч.-техн. конфер. «Инновационное и цифровое и цифровое машиностроение». – Уфа: Изд-во УГАТУ, 2021. – С. 131–135.
7. Носиров И. С. Построение автоматизированных электроприводных систем металлорежущих станков с нейронными сетями. – Дисс. на соискание уч. степени канд. техн. наук. – СПб.: Изд. СПбГЭТУ, 2019. – 113 с.
8. Ломакин Д. В., Федотов А. В. Интерполяция траектории движения при контурном управлении с использованием полинома Лагранжа. – Мат-лы IV Международ. науч.-техн. интернет-конференции «Автоматизация, мехатроника, информационные технологии». – Омск: Изд-во ОГТУ, 2014. – С. 175–179.
9. Васильев А. Е. Встраиваемые системы автоматки и вычислительной техники. Микроконтроллеры. – М.: Горячая линия–Телеком, 2018. – 590 с. ■

В условиях современной морской деятельности актуальной задачей является развитие методов обнаружения подводных объектов различной природы: рыбных косяков, подводных аппаратов, пловцов и т.п. Эти методы могут служить основой для совершенствования технологий защиты судов, акваторий, береговых сооружений от несанкционированного проникновения. Физическая основа таких методов – решения задач рассеяния звука на телах различных форм и параметров. Строгие аналитические методы решения подобных задач возможны лишь для тел простейших геометрических форм и связаны со значительными математическими и вычислительными трудностями. Реальные рассеиватели имеют в общем случае неаналитическую форму поверхности, которая не может быть отнесена к разряду координатных систем с разделяющимися переменными в уравнении Гельмгольца. Для таких объектов целесообразно применение численных подходов, позволяющих строить приближенные решения с учетом реальных свойств материалов тел и окружающей среды.

При решении задач дифракции на упругих телах значительное внимание уделяется тонким упругим цилиндрическим оболочкам как эффективным рассеивателям звука в диапазонах низких и средних звуковых частот [1 – 5]. Резонансы отраженных сигналов в этом случае определяются частотой падающей звуковой волны, параметрами жидкой среды и характеристиками объекта. Результаты исследования влияния этих параметров на характеристики отраженного сигнала могут быть использованы, в частности, для идентификации конкретных объектов.

В данной статье представлены возможности применения двух из указанных методов (функций Грина и граничных элементов) для рассеивателя неаналитической формы в виде кругового цилиндра (сплошного или полого) конечной длины L , ограниченного по торцам полусферами радиуса a (рис. 1). Такая форма поверхности является весьма типичной для многих реальных технических объектов, в частности, подводных аппаратов.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФУНКЦИЙ ГРИНА

В работах [6, 7] описан метод функций Грина, который был разработан применительно к решению задач дифракции на телах со смешанными граничными условиями, и впервые применен в данном исследовании к изучению рассеяния звука телами неаналитической формы.

О ВОЗМОЖНОСТЯХ ЧИСЛЕННОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ОТРАЖЕНИЯ ЗВУКА ОБЪЕКТАМИ КОНЕЧНЫХ РАЗМЕРОВ

С. Л. Ильменков, д-р техн. наук, проф. СПбГМТУ, контакт. тел. +7 (921) 963 9365, sl_ilmenkov@mail.ru

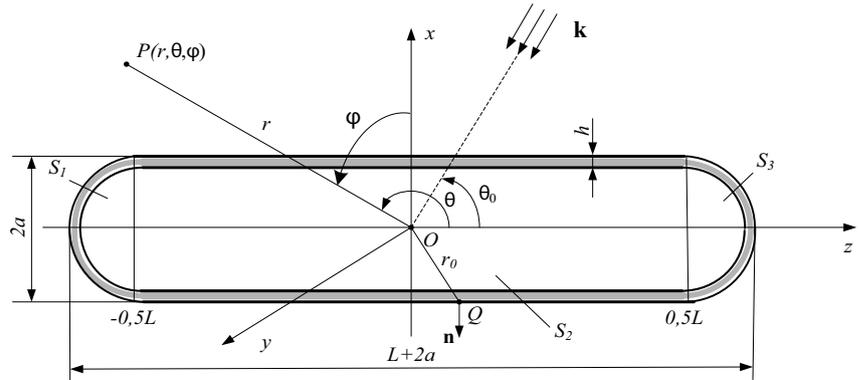


Рис. 1. Рассеиватель в форме конечного цилиндра с полусферами по торцам

Алгоритм расчета требует знания амплитудно-фазового распределения звукового давления и нормальной составляющей колебательной скорости на некоторой замкнутой поверхности интегрирования S , состоящей в данном случае из боковой поверхности цилиндра S_2 и поверхностей полусфер S_1 и S_3 (см. рис. 1):

$$p_s(P) = \frac{-1}{4\pi} \int_S [p_s(Q) \frac{\partial}{\partial n} G(P, Q) - \leftarrow \frac{\partial p_s(Q)}{\partial n} G(P, Q)] dS, \quad (1)$$

где $p_s(P)$ – рассеянное телом звуковое давление, P – точка наблюдения, имеющая координаты r, θ, φ , Q – точка на поверхности S ; $p_s(Q)$ – звуковое давление в точке Q ; $G(P, Q)$ – функция Грина свободного пространства, удовлетворяющая неоднородному уравнению Гельмгольца, $G(P, Q) = \exp(ikR)/R$; $k = 2\pi/\lambda$ – волновое число, λ – длина звуковой волны в жидкой среде, R – расстояние между точками P и Q .

Учитывая относительный произвол в выборе функции Грина, можно значительно упростить выражение (1) для частных случаев акустически «жесткой» и «мягкой» поверхностей:

$$p(P) = \frac{1}{4\pi} \int_S p(P) \frac{dG^{(1)}(P, Q)}{dn} dS; \quad (2)$$

$$p(P) = \frac{1}{4\pi} \int_S \frac{dp(Q)}{dn} G^{(2)}(P, Q) dS, \quad (3)$$

где $G^{(1)}$ – функция Грина для однородного граничного условия Дирихле; $G^{(2)}$ – функция Грина для однородного граничного условия Неймана.

Выражения для функций Грина и их производных по нормалам, представленные в виде разложений по собственным

функциям соответствующих систем координат, приведены в [8, 9].

В безграничной жидкости звуковое давление p_s в гармонической волне круговой частоты ω , рассеянное телом конечных размеров в дальнем поле (зоне Фраунгофера), представляется в виде [1, 3]: $p_s(r; \theta; \varphi) = (A/r) D(\theta, \varphi) \exp[-i(\omega t - kr_1)]$, (4)

где r, θ, φ – сферические координаты точки наблюдения; $\omega = 2\pi/f$; f – частота, Гц; $D(\theta, \varphi)$ – угловая характеристика рассеяния; A – амплитудный множитель.

Для вычисления интегралов (2), (3) на поверхности S используются квадратурные формулы, при этом большое значение приобретает обоснованный выбор шага дискретизации Δ поверхности S в осевом и окружном направлениях, определяемого величиной допустимой погрешности расчетов дальнего поля. Например, по полученным оценкам [8, 9], при $\Delta \leq 0,5\lambda$ (условие исключения добавочных максимумов в угловой характеристике) величина погрешности расчетов δ составляет ~3%, а для ее снижения до уровня ~1% требуется уменьшение Δ в среднем до ~0,1 λ .

Для проведения расчетов была разработана специальная программа, основанная на квадратурной формуле, позволяющей аппроксимировать подынтегральную функцию полиномом 8-й степени с соответствующими узловыми коэффициентами на все более узком интервале изменения ее аргумента [8, 9]. Такой подход позволил в зависимости от степени осцилляции подынтегрального выражения выбирать необходимый шаг интегрирования автоматически и получать значения интегралов (2), (3) с заданной точностью.

Как показал расчетный анализ тестовой задачи, для одночленных формул (2) и (3): $\delta \approx 0,5$ дБ при $ka \leq 1,0$ в диапазоне в диапазоне $\theta = 15^\circ \dots 90^\circ$ и при $ka \leq 5,0$ в диапазоне $\theta = 75^\circ \dots 90^\circ$. При $\theta = 0^\circ \dots 15^\circ$ величина δ увеличивается с ростом ka , составляя: 3–4 дБ для акустически «мягкой» и 1–2 дБ для акустически «жесткой» поверхности. Применение двучленной формулы (1) дает точное решение для всех углов θ и значений ka .

ПРИМЕНЕНИЕ КОНЦЕПЦИИ ГРАНИЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Рассмотрим применение концепции метода граничных элементов (МГЭ) для вычисления характеристик рассеяния звука упругой конечной цилиндрической оболочкой (см. рис. 1).

Численная реализация задачи с помощью МГЭ базируется на дискретизации граничной поверхности, представляемой совокупностью элементарных криволинейных площадок (рис. 2):

Использование концепции формирования изопараметрических элементов позволяет преобразовать узловые координаты любой точки исходных элементов $x_{i\alpha}$ в соответствующие им криволинейные координаты x_i ($i = 1, 2, 3$). При этом геометрия элемента (глобальные координаты) и основные переменные (перемещения) задаются с помощью одинаковых интерполирующих соотношений (функций формы) вида [10–12]:

$$x_i(\xi) = \sum_{\alpha=1}^n N_{\alpha}(\xi) x_{i\alpha}, \quad (5)$$

где (ξ) – локальные координаты узла; $N_{\alpha}(\xi)$ – функция формы в виде полинома второго порядка; n – число узлов элемента; $a = 1, 2, \dots, 6$ или 8.

Переход от идеальных граничных условий на поверхности рассеивателя к условиям гидроупругого контакта добавляет к интегральному уравнению Кирхгофа (1) интегральное уравнение для вектора смещения \mathbf{u} и граничные условия на поверхности S .

Вектор смещения упругой среды при гармонической зависимости от времени подчиняется уравнению движения Ламе [1, 3]:

$$(\lambda + \mu) \text{grad div } \mathbf{u} + \mu \Delta \mathbf{u} = -\omega^2 \rho \mathbf{u}, \quad (6)$$

где λ и μ – постоянные Ламе; ρ – плотность материала рассеивателя.

В соответствии с теоремой Гельмгольца вектор смещения можно представить в виде

$$\mathbf{u} = -\text{grad } \Phi + \text{rot } \Psi, \quad (7)$$

где Φ – скалярный, Ψ – векторный потенциалы, которые подчиняются соответственно скалярному и векторному уравнениям Гельмгольца:

$$\Delta \Phi + k_1^2 \Phi = 0; \quad (8)$$

$$\Delta \Psi + k_2^2 \Psi = 0, \quad (9)$$

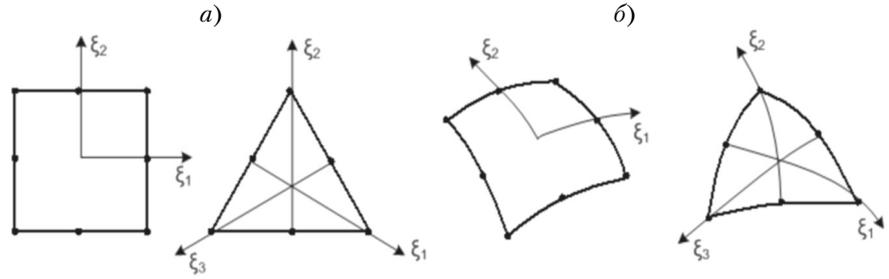


Рис. 2. Исходные (а) и соответствующие им криволинейные изопараметрические (б) граничные элементы

где $k_1 = \omega/c_1$; $k_2 = \omega/c_2$; c_1 и c_2 – скорости продольной и поперечной волн в материале рассеивателя соответственно.

Скалярный потенциал плоской монохроматической волны единичной амплитуды, падающей из жидкости на тело, имеет вид

$$\Phi_i = -\exp[-i(\omega t - kr)]. \quad (10)$$

Соответственно, звуковое давление в падающей волне будет равно

$$p_i = -i\omega\rho_0\Phi_i, \quad (11)$$

где $k = \omega/c_0$; ρ_0 и c_0 – плотность и скорость звука в жидкости соответственно.

Потенциал рассеянной волны Φ_s , а также потенциалы Φ и Ψ выбираются в форме, соответствующей плоской волне и содержащей произвольные постоянные, определяемые из граничных условий.

В данном случае все основные физические переменные являются функциями только двух координат, поэтому векторное уравнение Гельмгольца (9) переходит в скалярное уравнение для единственной отличной от нуля компоненты векторного потенциала:

$$\Delta \Psi + k_2^2 \Psi = 0. \quad (12)$$

Вектор смещения также будет иметь две компоненты. Для цилиндрической части рассеивателя S_2 они будут иметь вид

$$u_r = -\frac{\partial \Phi}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial \Psi}{\partial \varphi}; \quad u_\varphi = -\frac{1}{r} \frac{\partial \Phi}{\partial \varphi} - \frac{\partial \Psi}{\partial r}. \quad (13)$$

Компоненты деформации выражаются через компоненты вектора смещения следующим образом:

$$\varepsilon_r = \frac{\partial u_r}{\partial r}; \quad \varepsilon_\varphi = \frac{1}{r} \frac{\partial u_\varphi}{\partial \varphi} + \frac{u_r}{r}; \quad (14)$$

$\gamma_{r\varphi} = \frac{1}{r} \frac{\partial u_r}{\partial \varphi} + \frac{\partial u_\varphi}{\partial r} - \frac{u_\varphi}{r}$. Аналогично (12), (13) можно получить компоненты вектора смещения и деформации для поверхностей S_1, S_3 .

С помощью соотношений обобщенного закона Гука для изотропной среды можно выразить упругие напряжения на фрагментах поверхности S через компоненты деформации, а затем и через потенциалы Φ и Ψ [1–3].

В точках поверхности S должны выполняться следующие граничные условия:

1) нормальная (радиальная) компонента вектора смещения u_r непрерывна и связана с нормальной производ-

ной дифрагированного давления p_Σ (где $p_\Sigma = p_i + p_s$):

$$u_r = (1/\rho_0\omega^2) \left(\frac{\partial p_\Sigma}{\partial n} \right)_{r=a}, \quad (15)$$

2) нормальное напряжение равно акустическому давлению в жидкости:

$$\sigma_r = p_{\Sigma_{\text{жид}}} ; \quad (16)$$

3) касательные напряжения отсутствуют:

$$\tau_{r\varphi} = \tau_{r\theta} = 0_{r=a}. \quad (17)$$

Для упругой оболочки добавляются внутренняя граница (с заполнителем или вакуумом внутри) и соответственно появляются дополнительные граничные условия:

4) нормальное напряжение на внутренней поверхности оболочки либо отсутствует (полая оболочка), либо равно звуковому давлению газа (газонаполненная оболочка);

5) отсутствие касательного напряжения на внутренней поверхности оболочки.

Подставляя соотношения для компонент вектора смещения и упругих напряжений в граничные условия, получаем для каждой точки поверхности S алгебраические системы уравнений для нахождения неизвестных коэффициентов в выражениях для потенциалов Φ_s, Φ и Ψ . Сами неизвестные коэффициенты отыскиваются с помощью отношения определителей по правилу Крамера, что позволяет затем найти распределения $p_s(Q)$ и u_r в узлах граничных элементов (точках Q) на поверхности S .

Вычисление рассеянного звукового давления в жидкой среде производится на основании интеграла Кирхгофа путем численного интегрирования по квадратурным формулам, с учетом соотношения:

$$p_s - \rho\omega^2\Phi_s. \quad (18)$$

Результаты расчета характеристик рассеяния неаналитического тела (см. рис. 1) в плоскости XOZ при $\Theta_0 = 90^\circ$ для волновых размеров $ka = 0,3; 0,5; 1,0$ (при $L/a = 20$) показаны на рис. 3. Кривые изображены в разных масштабах, а значения $D(\theta)$ выражены через величины эквивалентных радиусов: $R_{\text{экв}} = 2|D(\theta)|$. Кривая 1 (расчет по методу функций Грина), относится к жесткому рассеивателю, кривые 2 и 3 (расчет с использованием МГЭ) – соответственно к стальному и резиновому рассеивателям.

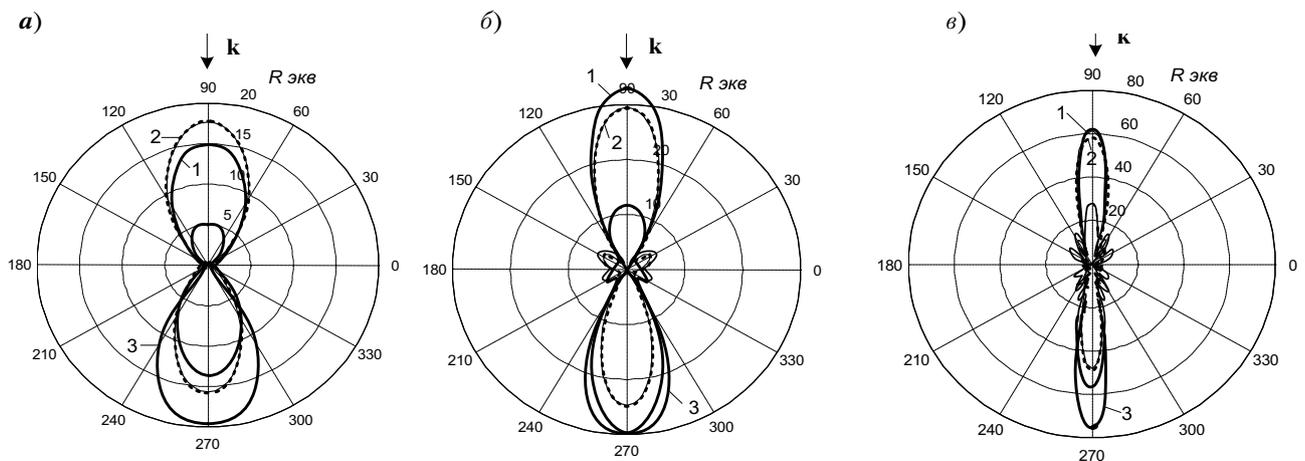


Рис. 3. Модули угловых характеристик неаналитического рассеивателя $R_{экв}$: а – при $ka = 0,3$; б – при $ka = 0,5$; в – при $ka = 1,0$ 1 – жесткого; 2 – стального; 3 – резинового

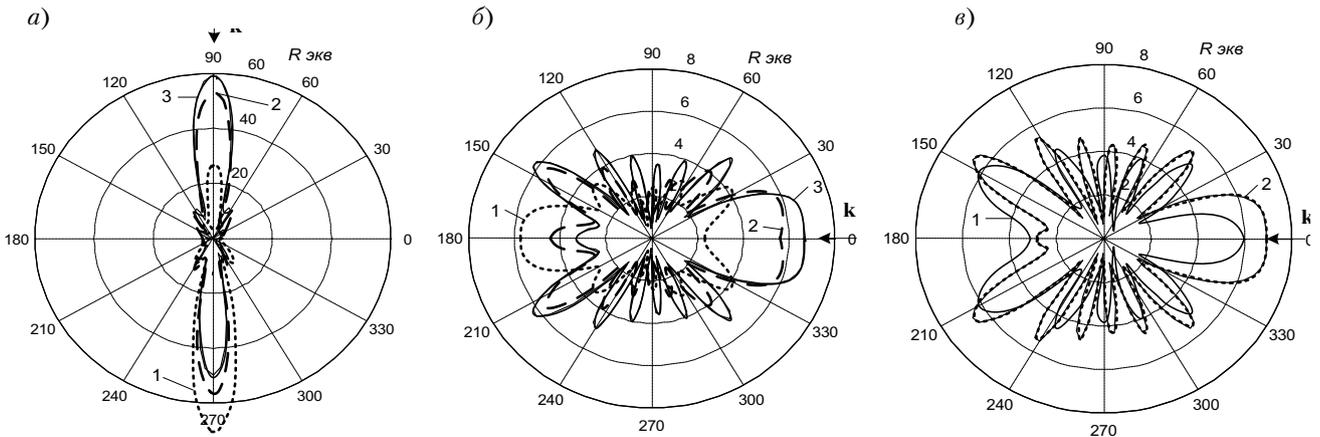


Рис. 4. Модули угловых характеристик рассеивателей неаналитической формы при $ka = 1,0$: а – стальной оболочки: 1 – $kh = 0,02$; 2 – $kh = 0,04$; 3 – $kh = 0,06$ при $\Theta_0 = 90^\circ$; б – стальной оболочки: 1 – $kh = 0,01$; 2 – $kh = 0,05$; 3 – $kh = 0,15$ при $\Theta_0 = 0^\circ$; в – сплошного: 1 – жесткого (метод функций Грина), 2 – стального (МТЭ) при $\Theta_0 = 0^\circ$

Характеристики стальной оболочки рассматриваемой неаналитической формы при $ka = 1,0$ для угла локации $\Theta_0 = 90^\circ$ и волновых толщин $kh = 0,02$ (кривая 1), $0,04$ (кривая 2) и $0,06$ (кривая 3) изображены на рис. 4, а. Анализ представленных результатов показывает, что с ростом kh угловая характеристика стальной оболочки становится близкой к характеристике сплошного стального рассеивателя (см. рис. 3, в). Аналогичная закономерность наблюдается и для $\Theta_0 = 0^\circ$ (рис. 4, б), где кривая 1 соответствует $kh = 0,01$, кривая 2 – $kh = 0,05$, кривая 3 – $kh = 0,15$, причем последняя также оказывается близка к характеристике сплошного стального тела (кривая 2 на рис. 4, в). Кривая 1 на рис. 4, в получена в работе [8] по методу функций Грина для жесткого тела.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты выполненных в данной статье расчетов характеристик рассеяния для тел с неаналитической формой поверхности демонстрируют свою эффективность и приемлемую для практики точность разработанного численного алгоритма. Дальнейшее развитие

и совершенствование рассматриваемого подхода может происходить как в направлении расширения частотного диапазона исследований в сторону более высоких значений волновых размеров, так и применительно к более сложным упругим структурам и оболочечным конструкциям.

ЛИТЕРАТУРА

1. Клещев А.А. Гидроакустические рассеиватели. – СПб.: Прима, 2012. – 268 с.
2. Клещев А.А. Резонансное рассеяние звука на упругих сферических телах и оболочках // Акустический журнал. – 2014. – Т. 60. – № 3. – С. 253 – 261.
3. Шендеров Е.И. Излучение и рассеяние звука. – Л.: Судостроение, 1989. – 304 с.
4. Ильменков С.Л., Переселков С.А., Рыбачев В.И., Ладыхин Н.В. Точный метод расчета характеристик рассеяния звука упругой цилиндрической оболочкой с жидким наполнителем // Вестник Воронежского государственного университета. – Сер.: Физика. Математика. – 2023. – № 4. – С. 20–29.
5. Ильменков С.Л., Переселков С.А., Грачев В.И., Ладыхин Н.В. Отражение звука от упругой конечной цилиндрической оболочки различной относительной длины // РЭНСИТ: Радиоэлектроника. Наносистемы. Информационные технологии. – 2023. – № 15(4). – С.425–432.

6. Клещев А.А. О точности метода функций Грина. – Труды ЛКИ: Вопросы акустики судов и Мирового океана, 1984, с.19–24.
7. Клещев А.А. Дифракция звука на телах со смешанными граничными условиями // Акустический журнал. – 1974. – Т. 20. – № 4. – С.632–634.
8. Ильменков С.Л., Клещев А.А., Клименков А.С. Метод функций Грина в задаче дифракции звука на упругой оболочке неаналитической формы // Акустический журнал. – 2014. – Vol. 60. – №5. – С. 579–586.
9. Ильменков С.Л. Приближенный метод расчета угловых характеристик рассеяния звука объектами неаналитических форм с использованием функций Грина // Судостроение. – 2021. – №1. – С.55–58.
10. Ильменков С.Л. Решение задачи дифракции звука на упругом теле неаналитической формы с помощью метода граничных элементов // Морские интеллектуальные технологии. – 2015. – №1(27). – Т.1. – С.30–36.
11. Su J.-H., Varadan V.V., Varadan V.K., Flax L. Acoustic wave scattering by a finite elastic cylinder in water // J. A. S. A. – 1980. – V.68. – № . – P.685–691.
12. Numrich S.K., Varadan V.V., Varadan V.K. Scattering of acoustic waves by a finite elastic cylinder immersed in water // J. A. S. A. – 1981. – Vol.70. – №5. – P.1407–1411. ■

Анализ особенностей протекания предшествующих индустриальных революций [1], их движущих сил и вызванных ими последствий позволяет более осмысленно подойти к организации и управлению процессами дальнейшего научно-технического и технологического развития России в период наступающей новой, четвертой, индустриальной эпохи.

Первая индустриальная революция (рис. 1) началась с развития теплофизики и механики, совершенствования образовательных учреждений, изобретения паровых двигателей, механизации производства и создания транспорта на паровой тяге (пароходов, паровозов и железных дорог).

Второй индустриальной революции дали старт научные достижения в области электричества и магнетизма, соответствующая модернизация учебных программ и лабораторий, разработки технологий электропривода и электрической и радиосвязи. Все это привело к появлению электрического промышленного оборудования, конвейерного производства, электротранспорта и широкого перечня электрифицированных бытовых изделий.

Третья индустриальная революция началась с научных достижений в электронике, физике полупроводников, кибернетике и вычислительной технике. Широкое освоение новых достижений и технологий потребовало не только проведения глубокой модернизации учебных программ и лабораторий, но и внедрения компьютерных технологий в процессы обучения. Степень успешнос-

НА ПУТИ К ПЕДАГОГИЧЕСКОЙ ПАРАДИГМЕ 4.0, ИЛИ ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В СИСТЕМЕ ОБРАЗОВАНИЯ РФ

В.И. Комашинский, д-р техн. наук,
вед. инженер отдела систем управления и автоматики АО «ПКБ «РИО»,
контакт. тел. (812) 313 6181, + 7 (952) 207 7070,
rio@pkb-rio.com, kama54@rambler.ru

ти компьютеризации науки и образовательной сферы оказали существенное влияние на темпы автоматизации производственных процессов, выпуск высокотехнологичных компьютеризированных бытовых и промышленных изделий, автоматизированных транспортных систем – наземных, воздушных, морских и космических.

Несколько лет тому назад стартовала *четвертая индустриальная революция* (см. рис. 1), ее двигателями стали новейшие научные достижения в области нейронауки, нечеткой логики, машинного обучения и искусственного интеллекта. В результате начались процессы интеллектуализации всех сфер жизни и деятельности современного общества, это требует проведения существенных изменений в образовательной сфере, имеется в виду модернизация учебных программ (например, введение таких учебных дисциплин, как нечеткие исчисления, нейроматематика, математические основы искусственного интеллекта (ИИ) и др., а также разработка новых (основанных

на применении машинного интеллекта) технологий обучения.

Изменения, которые происходили в индустрии на протяжении первых трех индустриальных революций и которые происходят сейчас в начале четвертой, протекали в виде инновационных циклов, берущих свое начало в сфере науки и в виде новых научно-технических достижений. Последние затем переходили в область ориентированного на инновации образования, и только потом опережающе подготовленные инженерно-технические кадры воплощали новые знания в новой индустрии [2]. Другого пути индустриального и экономического развития, видимо, нет и быть не может.

ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ КОНТЕКСТ ЧЕТВЕРТОЙ ИНДУСТРИАЛЬНОЙ ЭПОХИ

Ретроспективно-перспективный анализ индустриальных преобразований [3–6] за последние 200 лет показывает, что каждая индустриальная эпоха

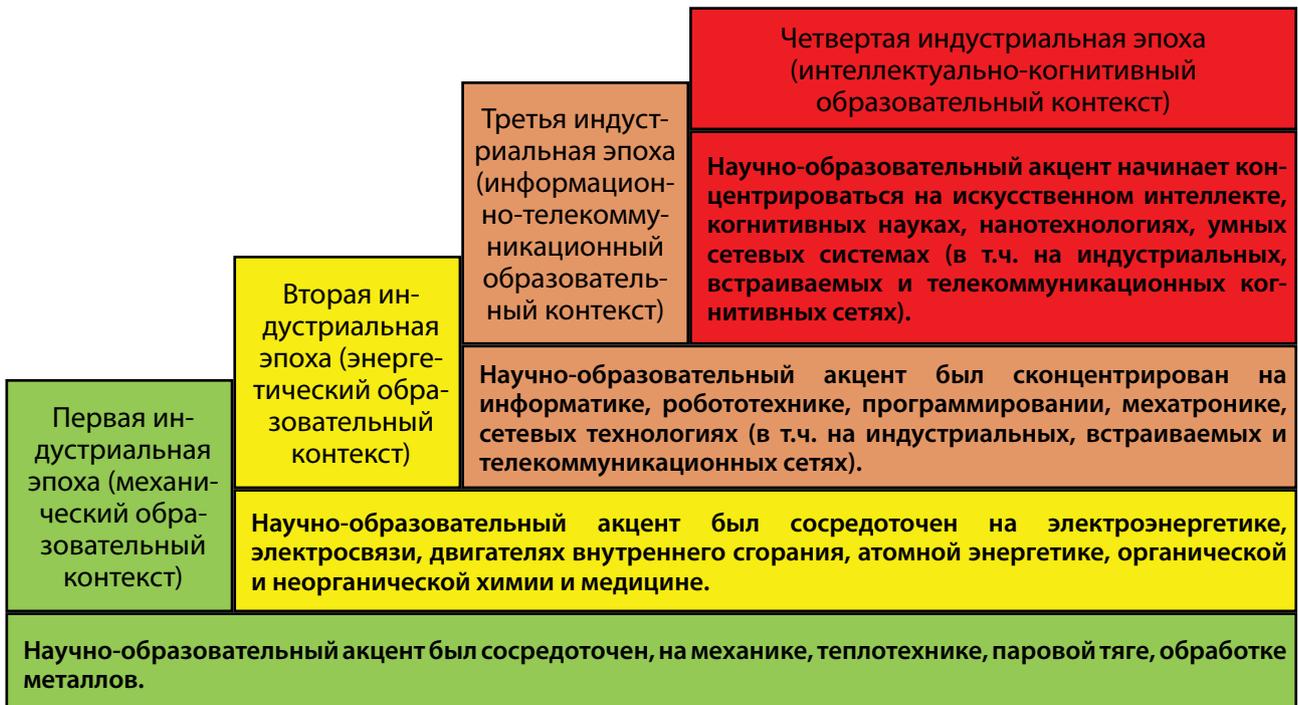


Рис. 1. Индустриальные революции и их особенности

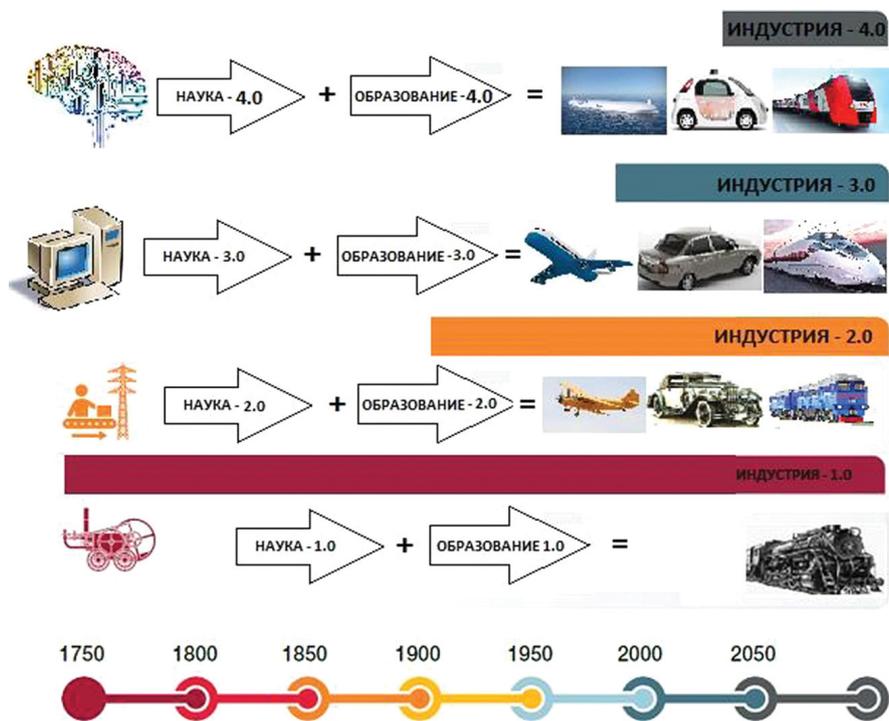


Рис. 2. Ковэволюция науки, образования и технологий

порождала свои педагогические акценты и парадигмы.

Наука и образование неразделимы, наука фактически вырастает из образования, и новые научные открытия появляются в тот момент, когда интерес к знаниям превышает возможности существующих учебников и учебных заведений. Интеграционные процессы науки и образования по мере развития общества усиливаются, что является одним из важнейших факторов технологического развития. Более того, существует и обратная связь между наукой, образованием и индустриальным развитием, которая проявляется в совершенствовании образовательной материально-технической базы и основанных на ней образовательных технологий (рис. 2).

ПЕДАГОГИЧЕСКАЯ ПАРАДИГМА 4.0

Суть педагогической парадигмы 4.0 заключается в объединении обучаемых, преподавателей и ИИ (рис. 3). Архитектуру педагогической парадигмы 4.0 можно представить в виде пятиуровневой пирамиды, первый уровень включает педагогические и учебные данные (рис. 3), которые на втором уровне преобразуются в педагогическую и учебную информацию, а на третьем уровне используется в процессе обучения (с преподавателем, с применением искусственного интеллекта или в процессе совместной работы преподавателя и ИИ). В результате обучения ученики приобретают новые знания (четвертый уровень), которые являются основой для принятия эффективных практических решений и оптимального их воплощения (пятый уровень).

Педагогические данные формируются на основе сбора персональных данных учеников, их дополнительного тестирования и различных других источников. Собранные материалы используются для их изучения методами интеллектуальной аналитики в интересах получения контекстных образовательных программ психофизических характеристик каждого обучающегося. Педагогические данные необходимы для формирования педагогических знаний о способностях каждого ученика освоения учебных материалов и формирования на основе этого соответствующих начальных траекторий обучения.

Учебные данные (учебные материалы) используются для формирования последовательности блоков учебной информации, которая будет применяться в процессе обучения учеников (см. рис. 3)



Рис. 3. Пятиуровневая архитектура педагогической парадигмы 4.0 – пирамиды

преподавателями, ИИ или ими совместно. Несмотря на кажущуюся статичность, педагогическая пирамида будет развиваться по мере того, как появляются новые идеи ИИ, ориентированные на преподавание и учеников. Более того, в процессе развития педагогической парадигмы 4.0 будет происходить взаимное обогащение классической педагогики (педагогики людей) и автономной педагогики (педагогики машин).

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ В ОБРАЗОВАНИИ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Искусственный интеллект и машинное обучение уже сегодня оказывают существенное влияние на педагогический процесс. Применение ИИ и машинного обучения ведет к существенным изменениям общепринятой педагогической методологии. ИИ является эффективным инструментом обучения, благодаря его способности адаптироваться и предлагать индивидуальные учебные программы. Инструменты, основанные на использовании машинного обучения, помогают оценить текущий уровень понимания учащимся, выявить пробелы в его знаниях и подводить к решениям в режиме реального времени. Технологии ИИ также могут выявлять области, в которых численность и подготовка учеников не соответствуют возможностям преподавателей, и создавать такие программы обучения, которые позволяют оптимизировать количество преподавателей и учащихся.

К новым возможностям, которые открывает применение в образовательной сфере ИИ и машинного обучения, могут быть отнесены следующие:

- прогнозирование успеваемости учащихся: основное преимущество машинного обучения – возможность прогнозировать успеваемость учащихся. «Изучая» каждого ученика, технология позволят выявить сла-

- бые места и предложить эффективные инструменты обучения для каждого, такие как дополнительные учебные материалы, математические задачи или лабораторные работы;
- справедливое оценивание учащихся: машинное обучение также позволяет справедливо оценивать учащихся, устраняя человеческие предубеждения. В то время как оценивание экзаменов с несколькими вариантами ответов уже выполняет ИИ, современный генеративный ИИ также может проводить устный и письменные опросы;
- эффективная организация контента: выявляя слабые места, ИИ и машинное обучение помогают более эффективно организовывать обучающий контент. Например, после того как учащиеся освоили один блок знаний или навык, они переходят к следующему, постоянно опираясь на ранее полученные знания;
- динамичная схема обучения: после того, как машина проведет анализ успеваемости учащихся, она может предложить лучший способ изучения нового материала. Возможен также предварительный анализ имеющихся знаний учебной программы, и как только будут выявлены слабые места, ученикам поступают предложения по дальнейшей траектории обучения и новые материалы;
- прогнозирование направлений дальнейших профессиональных навыков и знаний: приложения машинного обучения для прогнозирования направлений дальнейшего развития профессиональных навыков и знаний способны отслеживать интересы, склонности и антипатии учащихся. Они имеют возможности анализировать поведение и реакции учеников и на основе проведенного анализа могут правильно прогнозировать интересующие ученика области, в которых он будет преуспевать;
- группирование учащихся и преподавателей: еще один способ, с помощью которого машинное обучение позволяет улучшить образовательный процесс, – это группирование учащихся и преподавателей в соответствии с их способностями, потребностями и доступностью;
- обеспечение непрерывности образовательного процесса: если провести анализ темпов развития науки, технологий, то нетрудно заметить возрастание скорости их изменений, другими словами, на протяжении жизни одного поколения происходит большое количество научно-технических и технологических трансформаций, что диктует необходимость

непрерывного научно-образовательного процесса, который уже сегодня может осуществляться методами машинного обучения.

ПРЕИМУЩЕСТВА И ОГРАНИЧЕНИЯ ИИ И МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Трудно не заметить, что персонализированное обучение – наиболее заметное преимущество [7–9] машинного обучения. Учащиеся могут работать над материалом, который соответствует их уникальным способностям, и переходить к более сложному учебному материалу по мере готовности. От такого подхода к обучению выигрывают не только студенты, но и учителя. Им больше не нужно составлять планы уроков, которые подходят для учащихся с разными способностями и уровнями обучения.

Преимущество машинного обучения также проявляется в автоматической непредвзятой системе оценивания. Это дает возможность для абсолютно беспристрастной оценки, на которую не могут повлиять отношения учителя с учеником. Все это экономит время учителей и дает более реалистичный обзор достижений обучаемого.

Машинное обучение также может помочь преподавателям заглянуть в будущее. Интеллектуальная аналитика данных позволяет быстро выявлять закономерности, которые показывают, в чем состоят основные слабые места обучаемых, и определять, нужна ли ему дополнительная помощь.

Основной недостаток машинного обучения заключается в том, что для обучаемых может сокращаться личное взаимодействие с учителем и с другими учениками. Это может существенно повлиять на их способность заводить друзей и хорошо адаптироваться в рабочих коллективах. При широком использовании машинного обучения может потребоваться дополнительное развитие социальных навыков. Кроме всего прочего, приобретение всего нового оборудования и программного обеспечения может также оказаться довольно дорогим, что становится одним из самых больших ограничений машинного обучения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сегодня весь мир находится на пути интеллектуализации, и в этом важную роль играют концепции ИИ и машинного обучения. В данной статье основное внимание уделено тому, как ИИ и новые технологии машинного обучения применяются в системе образования и как при этом трансформируется педагогическая парадигма. Современные технологии способны существенно повысить эффективность педагогического процесса, ка-

чество образования и эффективно развивать интеллектуальные возможности обучаемых. Искусственный интеллект и машинное обучение уже сегодня коренным образом меняют правила игры в образовательном процессе. Все это открывает много новых возможностей для повышения эффективности управления образовательным процессом, сокращения усилий и разрыва в знаниях между учениками и учителями. Уже сегодня в ряде высокотехнологичных предприятий РФ, в частности в ПКБ РИО, ведутся работы по созданию самых современных, интеллектуально-определяемых обучающих комплексов.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Комашинский В.И., Малыгин И.Г.* Информационные технологии и искусственный интеллект – основные двигатели четвертой промышленной революции (Industry 4.0) // Информационные технологии. – 2016. – Т. 22. – № 12. – С. 899–904.
2. *Малыгин И.Г., Комашинский В.И., Цыганов В.В.* От Науки 4.0 к России 4.0 – [Электронный ресурс]. URL: <https://clck.ru/W8r6f>
3. *Комашинский В.И. Михалев О.А.* Как индустрия искусственного интеллекта будет влиять на экономическое развитие России в XXI веке // Информация и космос. – 2022. – № 1. – С. 30 – 34.
4. *Комашинский В., Семин А., Рогозинский Г.* Национальная инфраструктура знаний – нужна ли она России? // Технологии и средства связи. – 2013. – № 1 (94). – С. 20–23.
5. *Комашинский В.И. Михалев О.А., Малыгин И.Г.* Предложения для концепции развития технологий искусственного интеллекта в Российской Федерации // Транспорт Российской Федерации. – 2019. – № 4 (83). – С. 8–12.
6. *Комашинский В.И.* Об особенностях развития технологий искусственного интеллекта в Вооруженных Силах Российской Федерации // Информация и космос. – 2019. – № 4. – С. 48 – 53.
7. *Ibtehal Talal Nafea.* Machine Learning in Educational Technology. – In: Machine Learning. – Rijeka, IntechOpen, 2018. – Retrieved from <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.72906>
8. *The Impact of Artificial Intelligence on Learning, Teaching and Education: Policies for the Future.* – Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/329544152>.
9. *Harshil Mavani.* Student Performance Prediction using Machine Learning by Havan Agrawal // International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT). – 2015. – March. – ISSN: 2278-0181 IJERT-V4IS030127 www.ijert.org l. 4 Issue 03.
10. *The Benefits and Limitation of Machine Learning in Education.* – Retrieved from <https://www.thetechedvocate.org/the-benefits-and-limitations-of-machine-learning-in-education/> ■

Вышедшем 18 лет тому назад научном издании – биографической энциклопедии «Судостроение России» [1], содержащей около двух тысяч персоналий, капитану 1 ранга Владимиру Николаевичу Перегудову – главному конструктору первой отечественной атомной подводной лодки, Герою Социалистического Труда отведено 37 строк. Наверное, для подобной энциклопедии это нормально, хотя почти вдвое больше места в этом фолианте отдано персоне Льва Давидовича Троцкого.

Несмотря на то, что о талантливом конструкторе и ученом, офицере, отдавшем службе в ВМФ СССР 39 лет, и его масштабных работах в подводном кораблестроении написано и опубликовано немало, внимательное изучение наиболее серьезных публикаций вызывает (особенно у профессионалов-кораблестроителей) немало вопросов. Если их свести воедино, то создается впечатление, что информация о многих весьма важных эпизодах жизни и работы Владимира Николаевича подается – без умысла или с наличием такового – неполно или искаженно.

Заинтересованному читателю можем порекомендовать опубликованные работы, вышедшие в свет к годовщинам со дня рождения В.Н. Перегудова за последние четверть века [2, 3, 4]. Некоторые интересные подробности его конструкторской деятельности освещались в 2014 г. В.А. Кучером и Р.А. Шамаковым в ведомственном издании НИИ кораблестроения и вооружения ВМФ. В опубликованном в 2022 г. биографическом исследовании В.Н. Токарева впервые с использованием материалов архивного следственного дела В.Н. Перегудова изложены обстоятельства его ареста, содержание допросов, освобождения из-под стражи и полного восстановления честного имени офицера-коммуниста.

Говоря о личности Владимира Николаевича, хочется подчеркнуть, на взгляд авторов, главное: он – корабельный инженер «от Бога», сделавший себя сам, блестяще справлявшийся с любым избранным или порученным ему делом; тяжело переживший гибель коллеги, соратника и друга детства, предательство и клевету старшего начальника и друга; разочарования от незаконченных, прерванных или переданных другим «главным» по воле начальства или «похороненных» по объективным причинам проектов, и, наконец, принявший как профессиональный вызов приказ главы государства возглавить создание небывалого – атомного – подводного носителя сверхмощного и смертоносного «чудо-оружия». И, может быть, самое главное: именно он, Главный конструктор, первым приложил все силы для того, чтобы превратить создаваемый под его руководством «корабль Армагеддона» в боевую подводную лодку.

В феврале 1927 г. молодого корабельного инженера Владимира Перегудова, только в прошлом году выпущенного из Военно-морского инженерного училища и проходившего службу ремонтным механиком линейного корабля «Октябрьская революция», снова направляют на учебу. Приказом по Военно-морским силам Рабоче-Крестьянской Красной Армии № 80 от 15 ноября 1927 г. он был зачислен слушателем кораблестроительного отдела факультета военного судостроения (объединенные кораблестроительный, машиностроительный и электротехнические факультеты) Военно-морской академии РККА по специализации «подводные лодки». Набор в том году кораблестроительного отдела выглядел так: Р.М. Бомзе, Е.П. Либель, А.К. Николаев, В.Н. Перегудов и С.Г. Турков. Пройдя трехлетний курс обучения, Перегудов выполняет дипломный проект «Эскадренная подводная лодка», по итогам защиты которого ему присваивается квалификация инженера-кораблестроителя.

МАЛОИЗВЕСТНЫЕ СТРАНИЦЫ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ УЧЕНОГО-КОРАБЛЕСТРОИТЕЛЯ ИНЖЕНЕРА-КАПИТАНА 1 РАНГА В.Н. ПЕРЕГУДОВА

*Д.Ю. Литинский, науч. сотрудник НИЦ КуВ,
Ю.В. Слесарев, канд. ист. наук, доцент, ст. науч. сотрудник НИЦ КуВ,
НИИ кораблестроения и вооружения ВМФ ВУНЦ ВМФ
«Военно-морская академия»,
контакт. тел. (812) 405 0706*



В.Н. Перегудов, 1929 г.

Профессионально подготовленного проектанта подводных лодок, во время учебы в академии сотрудничавшего в кораблестроительной секции и секции подводного плавания Научно-технического комитета (НТК) Управления ВМС РККА, там ждут, поскольку квалифицированных специалистов остро не хватает. Обращаясь к начальнику Военно-морских сил Р.А. Муклевичу с просьбой назначить В.Н. Перегудова в секцию подводного плавания, председатель НТК П.Ю. Орас писал: «До сих пор мы полностью базировались в проектировании подлодок на инженеров Балтвода (Балтийского завода – Прим.авт.). В связи с произведенными оттуда изъятиями оставшиеся инженеры перегружены. А, кроме того – ненормально опираться исключительно на инженеров промышленности, не имея своих специалистов, и даже при отсутствии перспективы их иметь» [5].

Однако, как это часто случается в военном ведомстве, назначение оказывается неожиданным: приказом Революционного Военного Совета СССР № 221 от 23 февраля 1930 г. Перегудов направлен старшим инженером аварийных доков в Кронштадтский Главвоенпорт. Через полгода все же происходит желаемое назначение: приказом РВС СССР № 684 от 13 августа он назначен инженером высшего оклада кораблестроительной секции НТК УВМС РККА. В.Н. Перегудова включают в состав направляемой в Италию комиссии под руководством начальника 2-го (Технического) управления УВМС А.К. Сивкова.

В начале сентября 1930 г. большая часть комиссии собралась в Москве. Оставшееся до выезда в Италию время исполь-

зовали для подготовки, которая велась с изучением имевшихся в распоряжении специалистов технических документов. Определили конкретные объекты изучения – заводы, корабли, порты, образцы вооружения, представлявшие наибольший интерес. Каждый специалист составил перечень вопросов в соответствии с отведенной ему тематикой. Перегудов, отвечавший за раздел «военное судостроение», наметил около тридцати вопросов по подводным лодкам, анализ которых позволяет оценить проблемы, стоявшие перед проектантами первых советских подводных кораблей. Прежде всего их интересовали применяемые итальянскими конструкторами методы расчета прочного корпуса и остойчивости подводной лодки, нормы допускаемых напряжений, практические способы снижения шумности механизмов, объемы применения в корпусных конструкциях электросварки и легких сплавов, использование гидравлических приводов в судовых устройствах [6].

В Италии каждому из членов комиссии приходилось работать весьма интенсивно. Несмотря на то, что на 5 октября был намечен день отдыха, Перегудов половину его посвятил беседе с инженером фирмы *Odero-Terni* Гросси. Из разговора, проходившего без переводчика (итальянец владел русским языком) и поэтому довольно откровенного, Владимир Николаевич узнал немало интересных деталей, которые дополнили его представления об итальянской школе подводного кораблестроения. 7 октября советские специалисты изучали в Специи подводные лодки «*Balilla*» и «*Manara*» [7].

Для наших проектантов было важно получить подтверждение того, что в нагрузке масс находившихся в строю и проектировавшихся итальянских подводных лодок корпусные конструкции занимали 40–42 %, а удельная масса главных механизмов составляла 23–25 % [8].

По возвращении из Италии (в декабре 1931 г.) В.Н. Перегудов в течение четырех месяцев работал в составе комиссии по приему головной подводной лодки 1-й серии Д-1 («Декабрист»). В личном деле Владимира Николаевича появляется запись: «*Особая склонность – конструкторская и исследовательская работа. Является одним из ведущих работников по подводному кораблестроению*» [9].

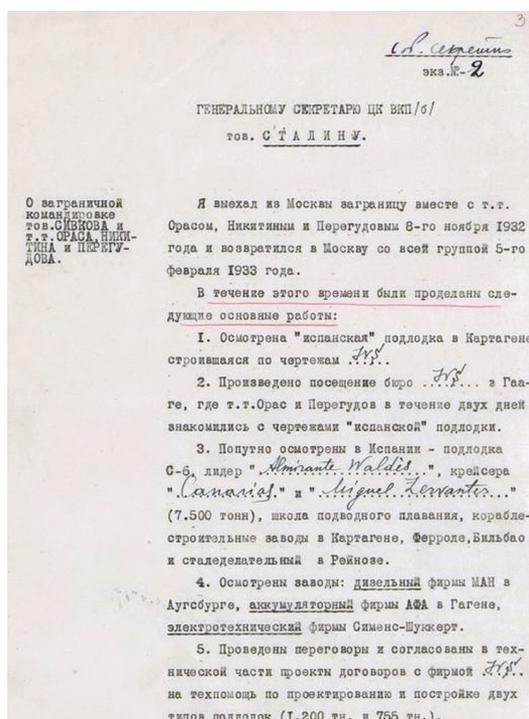
В июле 1932 г. его назначают старшим инженером секции подводного плавания (вскоре переименованной в секцию проектирования подводных лодок) в только что созданном Научно-исследовательском институте военного кораблестроения (НИИВК). Здесь уже служат окончившие Военно-морскую академию вместе с ним Роберт Бомзе и Сергей Турков – друг детства Владимира Перегудова.

Осенью того же года по решению государственного руководства для выяснения возможностей заключения соглашений о предоставлении технической помощи в проектировании и строительстве подводных лодок специальную комиссию направляют в Германию. Главную ее задачу народный комиссар по военным и морским делам К.Е. Ворошилов формулирует так: «*Самым тщательным образом обследовать конструкторские и производственные возможности фирмы «IvS»¹ и выяснить все условия приобретения проектов больших и средних быстроходных подлодок (600–700 и 1000–1200 т водоизмещения), а также технической помощи фирмы при реализации этих проектов и при развёртывании подводного судостроения на заводах СССР*».

Руководителем комиссии назначают начальника Технического управления УВМС РККА А.К. Сивкова, членами – председателя Научно-технического комитета УВМС П.Ю. Ораса, помощника управляющего трестом «Союзверфь» по технической части В.А. Никитина, корабельных инженеров В.Н. Перегудова, С.Г. Туркова, З.А. Дерибин, А.И. Зельтинга, В.Ф. Критского и А.Г. Соколова.

¹ По условиям Версальского договора Германии запрещались работы по воссозданию подводного флота, поэтому конструкторское бюро *Ingenieurkontor vor Schiffbau* для работы немецких специалистов организовали в Гааге.

В Германию группа прибыла 9 ноября, а 22 ноября представители IvS получили проекты тактико-технических заданий на подводные лодки. После работы в Голландии в конструкторском бюро IvS 8 января 1933 г. П.Ю. Орас и В.Н. Перегудов осмотрели на верфи в Кадисе строящуюся для Турции по проекту *Deschimag* подводную лодку Е-1.



Первый лист доклада начальника Технического управления УВМС РККА А.К. Сивкова Сталину. РГАСПИ. Ф. 558. Оп. 11. Д. 432. Л. 3



Подводная лодка Е-1 в сухом доке. Кадис, 1933 г.

После подписания договора между «Союзверфью» и Deschimag делегация советских специалистов (УВМС и ЦКБС-2) в июле 1933 г. работала в Бремене и на испытаниях Е-1 в Картахене. В.Н. Перегудов выходил на подводной лодке в море.

Постановлением Комитета обороны при Совете Народных Комиссаров СССР от 28 ноября 1933 г. «Об иностранной технической помощи по постройке подводной лодки типа «Е-1» [10] наркому тяжелой промышленности СССР Г.К. Орджоникидзе предписывалось продолжить выполнение договора по оказанию технической помощи с фирмой *Deschimag*. В проектном бюро *Deschimag* в г. Бремене с 7 сентября 1933 г. по 15 марта 1934 г. работали шестеро советских специалистов: В.Н. Перегудов, С.Г. Турков, В.Ф. Критский, З.А. Дерибин, А.Г. Соколов и В.В. Перловский. Общее руководство работой группы осуществляли Б.М. Малинин (ЦКБС-2) и П.Г. Гойникс (Главморпром), а трое опытных конструкторов фирмы перерабатывали чертежи.

По приказу Главморпрома от 4 апреля 1934 г. из состава ЦКБС-2 для разработки проекта и выпуска рабочих чертежей подводной лодки, которая получит наименование «IX серия» и тип «Н», временно выделили Специальное КБ. Его руководителем был назначен С.Г. Турков, помощниками по кораблестроительной, механической и электротехнической части – В.Н. Перегудов, В.Ф. Критский и Д.В. Судеревский.



В.Н. Перегудов в конструкторском бюро Deschimag, Бремен, 1934 г.

Решение о серийной постройке подводных лодок IX серии на Балтийском заводе было принято 4 августа 1934 г., головной лодке (зав. № 266) присвоили наименование Н-1. Ее закладка состоялась 25 декабря того же года. 31 декабря заложили Н-2, 25 апреля 1935 г. – Н-3.

В НИИВК на должность начальника секции Перегудов возвращается в мае 1935 г., а в апреле следующего года он становится начальником отдела проектирования подводных лодок. Основное время его работы занимает наблюдение за проектированием подводных лодок в проектно-конструкторских организациях промышленности.

В течение четырех месяцев 1936 г. Владимир Николаевич тяжело болел.

Все описанное выше с той или иной степенью подробности известно и зафиксировано в архивных документах. А вот следующая заграничная командировка корабельного инженера В.Н. Перегудова – точнее, ее результаты – пока не нашли документального подтверждения.

В июне 1936 г. американский конструктор подводных лодок С. Лэйк обратился через предпринимателя российского происхождения С. Карпа в «Амторг» с письмом, в котором предлагал предоставить «материалы по улучшению, которые можно внести в подводные лодки, и другие соображения, которые могут представлять интерес для советского Правительства». Письмо было передано К.Е. Ворошилову. Главное управление судостроительной промышленности наркомтяжпрома и Управление ВМС из предложенного Лэйком посчитали заслуживающим внимания проект «подводной лодки особого типа, усовершенствованной для плавания на Севере во льдах и подо льдом». Нарком внешней торговли СССР А.П. Розенгольц вышел с обращением к Сталину, в котором писал: «Ввиду того, что конструктор не может приехать в СССР, он согласен, чтобы к нему в Америку приехали наши специалисты для работы под его руководством. Он готов дать нам комплект планов общего устройства лодки и полный комплект рабочих чертежей. Общая стоимость этого составит примерно 200 тысяч долларов.

Орлов и Муклевич считают, что нужно послать двух специалистов: инженер-механика флота т. Критского (строящего «Немку») и корабельного инженера т. Перегудова для детального выяснения предложения и переговоров об условиях проектирования подводной лодки, а потом доложить в ЦК. Прошу утвердить» [11].

Решение о командировании В.Ф. Критского и В.Н. Перегудова на полтора месяца было принято 27 октября 1936 г. со следующей формулировкой: «В помощь «Амторгу» для уточнения коммерческих и технических условий договора с Лэйком».

Начальник ВМС РККА В.М. Орлов в письме от 3 января 1937 г. докладывал К.Е. Ворошилову: «Нами предполагалось и ранее, что проект Лэйка может оказаться неудовлетворительным.

Что касается «Электрик Боат компани», то эта крупнейшая фирма, строящая все новые подводные лодки САСШ. Получение от этой фирмы тех или иных проектов больших лодок для нас представляет интерес главным образом с точки зрения изучения отдельных новых конструкций и деталей, применяемых в американской технике подводного судостроения и могущих оказаться полезными для нас при дальнейшем строительстве подлодок большого тоннажа.

Командированные в Америку наши морские инженеры т.т. Перегудов и Критский являются солидными и хорошо знающими подводное судостроение инженерами. Они знакомы с итальянскими подводными лодками и провели проектирование и постройку подлодок типа «Н» с техпомощью немецкой фирмы «Дешимаг». Они, несомненно, сумеют извлечь пользу как из материалов, предлагаемых фирмой, так и из переговоров с инженерами и специалистами этой фирмы.

Строить же лодки по проекту фирмы «Электрик Боат компани» нецелесообразно» [12].

Поскольку отчетные документы об этой зарубежной поездке найти в архивах пока не удалось, можно сделать лишь некоторые предположения.

В этот период по решению Политбюро ЦК ВКП(б) в Северо-Американские Соединённые Штаты совершили конфиденциальные поездки руководящие работники советского кораблестроения (в частности, начальник Главморпрома В.Л. Бжезинский). Им была поставлена задача с использованием легальных и нелегальных каналов добывать техническую информацию по проектированию линейных кораблей и больших (крейсерских) подводных лодок, одновременно проводя переговоры с крупными судостроительными компаниями о возможности заказа боевых кораблей и вспомогательных судов.

Компания *Electric Boat* с 1918 по 1931 г. не получила от ВМС США ни одного контракта. В Гротоне в 1931–1934 гг. построена крейсерская (по советской классификации того времени) подводная лодка «Cuttlefish», заказанная как V-9 и при закладке получившая обозначение SC-5. Проект средней (в терминологии Лондонского морского договора 1930 г.) лодки подводным водоизмещением 1680 т с шестью 533-мм торпедными аппаратами, с двумя 9-цилиндровыми двухтактными дизелями MAN M9Vc 40/46 мощностью по 1535 л.с., которые непосредственно вращали гребные валы в надводном положении, и двумя 800-сильными гребными электродвигателями был разработан ВМС. Строитель внес в него некоторые изменения, в частности, выполнив 40 % корпусных конструкций сварными. «Cuttlefish» развивала надводный ход 17 уз, предельная глубина погружения составляла 80 м. В сентябре 1933 г. с *Electric Boat* был подписан контракт на строительство еще двух лодок – «Shark» и «Tarpon».

Первым послевоенным экспортным контрактом *Electric Boat* (общей стоимостью 3,1 млн. долл.), заключенным с правительством Перу, стало строительство подводных лодок R-1 и R-2 и плавбазы для них, осуществленное в 1925–1927 гг. Получив контракт еще на две лодки для того же заказчика, в 1927 г. фирма вела переговоры о строительстве крупной серии для правительства Японии, речь шла о цене 5 млн. долл. за корабль. Через пять лет наступил черед вести переговоры с Советским Союзом.

Летом 1933 г. компания *Electric Boat* через некоего Пола Костера, выступавшего агентом фирмы в переговорах о по-

купке и заказе подводных лодок для правительства России с 1912 г., получила запрос о возможности проектирования и постройки для СССР подводных лодок. Несмотря на то, что кроме этого посредника официально к фирме никто не обращался, вице-президент компании С. Джойнер направил в администрацию президента Ф. Рузвельта запрос, указав, что выполнение русского заказа даст возможность в случае необходимости построить для американского флота по «готовым чертежам» «мобилизационные» подводные лодки водоизмещением около 800 т. Ответ Белого дома был более чем прохладным: госдепартамент не одобрит продажу СССР любых судов американской постройки, которые можно использовать в военных целях. В 1934–1936 гг. экспортная деятельность *Electric Boat* стала предметом слушаний специальной комиссии Сената США, в опубликованных выводах которой говорилось о необходимости установления в этой области строгого правительственного контроля [13].

Интерес советских специалистов к опыту частной американской компании, проектировавшей и строившей крейсерские подводные лодки, был не случайным. В СССР после достаточно печального опыта проектирования «на ощупь» с использованием итальянского проекта «*Balilla*» больших подлодок типа «Декабрист» имелся еще менее удачный эксперимент проектирования крейсерских лодок IV серии (тип «Правда»). В отделе проектирования подводных лодок НИИВК, который в апреле 1936 г. возглавил В.Н. Перегудов, группа под руководством М.А. Рудницкого² ранее вела работу над эскизным проектом «крейсерско-эскадренной» подводной лодки большого радиуса действия с мощными дизелями для надводного хода с возможностью постановки мин из «минно-балластной цистерны»³. Получение методики расчета прочности и подтверждение работоспособности сварного прочного корпуса, как и изучение американской проектно-конструкторской документации по аналогичным лодкам было весьма желательным.

По возвращении из командировки в феврале 1937 г. Перегудов продолжил работу в НИИВК. Сразу же после доведения до военнослужащих секретного приказа Наркома обороны СССР от 12 июня 1937 г. («о военно-фашистском заговоре в РККА»), 8 июля 1937 г. член ВКП(б) Перегудов подал в партбюро НИИВК заявление, в котором излагал обстоятельства своих зарубежных командировок, упоминая о руководителях, уже объявленных «врагами народа» и ранее сделанных секретарю парторганизации центрального управления Наркомата обороны докладах [14].

Через два дня последовали аресты начальника НИИВК Н.В. Алякринского и его заместителя Р.М. Бомзе. 20 августа 1937 г. состоялось заседание партбюро совместно с активом института с повесткой «Разбор заявления т. Перегудова о связях с врагами народа». Коммунисты НИИВК вынесли решение: «*Исключить т. Перегудова из рядов ВКП(б) за тесную дружескую связь с врагами народа Бомзе и Алякринским...*».

Друга детства Владимира Николаевича, однокашника по училищу и Военно-морской академии Сергея Георгиевича Туркова, военинженера 2 ранга, уполномоченного 2-го Главного управления Наркомата оборонной промышленности

² С июля 1932 г. М.А. Рудницкий, будучи инженером-механиком по образованию, возглавлял секцию проектирования подводных лодок НИИВК. В апреле 1935 г. правительственным решением ему поручили руководство разработкой рабочих чертежей в ЦКБС-2 и строительством головной лодки XIV серии на заводе № 194, переведя его в резерв РККА и откомандировав в НКОП СССР. В результате конфликта с главным инженером ЦКБС-2 Б.А. Малининым и за серьезные просчеты в техническом проекте в июне 1937 г. М.А. Рудницкого отстранили от руководства.

³ В проекте КЭ-9 использовались некоторые идеи немецкого консультанта, известного проектанта подводных лодок Освальда Фламма (1861–1935), профессора Высшей технической школы Шарлоттенбурга.

СССР в Италии, арестовали в Москве 2 сентября 1937 г., а 5 ноября по приговору Военной коллегии Верховного суда СССР его расстреляли.

Аттестация В.Н. Перегудова от 10 июня 1938 г., составленная начальником НИИВК К.Л. Григайтисом и военным комиссаром И.В. Харитоновым: «*На должности начальника подводного отдела показал себя хорошим организатором, хорошим корабельным инженером, пользуется заслуженным авторитетом как среди работников института, так и среди работников промышленности. Имеет большой опыт в работе. Дисциплинирован и выдержан. Энергичен. С подчинёнными требователен. Политически развит и активно участвует в общественной работе института. Исключался из партии в декабре 1937 г., в настоящее время восстановлен. Заслуживает присвоения очередного воинского звания военинженер 1 ранга*» [15].

Приказом Народного комиссара ВМФ СССР № 0878 от 1 августа 1938 г. военинженер 2 ранга В.Н. Перегудов был откомандирован в распоряжение Наркомата оборонной промышленности с оставлением в кадрах РККФ за счет «1000»⁴. После передачи всего Научно-исследовательского института военного кораблестроения этому наркомату его назначили начальником 2-го отдела НИИ-45 (ныне – ФГКП «Крыловский ГНЦ»).

Десятого ноября 1938 г. с санкции прокурора СССР и наркома оборонной промышленности Владимира Николаевича арестовали. На свободе он оказался 29 марта следующего года. Предъявленных обвинений он категорически не признал, показаний ни на кого не дал. В постановлении о прекращении следственного дела и освобождении из-под стражи имелась странная формулировка: «*за недостаточностью инкриминируемого преступления...*».

Приказом заместителя наркома судостроительной промышленности СССР А.М. Редькина от 31 марта 1939 г. в связи с откомандированием из НКСП военинженера 2 ранга А.З. Каплановского, который был назначен на должность арестованного Перегудова, военинженер 1 ранга (звание было присвоено приказом наркома ВМФ № 0439 от 25 февраля 1939 г.) В.Н. Перегудов снова назначен начальником 2-го отдела НИИ-45.

С 15 января 1941 г. инженер-капитан 2 ранга (с 30 ноября 1940 г.) Перегудов переводится в ЦКБ-18 (ныне – ОАО ЦКБ МТ «Рубин») и назначается начальником корпусного отдела.

С началом Великой Отечественной войны главным для советских кораблестроителей стало оперативное удовлетворение неотложных нужд фронта. Понадобился хорошо вооруженный и защищенный речной катер для борьбы с речными переправами войск и техники противника. Предложенный В.Н. Перегудовым вариант катера – прорывателя речных переправ оказался лучшим, и к концу 1941 г. ЦКБ-18 разработало эскизный, а после его утверждения – технический пр. 170 катера с композитной конструкцией корпуса (сталь с железобетонной защитой). Артиллерийское вооружение катера (танковое 76,2-мм орудие и два пулемета ДШК) дополняла реактивная установка М-13. Технический проект корабельной «Катюши» по заданию ЦКБ-18 разработал с участием В.Н. Перегудова московский завод «Компрессор». Однако когда конструкторы выпустили первую очередь рабочих чертежей, руководство ВМФ пересмотрело решение о строительстве катеров – прорывателей речных переправ, и дальнейшие работы по пр. 170 прекратили [16].

Во время войны Владимир Николаевич вместе ЦКБ-18 и с семьей находился в эвакуации в Горьком. Приказом Наркомата судостроительной промышленности № 705–211 от 2 марта 1943 г. он был назначен главным конструктором средних подводных лодок проектов 608 и 613.

⁴ Совместное постановление ЦИК и СНК СССР от 29 января 1936 г. «О зачислении 1000 резервистов в кадры РККА с оставлением на оборонной работе в гражданских наркоматах и учреждениях».



Военинженер 1 ранга В.Н. Перегудов, 1940 г.

Заказ на проектирование лодки среднего водоизмещения (пр. 608). Управление кораблестроения вновь выдало ЦКБ-18 в 1942 г. Разработанное ранее тактико-техническое задание (ТТЗ) с учетом полученного к тому времени опыта боевых действий на море существенно устарело. Поэтому с согласия заказчика под руководством В.Н. Перегудова в ЦКБ-18 выполнили проработку подводной лодки и на ее основе предложили два варианта ТТЗ на пр.608. Расчетное водоизмещение подводных лодок составило 770 и 820 т. Оба варианта заказчик отклонил. Однако, учитывая настоятельные требования ЦКБ-18 об увеличении водоизмещения подводной лодки, ТТЗ было пересмотрено. Новый его вариант народный комиссар ВМФ адмирал Н.Г. Кузнецов утвердил в сентябре 1943 г. Заданием предусматривалось увеличение водоизмещения на 100–110 т при снижении наибольшей надводной скорости с 20 до 18 уз и повышение некоторых вытекающих из опыта войны требований.

При разработке эскизного проекта под руководством главного конструктора инженера-капитана 2 ранга В.Н. Перегудова внедрялись следующие технические нововведения и усовершенствования:

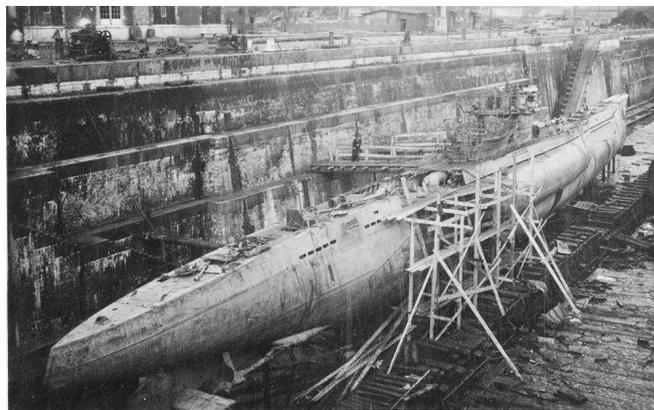
- установка спаренных 25-мм артиллерийских автоматов на открытой турели с обеспечением кругового обстрела при любом угле места цели;
- оборудование подводной лодки новейшими средствами наблюдения и связи, в том числе радиолокационной станцией, позволявшей обнаруживать и опознавать надводные и воздушные цели ночью и в условиях плохой видимости;
- установка выдвигной радиоантенны для обеспечения радиосвязи при плавании на перископной глубине;
- оборудование торпедных аппаратов устройством, позволяющим производить глубоководную торпедную стрельбу на глубине до 30 м (вместо 10 м на существовавших лодках), что увеличивало возможность осуществления бесперископной атаки;
- широкое применение гидравлики для приводов рулей, подъема перископов, открытия кингстонов цистерн главного балласта и их клапанов, вентиляции, передних крышек торпедных аппаратов и подъемника мачты радиолокации;
- оборудование подводной лодки размагничивающим устройством (против магнитных и индукционных мин);
- установка гребных электродвигателей и аккумуляторной батареи на амортизаторах;
- применение более совершенных двигателей надводного хода и рациональное их размещение в дизельном отсеке (удельная насыщенность отсека в полтора-два раза больше, чем на лодках предыдущих проектов);
- расположение основного запаса топлива в прочных цистернах вне прочного корпуса ниже ватерлинии;
- увеличение предельной глубины погружения до 120 м

- (вместо 100 м на ранее построенных подводных лодках);
- повышение мореходных качеств по сравнению с существовавшими в то время подводными лодками;
- обеспечение надводной непотопляемости с полным запасом топлива [17].

Эскизный пр. 608 в двух вариантах разработали в 1944 г. Однако из-за превышения заданного предела водоизмещения Управление кораблестроения ВМФ признало результаты неприемлемыми и предложило ЦКБ-18 обеспечить снижения водоизмещение до технически гарантированной величины не более 640 т.

30 июля 1944 г. советский противолодочный катер МО-103 потопил в Выборгском заливе немецкую подводную лодку U-250, которая принадлежала к серии VIIIС. Затонувшую на глубине 27 м лодку в октябре подняли и отбуксировали в Кронштадт. Народный комиссар ВМФ Адмирал флота Н.Г. Кузнецов 27 января 1945 г. подписал решение № 014⁵, которым до конца года потребовал представить на рассмотрение новый эскизный проект средней подводной лодки. Работы по пр. 608 прекращались, поскольку требовалось разработать новое ТТЗ на среднюю лодку (пр. 613) с увеличением ее водоизмещения до 800 т.

В феврале вышло Постановление Государственного Комитета обороны СССР «Об изучении и освоении отечественной промышленностью техники трофейной подводной лодки «U-250» [18]. Простое перечисление пунктов «Плана мероприятий по изучению и внедрению в отечественное кораблестроение немецкой техники трофейной подводной лодки U-250», утвержденное заместителем наркома ВМФ адмиралом Л.М. Галлером 9 августа 1945 г и подлежащего исполнению в течение всего трех кварталов, может занять несколько страниц.

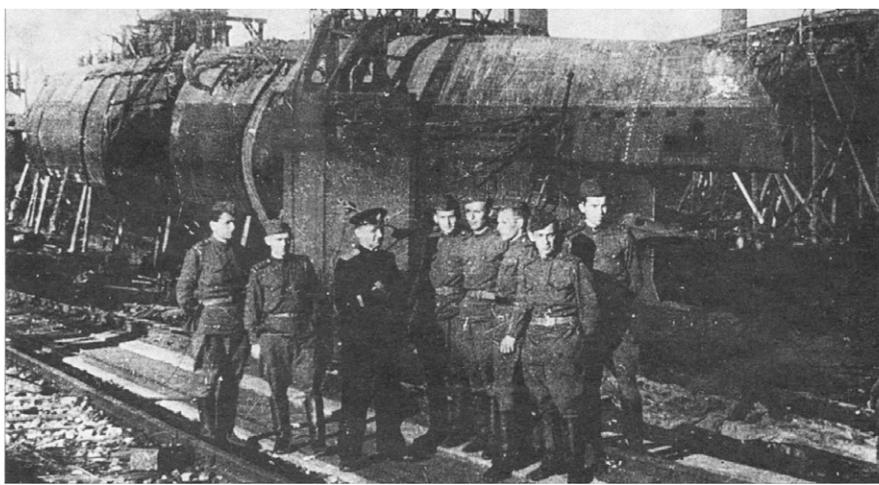


Немецкая подводная лодка U-250 в Митрофановском доке Кронштадтского Морского завода, сентябрь 1944 г.

А тем временем успешное наступление советских войск готовило отечественному подводному кораблестроению новые сюрпризы.

30 марта 1945 г. войска 2-го Белорусского фронта взяли Данциг. Расположенную в городской черте верфь *Schichau* обследовал капитан 2 ранга А.А. Булыгин, доложивший заместителю наркома ВМФ адмиралу флота Л.М. Галлеру о том, что на верфи находятся «восемь подводных лодок XXI серии с готовностью 70–80 % включая оборудование двигателей.

⁵ Ранее, 6 ноября 1944 г. нарком ВМФ издал приказ № 0824 «Об изучении германской подводной лодки «U-250» и определении дальнейшего ее использования», которым назначалась комиссия под руководством начальника отдела «Е» (проектирования подводных лодок) НТК наркомата ВМФ инженера-капитана 1 ранга М.А. Рудницкого. В приказе, в частности, говорилось: «Управлению кораблестроения ВМФ: ...3) по имеемым германским чертежам и с натурой изготовить полный комплект чертежей подлодки «U-250» со всеми необходимыми данными». В техническом архиве НИИ КиВ ВМФ сохранились чертежи общего расположения U-250.



Группа советских специалистов на судостроительном заводе в Данциге. Лето 1945 года. Слева направо: Ф.Л.Каверин, В.Я.Степанов, В.Н.Перегудов, Ю.Е.Кицын, И.Б.Михайлов, В.И.Иванов, Н.И.Николаев, Б.К.Разлетов

Кроме того, имеются отдельные секции лодок, подготовленные к сборке»⁶.

На Данцигскую верфь направили специальную группу под руководством старшего офицера НТК НКВМФ инженера-капитана 2 ранга А.И. Дубравина. В заключительной части своего подробного доклада Л.М. Галлеру он подчеркивал, что «в подводных лодках типа XX, созданных по проекту военного времени (декабрь 1943 г.), учтён опыт подводной войны. ... Подводные лодки отличаются оригинальностью конструкции и представляют большой тактический и технический интерес». Доставленные в Москву материалы работы группы включали краткое описание подводной лодки XXI серии на 30 листах, чертеж общего расположения лодки и альбом со схемами и чертежами по её системам и устройствам на 46 листах.

Цели, задачи и порядок изучения германских подводных лодок XXI серии определило Постановление ГКО СССР от 26 апреля 1945 г. № 8270 [19].

Девятнадцатого мая в Данциг выехала большая группа конструкторов-подводников. От ЦКБ-18 были командированы Г.Я. Альтшулер, Н.А. Булкин, С.А. Егоров, В.Н. Иванов, Ф.А. Каверин, Ю.Е. Кицын, Ф.С. Ковалёв, В.Я. Степанов, Б.К. Разлётков, Н.И. Николаев, П.А. Савинов, И.П. Леонов, Б.А. Лыткин и И.Б. Михайлов [20]. Возглавил эту группу инженер-капитан 1 ранга В.Н. Перегудов. Очередное звание ему было присвоено приказом народного комиссара ВМФ от 22 февраля 1944 г.

По пути в Данциг группа посетила Эльбинг, где осмотрела конвейер, предназначенный для строительства сверхмалых подлодок типа «Seehund». В Данциге осмотрели два береговых эллинга, где строились объёмные секции подводных лодок XXI серии, стапель, на котором стояла готовая к спуску лодка. При оставлении верфи были разрушены железнодорожные пути, ведущие из эллингов к воде через поворотный круг.

По приказу маршала К.К. Рокоссовского отведенное конструкторам время было ограничено. К заводу подвели плавучий док грузоподъемностью 14 000 т, на котором намеревались транспортировать трофеи. Требовалось восстановить разрушенные железнодорожные пути, сделав поворот к доку, и поставить все секции на платформы. Под руководством Б.К. Разлёткова пленные немцы, работая круглосуточно, построили переходный мост с высокого берега на док, при этом пришлось учитывать значительные суточные перепады уровня воды. На плавучий док успешно погрузили 41 секцию. Караван с доком под общим командованием капитана 1 ранга Ме-

шерского шел до Лиенаи несколько суток. Корпуса недостроенных подводных лодок спустили на воду и летом буксирами перевели в Ленинград.

Приказом войскам 2-го Белорусского фронта № 01011 от 10 сентября 1945 г. «за образцовое выполнение боевых заданий командования на фронте борьбы с немецкими захватчиками и проявленные при этом доблесть и мужество» большая группа офицеров – руководителей подразделений завода «Шихау» была награждена боевыми орденами. В представлении к награде – ордену Отечественной войны II степени – директор завода полковник Орешкин писал: «Инженер-капитан 1 ранга тов. Перегудов, имея многолетний опыт по расчёту кораблей подводного плавания, но не имея никаких данных о немецких подводных лодках, быстро определил все теоретические элементы их. На основании расчётов Перегудова был установлен способ загрузки кораблей и спуска их со стапелей на воду» [21].

В ноябре 1945 г. англичане привели в Лиенау подводные лодки, подлежащие передаче Советскому Союзу. Среди них были четыре лодки XXI серии и одна лодка XXIII серии. Все они вошли в состав Балтийского флота.

Мероприятия по достройке подводных лодок XXI серии на ленинградском заводе № 196 наркомата судостроительной промышленности определялись совместным приказом наркомов ВМФ и судостроительной промышленности от 17 декабря 1945 г. № 619/347 [22]. Специалисты ЦНИИВК ВМС провели комплексные натурные испытания двух подводных лодок XXI серии – Н-28 и Н-29 (бывшие U-2353 и U-3035), к которым также привлекались ученые ЦАГИ им. Н.Е. Жуковского и ЦНИИ-45.

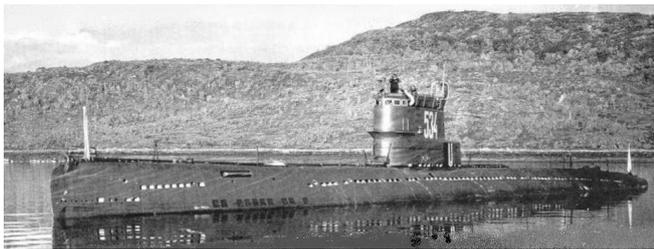
Учитывая квалификацию В.Н. Перегудова и знания особенностей германской школы проектирования, его назначают руководителем разработки технического проекта 614 – достройки трофейных подводных лодок XXI серии с отечественным оборудованием. Однако приказом наркомата судостроительной промышленности главным конструктором проекта был назначен не корабель, а инженер-механик П.С. Савинов.

Как вспоминал работавший тогда в группе главного конструктора П.С. Савинова С.Н. Ковалёв (впоследствии – генеральный конструктор ЦКБ МТ «Рубин»), «...наше оборудование, в особенности радиоэлектронное вооружение, в немецких корпусах размещалось очень плохо, обладая габаритами большими, чем соответствующее немецкое. Тем не менее, проект мы выполнили, а на заводе начались корпусные и монтажные работы. И вдруг мы получили сообщение, что, согласно принятым международным соглашениям, эти корпуса должны быть затоплены» [23].

⁶ В различных стадиях готовности на верфи находились 18 подлодок XXI серии: U-3535, U-3536, U-3537, U-3539, U-3540, U-3541, U-3542, U-3543, U-3544, U-3545, U-3546, U-3547, U-3548, U-3549, U-3551, U-3552, U-3553, U-3554.

Под давлением бывших союзников по антигитлеровской коалиции от планов достройки трофейных подводных лодок пришлось отказаться. Находившиеся в наиболее высокой степени готовности лодки (бывш. U-3538, U-3539, U-3540) 8 марта 1947 г. затопили в 20 милях к северо-западу от маяка Ристна, остальные сдали на разборку в 1947–1948 гг. Часть доставленных из Данцига объемных секций после тщательного изучения технологии их изготовления подвергли испытаниям по специальной программе для оценки взрывостойкости.

В качестве главного конструктора В.Н. Перегудов возглавлял работу по эскизному проекту средней подводной лодки пр. 613, в котором максимально использовался опыт и достижения немецких конструкторов. В августе 1946 г. по результатам выполненного под руководством Перегудова исследовательского проектирования ТТЗ на среднюю подводную лодку откорректировали в сторону увеличения скорости и дальности плавания при некотором увеличении водоизмещения. Наблюдение за дальнейшим проектированием поручалось начальнику отдела проектирования подводных лодок ЦНИИВК инженеру-капитану 2 ранга Л.И.Климову.



Дизель-электрическая подводная лодка пр. 613

В конце 1946 г. начальник ЦКБ-18 А.А. Антипин подписал представление инженер-капитана 1 ранга Перегудова к воинскому званию инженер-контр-адмирал.

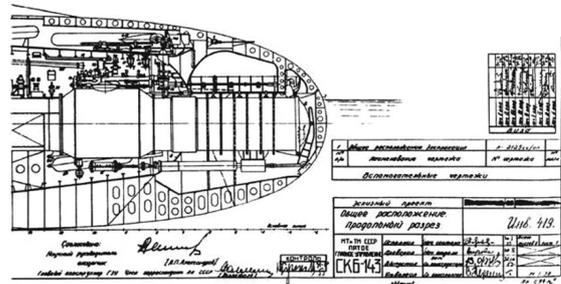
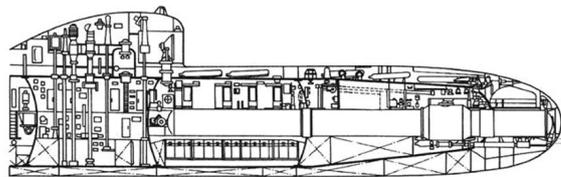
Доведя пр. 613 средней подводной лодки до стадии технического, Владимир Николаевич передает продолжение работ своим заместителям, а его осенью 1947 г. возвращают в ЦНИИ-45 начальником отдела судовых двигателей. Обязанности главного конструктора пр. 613 принял Я.Е. Евграфов.

В ЦНИИ-45 В.Н. Перегудовым выполнен ряд научных работ по движению подводной лодки в вертикальной плоскости, устойчивости формы цилиндрических оболочек, подкрепленных ребрами жесткости, целый ряд исследований по выявлению причин аварий кораблей, с его участием подготовлен к изданию «Справочник конструктора подводных лодок» (им написан раздел по конструкции корпуса подводной лодки). На протяжении нескольких лет Владимир Николаевич вел исследовательскую деятельность, читал лекции по проектированию подводных лодок в Военно-морской академии и в Высшем военно-морском инженерном училище им. Ф.Э. Дзержинского, руководил дипломным проектированием в этом училище и в Ленинградском кораблестроительном институте.

В 1950 г. директор ЦНИИ-45 В.И. Першин подписывает второе представление В.Н. Перегудова к воинскому званию инженер-контр-адмирал.

Для проработки возможности создания подводной лодки с «урановым котлом» в системе минсудпрома создана специальная лаборатория, приказом министра от 6 июля 1950 г. ее начальником назначен начальник отдела судовых двигателей ЦНИИ-45 В.Н. Перегудов. В апреле следующего года Владимир Николаевич становится заместителем директора ЦНИИ-45 по научной работе.

С выходом Постановления Совета министров СССР № 4098-1616 «О проектировании и строительстве объекта № 627» от 9 сентября 1952 г. началась работа по созданию атомной подводной лодки – носителю стратегического ядерного оружия. Приказом Министерства судостроительной промышленности СССР № 43к от 18 февраля 1953 г. В.Н. Пе-



Фрагмент чертежа продольного разреза АПЛ проекта 627 в первоначальном варианте

регудов назначен начальником и главным конструктором СКБ-143 (впоследствии – ЛПМБМ «Малахит»).

После совещания в Москве 3 марта того же года – инсульт, месяц в Центральном военном госпитале им. Бурденко...

Один из заместителей Главного конструктора Перегудова Павел Дмитриевич Дегтярёв в своих опубликованных в 1982 г. «Воспоминаниях» писал: «... Однажды меня пригласил к себе В.Н. Перегудов и доверительно предложил подобрать гидрографические и другие данные по объектам, против которых могла бы действовать подводная лодка проекта 627, используя стратегическую торпеду. Я пытался отказаться от этого поручения, ссылаясь на то, что оно не имеет отношения к моей специальности. Но Владимир Николаевич объяснил, что поскольку в изделии используется специальный заряд, он не хотел бы привлекать к этому людей, не связанных с атомщиками.

Спустя некоторое время я представил Владимиру Николаевичу собранные данные и выкопировки из карт по ряду стратегически важных объектов. Из них следовало, что, пренебрегая мерами противодействия со стороны противника и исходя только из гидрографической обстановки, «удобных» для поражения объектов очень мало...» [24].

О том, чего стоило главному конструктору и флотскому офицеру, выполнившему вместе со своим коллективом решение государственного руководства о проектировании и организации строительства уникального атомного боевого подводного корабля – без какого-либо участия командования и специалистов ВМФ⁷ [25], затем принимать жесткие формулировки флотской комиссии, которая доказала необходимость радикальной корректировки пр. 627, а потом в кратчайшие сроки фактически перепроектировать атомную подводную лодку (АПЛ) в части ее вооружения и соответствующих систем, пока не опубликованы документы, мы можем только догадываться.

Назначение атомной подводной лодки было зафиксировано в специальном постановлении Совета министров СССР от 26 марта 1955 г., которым правительство поручило СКБ-143 откорректировать технический проект: «Объект 627 предназначен для нанесения торпедных ударов по боевым кораблям и транспортам противника при действиях на океанских и удаленных морских сообщениях».

⁷ Военно-морской министр СССР адмирал И.С. Юмашев направил председателю Специального комитета при Совете министров СССР маршалу Л.П. Берии письмо о целесообразности проведения НИОКР по созданию «опытной энергетической установки с урановым котлом для подводных лодок» в марте 1950 г. – Ботев В.М. Первый атомный заряд для ВМФ // Атом. – № 72. – 2016. – С. 2–9. Летом 1951 г. академик АН СССР А.П. Александров и член-корреспондент АН СССР Н.А. Доллежал обратились с предложением по созданию АЭУ для подводной лодки к сменившему И.С. Юмашева на посту министра адмиралу Н.Г. Кузнецову, однако он это предложение не поддержал.

В период строительства первой АПЛ уже по откорректированному проекту Владимир Николаевич много времени проводил на заводе № 402. Уже будучи тяжело больным, он участвовал в швартовных испытаниях корабля, которому был присвоен тактический номер К-3 (а впоследствии – собственное наименование «Ленинский комсомол»), был на борту своей лодки во время первого выхода в море.



Правительственная комиссия после подписания акта о приемке первой атомной подводной лодки проекта 627-А. 17 декабря 1958 г.

В первом ряду: главный конструктор АПЛ В.Н. Перегудов, заместитель Главкома ВМФ вице-адмирал В.Н. Иванов, академик А.П.Александров. Стоят: начальник Главатома СССР Н.А.Николаев, заместитель Минсудпрома Ю.Г.Дервянко, зам. Главкома ВМФ вице-адмирал-инженер П.Г.Котов

В апреле 1958 г. В.Н. Перегудов вынужден оставить должность начальника СКБ-143, продолжая выполнять функции главного конструктора, однако в государственных испытаниях и приемке К-3 он уже не участвует (Государственную комиссию возглавлял заместитель Председателя Совета министров СССР Д.Ф. Устинов).

Указом Президиума Верховного Совета СССР от 23 июля 1959 г. за заслуги в деле создания специальной техники В.Н. Перегудову присвоено звание Героя Социалистического Труда с вручением ордена Ленина и золотой медали «Серп и молот».

Приказом Министра обороны СССР № 0895 от 4 июля 1960 г. инженер-капитан 1 ранга В.Н. Перегудов был уволен в отставку, но продолжил в течение еще пяти лет работать ведущим конструктором.

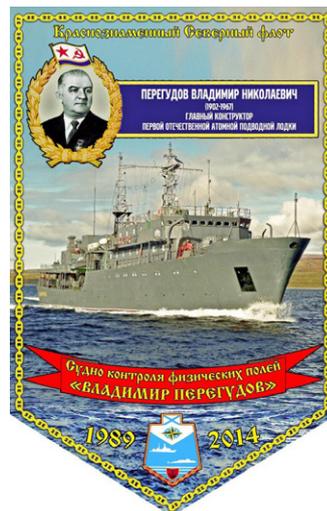
Скончался Владимир Николаевич 18 сентября 1967 г. в Военно-морском госпитале. Похоронен на Серафимовском кладбище.

Инженер-капитан 1 ранга В.Н. Перегудов награжден двумя орденами Ленина (5.11.1946 и 23.07.1959), двумя орденами Трудового Красного Знамени (3.11.1944 и 26.02.1953), двумя орденами Отечественной войны II степени, орденом Красной Звезды (31.03.1944), Золотой медалью «Серп и Молот».

В послевоенном советском флоте существовала традиция давать имена корабельных инженеров ВМФ морским тральщикам и морским судам обеспечения. В январе 1989 г. на Херсонском судостроительном заводе по пр. 5990 под зав. № 1430 для ВМФ СССР заложили большой морской танкер полным водоизмещением 37 000 т, которому приказом главнокомандующего ВМФ СССР было присвоено наименование «Владимир Перегудов». Когда в апреле 1992 г. его спустили на воду, Советского Союза уже не было, но до 6 ноября танкер носил это имя⁸.

Приказом главнокомандующего ВМФ РФ от 20 января 1998 г. № 20 имя «Владимир Перегудов» было присвоено судну контроля физических полей.

⁸ Недостроенный танкер правительство Украины продало Китаю, после достройки в Дальяне он в 1996 г. вступил в строй ВМС НОАК под наименованием «Наньчан».



Памятный вымпел судна контроля физических полей «Владимир Перегудов»

С 2023 г. имя офицера-кораблестроителя, Главного конструктора первой советской АПЛ инженера-капитана 1 ранга Владимира Николаевича Перегудова носит одна из учебных аудиторий Военно-морского политехнического института ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия».

ЛИТЕРАТУРА

1. Судостроение России: Биографическая энциклопедия. – М.: Столичная энциклопедия, 2006. – 696 с.
2. Балабин В.В. Главный конструктор первого советского подводного атомохода. – В кн.: Малоизвестные создатели боевых кораблей. – М.: Наука, 1966. – С. 133–141.
3. Самаркин Л.А. Жизнь для подвига (к 100-летию со дня рождения главного конструктора В. Н.Перегудова)// Гангут. – 2002. – №3. – С. 106–109.
4. Токарев В.Н. Главный конструктор. – Саратов: Изд-во Саратовской государственной юридической академии, 2022.
5. РГАВМФ. – Ф. Р-303. – Оп. 2. – Д. 83. – Л. 143.
6. Там же. Л. 343.
7. Литинский Д.Ю. Как Муссолини помогал Сталину. – Ч. 1 // Тайфун. – 1996. – Вып. № 2. – С. 6–12; Ч. 2. – Тайфун. – 1997. – Вып. № 4. – С. 25–31.
8. РГАВМФ. – Ф. Р-360. – Оп. 2. – Д. 47. – Л. 143.
9. Филиал Центрального архива МО РФ (Архив ВМФ, г. Гатчина) – ФЦАМО РФ (АВМФ). Личное дело № 209296. – Л. 9.
10. РГАВМФ. – Ф. Р-1483. – Оп. 1. – Д.498. – Л. 202.
11. Почтарёв А.Н. За фасадом строительства советского ВМФ. – М., ВЕЧЕ, 2017. – С. 179.
12. РГАВМФ. – Ф. Р-441.-- Оп.4. – Д. 220. – Л. 38, 38об.
13. Rodengen Jeffrey N. Serving the Silent Service: The Legend of Electric Boat. White Staff Syndicate, Inc. – 1994, p. 75, 78–79.
14. РГАВМФ. – Ф. Р-34. – Оп. 12. – Д. 531. – Л. 33.
15. ФЦАМО РФ (АВМФ). Личное дело № 209296. Л. 23.
16. Очерки по истории ЛПМБ «Рубин». – Т.2: Голосовский П.З. Проектирование и строительство подводных лодок. Подводные лодки периода 1926–1945 годов. – Л.: ЛПМБ «Рубин», 1979. – С. 212–214.
17. Там же. С. 210–212.
18. ФЦАМО РФ (АВМФ).-- Ф. 13. – Оп. 71. – Д. 377. – Л. 51.
19. ФЦАМО РФ (АВМФ). – Ф. 13. – Оп. 71. – Д. 377. – Л. 179–180.
20. Михайлов И.Б. Командировка в Данциг // Гангут. – 2002. – № 31. – С. 101–102.
21. Там же. – Ф. 33. – Оп. 686196. – Ед. хр. 5385. Запись № 28814721.
22. Там же. – Ф. 14. – Оп. 47. – Д. 281. – Л. 1002–1004.
23. Ковалёв С.Н. О том, что есть и было. – СПб: ЭЛМОР, 2007. – С.92–93.
24. Подводные лодки России. – В 4-х т. – Т. 4: Атомные. – Ч. 1. Первое поколение: История создания и использования. 1952–1996. – СПб: 1-й ЦНИИ МО РФ, ЦКБМТ «Рубин», 1996. – С. 47.
25. Гладков Г.А., Жирнов А.Д., Станиславский Г.А., Уласевич В.К., Шмаков Р.А. История создания первой отечественной атомной подводной лодки. – М: ГУП НИКИЭТ, 2002. – С. 12. ■

15 февраля 2024 г. на площадке АО «ЦТСС» состоялось очередное заседание Ассоциации судостроителей Санкт-Петербурга и Ленинградской области.

В повестке заседания были вопросы совершенствования сварки, сварочного оборудования и сварочных материалов, проблемы разработки и поставки современного гидравлического оборудования для судостроительного производства, а также увеличения объемов НИОКР и коммерциализации результатов интеллектуальной деятельности (РИД) для нужд судостроения и смежных отраслей.

Заместитель директора по научной работе ООО «УНТЦ «Сварка» А. М. Левченко выступил с докладом, в котором он доложил о работе нового комплекса подводной сварки КОПС-М. Технологические возможности данного аппарата, конструкция и технические условия позволяют применять его в самых различных условиях под водой с минимальной угрозой для жизни и здоровья сварщика. Кроме того, данный аппарат может быть применен на самых разных объектах морской техники и судах гражданского назначения благодаря его многофункциональности и малым габаритам.

С докладом о новых видах самозащиты порошковой проволоки ППС-АПЛ2 и ППР-АПЛ1 выступил профессор Высшей школы физики и технологий материалов Санкт-Петербургского политехнического университета, доктор технических наук С. Г. Паршин. Он отметил, что актуальность данной темы обусловлена требованиями резкого увеличения объема производства судов гражданского и военного назначения, а также производительности технологических процессов сборочно-сварочного производства в судостроительной отрасли и одновременного снижения себестоимости, материалоемкости и энергоемкости производства.

Достижение указанных показателей и повышение эффективности отрасли связано с ускоренной разработкой и внедрением новых технологий обработки, сборки и сварки хладостойких сталей повышенной и высокой прочности.

В области строительства судов актуальными являются разработка и внедрение высокопроизводительных способов сборки и сварки, обеспечивающих получение готовых сборочных единиц с высокой точностью геометрии, автоматизированных сборочно-сварочных комплексов отечественного изготовления, повышение хладостойкости, ударной вязкости и трещиностойкости сварных соединений.

В связи с этим он предложил поддержать внедрение технологий подводной мокрой сварки и резки с применением порошковых проволок и покрытых электродов, разработанных в Политехничес-

ИТОГИ СОБРАНИЯ АССОЦИАЦИИ СУДОСТРОИТЕЛЕЙ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА И ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

*Ассоциация судостроителей Санкт-Петербурга и Ленинградской области,
контакт. тел. (812) 786 1172*



Президиум собрания (слева направо): М. В. Александров, Л. Г. Грабовец, А. А. Яковлев



А. М. Левченко

ком университете в целях монтажа и ремонта конструкций морского назначения.

Также в интересах отрасли – создание проблемной лаборатории деформации сварных конструкций и свариваемости хладостойких высокопрочных сталей с участием представителей Политехнического университета, АО «ЦТСС», ЦНИИ КМ «Прометей», ООО «УНТЦ «Сварка» и других заинтересованных специалистов в этой области.

Проблемам разработки и поставки современного гидравлического оборудования для судостроительного производства были посвящены доклады представителей ООО «ЭСВО» (П. Н. Черненко) и АО «ТехСервис» (В. В. Высоколов). В них было отмечено, что в условиях нарастающих санкций поставки судового комплектующего оборудования из-за рубежа становятся все сложнее. В этой связи необходимо развивать сотрудничество с малыми компаниями, которые раньше занимались исключительно узкопрофильной

специализацией или являлись поставщиками оборудования для смежных отраслей производства: приборостроения, авиации и т. д.

В докладе «О возможностях увеличения объемов НИОКР и коммерциализации РИД для нужд судостроения и смежных отраслей» директор Центра трансфера технологий Санкт-Петербургского морского технического университета М. Н. Ещенко предложил поддержать проект заявки на формирование научно-образовательного центра мирового уровня «Технологии морского приборостроения», который подготовил СПбГМТУ в консорциуме с ведущими организациями; продолжить работу по увеличению объемов НИОКР и коммерциализации РИД при поддержке ЦТТ СПбГМТУ в интересах участников ассоциации и провести на ее очередном заседании презентацию ЦТТ СПбГМТУ, посвященную акселерационной программе университета по проектам, соответствующим технологическим запросам членов ассоциации.

Кроме того, следует провести видеоконференцию, где обсудить актуальные проекты по реверс-инжинирингу с работниками, ответственными за трансфер и коммерциализацию технологий в организациях – членах ассоциации, и сформировать рабочую группу с участием РОО «Союз промышленников и предпринимателей СПб» и ЦТТ СПбГМТУ для разработки программ по подготовке в субъектах РФ кадров для нужд судостроительной отрасли. ■

8 февраля в конференц-зале Санкт-Петербургского Морского собрания состоялось заседание Совета Межрегиональной ассоциации общественных организаций «Ассоциация Морских собраний». На заседании присутствовали представители Морских собраний: Гатчинского (председатель О. В. Лякин), Камчатского (И. А. Ершов), Новороссийского (А. И. Мандрыка). В режиме видеоконференции работали Владивостокское Морское собрание (член Собрания Р. В. Колесник) и Ростовское-на-Дону Морское собрание (А. И. Рыбалко). В качестве приглашенных присутствовал председатель РОО «Морское собрание Башкортостан» Ю. А. Муратов.

Члены ассоциации обсудили итоги работы 2023 г., план основных мероприятий на 2024 г., в том числе план празднования 25-летия Гатчинского Морского собрания и др. В повестке дня стоял вопрос о размещении информации о мероприятиях, проведенных членами Ассоциации Морских собраний на официальном сайте СПб МС.

Собравшимся была представлена новая книга «Традиции русского флота», которая единогласно была выдвинута на соискание премии Министерства обороны РФ в области культуры и искусства на 2024 г. в номинации «Литературное творчество и издательское дело». Книга посвящена главным и наиболее важным традициям и обычаям ВМФ России, его героической истории, духовному и культурному наследию, основным элементам военно-морского протокола и церемониала, правилам этикета офицера флота. Завершилось мероприятие посещением музея СПб МС.

9 февраля 2024 г. в Тронном зале Екатерининского дворца Государственного музея-заповедника «Царское Село» в г. Пушкин состоялась 55-я ассамблея СПб МС, посвященная 114-й годовщине со дня его создания, 175-летию со дня рождения адмирала С. О. Макарова, 120-летию со дня рождения Адмирала флота Советского Союза Н. Г. Кузнецова, на которую были приглашены представители Совета Межрегиональной ассоциации общественных организаций «Ассоциация Морских собраний».

В адрес ассамблеи были направлены приветственные письма от Председателя Законодательного собрания Санкт-Петербурга А. Н. Бельского, от председателя Клуба адмиралов, Почетного председателя Санкт-Петербургского Морского собрания с 1997 по 2005 г. адмирала флота В. И. Куроедова, от члена Правительства Санкт-Петербурга, председателя Комитета по внешним связям Санкт-Петербурга Е. Д. Григорьева.

В Екатерининском дворце гостей встречали старшины Морского собрания и оркестр, после чего гости через

55-Я АССАМБЛЕЯ САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОГО МОРСКОГО СОБРАНИЯ

*И. А. Лещенко, пресс-секретарь
Санкт-Петербургского Морского собрания,
контакт. тел. (812) 312 7092*



Участники совета Межрегиональной ассоциации общественных организаций «Ассоциация Морских собраний»: Ю. А. Муратов (МС Башкортостан), И. А. Ершов (Камчатское МС), С. Н. Ирютин (Председатель ассоциации), А. И. Мандрыка (Новороссийское МС) и О. В. Лякин (Гатчинское МС)



Видеоконференция: в работе участвуют А. И. Рыбалко (Ростовское-на-Дону МС) и Р. В. Колесник (Владивостокское МС)

золотые парадные комнаты и Янтарную комнату проходили в Большой Тронный зал. Участники ассамблеи ознакомились с экспонатами выставки «Ярче солнца», которая была организована к 20-летию восстановления Янтарной комнаты.

Начало мероприятия ознаменовалось просмотром тизера документальных фильмов «Вода и воля. Адмирал Макаров» и «Адмирал Советского Союза Н. Г. Кузнецов». Затем состоялся кон-

церт солистов Мариинского театра, в исполнении которых прозвучали песни о море и морской службе (Екатерина Сергеева, Ирина Матаева, Екатерина Сергеева, Виолетта Лукьяненко), оркестр играл под руководством заслуженного артиста России Владимира Самсонова.

По окончании концерта председатель Морского собрания С. Н. Ирютин открыл ассамблею. По его команде под звук фанфар курсанты ВУНЦ ВМФ

«Военно-морская академия» и, впервые, курсанты ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова торжественно внесли Флаг Российской Федерации, Юбилейный Знаменный флаг и флаг ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова. После исполнения гимна Морского собрания слово было предоставлено духовнику Собрания настоятелю Никольского Богоявленского кафедрального собора протоиерею А. Г. Склярову, который поздравил присутствующих со 114-й годовщиной со Дня основания Собрания и особо подчеркнул вклад С. О. Макарова и Н. Г. Кузнецова в развитие отечественного ВМФ.

Председатель Собрания доложил присутствующим о его работе в 2023 г., наиболее значимых этапах деятельности и вкладе в нашу победу в СВО. Сегодня Морское собрание объединяет в своих рядах лучших представителей ВМФ РФ, науки, культуры, судостроения, известных и выдающихся государственных и политических деятелей России. В центре внимания Собрания остаются судостроительная и транспортная отрасли, морские вузы Санкт-Петербурга, кадетские корпуса, школы, музейное сообщество, учреждения культуры по всему спектру решаемых собранием задач. Сергей Николаевич отметил, что в 2023 г. юбилеи отмечали сразу три флота нашей страны: Балтийский (320 лет), Черноморский (240 лет) и Северный (290 лет). Этим юбилеям были посвящены торжественные мероприятия 54-й (летней) Ассамблеи СПб МС, которая состоялась 20–21 июля 2023 г.

В прошедшем году приоритетной стала деятельность, направленная на помощь Донбассу и участникам СВО. Члены Собрания принимают участие в строительстве и ремонте кораблей и судов ВМФ, разработке и производстве вооружения и военной техники, в транспортировке грузов военного, специального и двойного назначения. В соответствии с планом деятельности СПб МС выполнено более 120 мероприятий, в том числе передано более 3000 экземпляров книг из фонда СПб МС для детей ЛНР и ДНР, 75 комплектов вещевого и медицинского имущества для военнослужащих этих республик, 3 автомашины и запасные части к ним, 2 дрона и оборудования к ним, 2 комплекта ЭВТ и кабельная продукция, 3 полевых генератора. В преддверии нового 2024 г. вручено более 200 новогодних подарков семьям военнослужащих, погибших в СВО. По результатам деятельности награждены орденами и медалями Собрания военнослужащие ЗВО (52), ВМФ и флотов, Каспийской флотилии (31), представители промышленности, военных и учебных заведений, организаций военной науки (73), Законодательного



Внос Флага Российской Федерации, Юбилейного Знаменного флага и флага Государственного университета морского и речного флота им. С.О. Макарова

собрания Санкт-Петербурга (8), духовенства (2), волонтеры Петербурга и городов России (166).

Председатель СПб МС С. Н. Ирютин совершил поездку на Окскую судоверфь для согласования церемонии закладки малого морского танкера пр. 23630. В соответствии с решением Главкома ВМФ адмирала Н. А. Евменова в 2024 г. будет заложено судно обеспечения с именем «Контр-адмирал Халиуллин» как дань

уважения и признание заслуг этого выдающегося военного инженера-механика, ученого, заслуженного деятеля науки РФ, доктора технических наук, профессора, начальника Ленинградского ВВМИУ им. В. И. Ленина, начальника Военно-морского инженерного института, генерального директора ОАО «Завод «Кризо», Почетного старшины СПб МС. 4 октября 2023 г. решением топонимической комиссии Санкт-Петер-



Участники 55-й Ассамблеи Санкт-Петербургского Морского собрания



Почетный член СПб МС О.В. Таратынова, старшина СПб МС Г.А. Фокин, председатель СПб МС С.Н. Ирютин



Приветственное слово духовника Морского собрания настоятеля Никольского Богоявленского кафедрального собора протоиерея Алексея Склярова

бурга принято решение (по предложению Собрания) о присвоении одной из улиц г. Пушкин имени Ивана Петровича Саутова, видного деятеля российской культуры, профессора, лауреата Государственной премии

РФ, лауреата премии Правительства Российской Федерации, заслуженного работника культуры РФ, старшины Собрания, генерального директора ГМЗ «Царское Село» (1987–2008).



Золотым знаком «За 10 лет безупречной службы в СПб МС» награжден генеральный директор ЦКБ морской техники «Рубин» Игорь Владимирович Вильнит



Орденом «За трудовую доблесть» 2-й степени награжден старшина СПб МС ректор Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова Сергей Олегович Барышников

В мае в Астрахани был введен в эксплуатацию теплоход пр. RSD59 «Николай Орлов», названный в честь Н.В. Орлова, который возглавлял Собрание с 1995 по 2021 г.

По приглашению Центрального военно-морского музея в работе 9-й Коллегии музеев военно-морской направленности РФ 8–10 февраля 2023 г. принимала участие делегация СПб МС. По результатам работы принято решение о вступлении музея СПб МС в Ассоциацию военно-морских музеев и хранителей морских традиций. После рассмотрения указанных документов президент ассоциации Р.Ш. Нехай подписал сертификат № 119 от 12.04.2023 г. о его принятии.

2023 г. был богат на юбилеи предприятий и организаций, в Санкт-Петербурге прошли торжественные мероприятия, посвященные 75-летию АО «СПМБМ «Малахит» (входит в состав ОСК); 140-летию Канонерского судоремонтного завода (одного из флагманов отечественного судоремонта), 75-летию ООО «Газпром Трансгаз Санкт-Петербург», 110-летию Российского морского регистра судоходства, 30-летию ЗАО «ИК «Нордик Марин»».

В ходе издательской деятельности Собрания в 2023 г. были изданы книги из серии «Морская слава России» для детей и юношества: «Адмирал Ушаков», «Бриг Меркурий» и «Адмирал Макаров» и, как уже сказано, книга «Традиции русского флота» (издана при участии ассоциации «Клуб «Русская морская традиция»). Презентации изданий состоялись в рамках проведения научно-практических конференций.

Серия книг «Морская слава России» (детская библиотека МС) была выдвинута на соискание премии Министерства обороны РФ в области культуры и искусства в 2022 г. в номинации «Литературное творчество и издательское дело» и была отмечена благодарностью директора Департамента культуры МО РФ А. Горного за высокий профессиональный уровень.

Активно работали секции Морского собрания. 29 и 30 июля в акватории Невской губы уже в 8-й раз прошла регата, посвященная Дню ВМФ России, которая всегда собирает яхтсменов Петербурга. В этом году регата была также посвящена 320-летию Балтийского флота. С 9 по 13 июня в пансионате «Кривск» Банка России проходила «XIX Псковская парусная регата», посвященная 320-летию Балтийского флота и 100-летию Минспорта России.

10 июня 2023 г. в Переславле-Залеском, городе-колыбели ВМФ России, состоялась акция Собрания «Маршрутами Петра Великого», пос-



Старшина Собрания Генеральный директор ООО «Газпром трансгаз Санкт-Петербург» Георгий Анатольевич Фокин награжден кортиком Морского собрания



Старшина СПб Морского собрания Константин Александрович Смирнов



Старшина СПб Морского собрания Анатолий Федорович Савкин

вращенная 30-летию дальнего шлюпочного похода курсантов ВВМИУ им. Ленина по маршруту Санкт-Петербург – Переславль-Залесский-Санкт-Петербург в рамках праздника города – шлюпочной регаты «Паруса Плещеева озера».

Плодотворно работала наградная комиссия Морского собрания: 628 наград

вручены ветеранам ВМФ, представителям предприятий, воинских частей и учреждений ВМФ, ФСБ и иных ведомств, выпускникам морских вузов города, выпускникам ВУНЦ ВМФ, нахимовцам, юнармейцам, а именно:

– *золотой знак «За 25 лет безупречной службы в СПб МС»* А. Ф. Савкину (старшина СПб МС) и Ю. Н. Кур-

ганскому (действительный член СПб МС);

- *знак «За 20 лет безупречной службы в СПб МС»* П. П. Париннову (действительный член СПб МС);
- *знак «За 15 лет безупречной службы в СПб МС»* К. А. Смирнову (старшина СПб МС).
- *золотой знак «За 10 лет безупречной службы в СПб МС»* И. В. Вильниту (действительный член СПб МС) и А. В. Кораблеву (действительный член СПб МС);
- *орден «За заслуги» 1-й степени* А. Л. Кашину (старшина СПб МС) и С. С. Пустынникову (действительный член СПб МС);
- *орден «За заслуги» 2-й степени* Л. Б. Горохову (старшина СПб МС), А. В. Хитущенко (действительный член СПб МС), Ю. Н. Шамалову (действительный член СПб МС);
- *орден «За трудовую доблесть» 1-й степени* Почетному председателю СПб МС адмиралу В. И. Королеву;
- *орден «За трудовую доблесть» 2-й степени* С. О. Барышникову (старшина СПб МС), В. В. Гузенко, Ю. В. Пыльневу, А. И. Левашову, Е. П. Захарову (действительные члены Собрания), И. Е. Золотых и В. Н. Кирееву (члены Собрания);
- *орден «За заслуги в морской деятельности» 1-й степени* Г. В. Анцеву и Р. Ш. Нехаю, И. В. Гольденштейну (действительные члены Собрания);
- *орден «За заслуги в морской деятельности» 2-й степени* С. Г. Фокину, Г. В. Баранаску, Н. В. Шабликову, Р. С. Сергееву, И. А. Малафееву, А. Б. Волкову (члены СПб МС), А. Г. Гайфутдинову (действительный член СПб МС);
- *орден «За заслуги в морской деятельности» 3-й степени* М. Б. Рыбину, Е. А. Рылову, В. В. Дударенко, А. А. Лозе, И. А. Василенко (действительные члены Собрания), В. В. Бушуеву, Д. В. Козлову, И. А. Ищенко, А. Е. Сурикову (члены СПб МС);

Старшина Собрания Г. А. Фокин награжден кортиком, Почетному члену СПб МС О. В. Таратыновой вручен золотой знак – брошь «Екатерина Великая».

В заключение своего доклада председатель СПб МС С. Н. Ирютин пожелал всем присутствующим крепкого здоровья, счастья и благополучия, мирного неба, больших достижений на благо нашей Родины!

После окончания официальной части гости были приглашены на Торжественный прием от имени Почетного председателя Собрания Главнокомандующего ВМФ РФ адмирала В. И. Королева, который завершился традиционной программой «Русская зима» в Александровском парке Царского Села. ■

1. Автор представляет статью в электронном виде объемом до 20 000 знаков, включая рисунки. Текст набирается в редакторе MS Word под Windows, формулы – в формульном редакторе MathType. Иллюстрации, помещенные в статье, должны быть представлены дополнительно в форматах: TIFF CMYK (полноцветные), TIFF GRAYSCALE (полутонные), TIFF BITMAP (штриховые), EPS, JPEG, с разрешением 300 dpi для полутонных, 600 dpi для штриховых и в размерах, желательных для размещения.

2. Статья должна содержать реферат объемом до 300 знаков, ключевые слова и библиографо-библиотечный индекс УДК. Автор указывает ученую степень, ученое звание, место работы, должность и контактный телефон, а также дает в письменной форме разрешение редакции журнала на размещение статьи в Интернете и Научной электронной библиотеке после

публикации в журнале. Статья представляется с рецензией.

3. Статьи соискателей и аспирантов принимаются к публикации на бесплатной и безвозмездной основе.

4. Контрольное рецензирование этих статей осуществляет редакционная коллегия с привлечением при необходимости профильных специалистов. Рецензии на статьи хранятся в редакции журнала в течение 5 лет.

5. В случае отказа в публикации автору высылается рецензия. Копии рецензий направляются в Минобрнауки России при поступлении соответствующего запроса в редакцию журнала.

6. Содержание журнала ежеквартально представляется на рассмотрение редакционному совету. Решение о выпуске очередного номера оформляется протоколом.

РЕФЕРАТЫ

УДК 629.5.01 **Ключевые слова:** транспортный рефрижератор, рефрижераторное судно, инвестиционные квоты, рыбопромысловый флот, рыбный промысел

С.Ю. Афанасьева, А.В. Кошелев, И.В. Щербаков. Рефрижераторные суда: реализация требований инвестиционных квот//Морской вестник. 2024. № 1 (89). С. 7

Рассматриваются требования к транспортному рефрижераторному судну для обеспечения рыбопромыслового флота, заявленные в рамках второго этапа программы инвестиционных квот. Анализируется соответствие существующих судов этим требованиям. Предлагаются основные характеристики рефрижератора, оптимального с учетом лимитирующих факторов. Т. 4. Ил. 4. Библиограф. 11 назв.

УДК 620.691 **Ключевые слова:** тепловая изоляция корпуса корабля, эксплуатационные характеристики, эффективность тепловой изоляции, современные теплоизоляционные материалы, перспективные надводные корабли ВМФ, затраты на строительство и эксплуатацию кораблей

П.А. Зубков. Аналитическая модель оценки эффективности тепловой изоляции корпуса корабля при использовании современных теплоизоляционных материалов//Морской вестник. 2024. № 1 (89). С. 10

Приведены результаты теоретических и прикладных исследований способов повышения эффективности тепловой изоляции корпуса корабля. Представлена разработанная аналитическая модель, позволяющая оценивать эффективность теплоизоляционной конструкции корпуса корабля. Ил. 6. Библиогр. 5 назв.

УДК 623.827 **Ключевые слова:** подводный объект, малолушный ход, осесимметричная затопленная струя, тепловой кильватерный след, забортная вода, выходной патрубок, алгоритм расчета, математическая зависимость, температура, скорость, конвективный теплообмен

Н.С. Вахрушина, А.Н. Дядик. Анализ изменения параметров спутной струи подводного объекта//Морской вестник. 2024. № 1 (89). С. 16

Приведена методика расчета, по которой написана программа на языке Mathcad-15 и рассчитаны диаграммы кильватерного теплового следа американской атомной подводной лодки (АПЛ) класса «Огайо» и время выравнивания температур в кильватерном следе и окружающей забортной воде для малолушного режима. Т. 2. Ил. 4. Библиогр. 6 назв.

УДК 338.2 **Ключевые слова:** АО «Северное ПКБ», судостроение, производство, цифровизация, подсистема «Переводы»

П.А. Лукашевич. Цифровизация производства в АО «Северное ПКБ»//Морской вестник. 2024. № 1 (89). С. 20

Знакомит с подсистемой «Переводы», которая предложена и внедрена в отделе внешнеэкономической деятельности Северного ПКБ. Показан эффект от ее внедрения и обозначены перспективы применения. Т. 2. Ил. 1.

УДК. 629.021 **Ключевые слова:** судостроение, трудоемкость, трубопровод, альбом труб

М.Д. Мовчанова, Н.А. Беляков, А.С. Недорезанков, В.В. Трусов, А.Б. Фомичев. Оптимизация судостроительного производства путем внедрения альбомов труб//Морской вестник. 2024. № 1 (89). С. 24

Рассмотрены вопросы оптимизации судостроительного производства в России. Проведенное исследование внед-

рения альбомов труб на судостроительном заводе позволило найти способ ускорения работ по изготовлению труб при помощи документации, выпускаемой проектантом. Т. 2. Библиогр. 10 назв.

УДК 620.9

Ключевые слова: транспортная инфраструктура, водный транспорт, автономные объекты, гарантированное энергообеспечение, комплексная безопасность, энергетическая безопасность, системы активного опто-электронного мониторинга жизнеобеспечения и безопасности, роботизированные комплексы безопасности жизнеобеспечения, схемы и режимы работы

В.В. Камлюк, И.О. Прутчиков, И.В. Гречушкин. Комбинированные энергоустановки для обеспечения комплексной безопасности автономных объектов инфраструктуры водного транспорта//Морской вестник. 2024. № 1 (89). С. 30

Рассматриваются особенности и перспективы применения на автономных объектах инфраструктуры водного транспорта систем, модулей и роботизированных комплексов безопасности, функционирующих с использованием технологий аккумулирования, частотного регулирования и преобразования энергии, гарантированного энергоснабжения и комбинированного применения опто-электронных средств обнаружения и распознавания событий. Приводятся результаты практической разработки отдельных элементов данных систем и комплексов; описываются режимы их работы. Ил. 1. Библиогр. 11 назв.

УДК 620.9:44.41.29 **Ключевые слова:** система очистки, энергетическая установка, питательный клапан, клапан расходный, абсорбер, давление, температура, массовый расход, регулятор уровня, рабочий газ, углекислый газ, шлейф

А.В. Балакин, А.Н. Дядик, Д.С. Маловик, М.А. Щегольков. Алгоритмы управления процессом очистки рабочего газа от углекислого газа//Морской вестник. 2024. № 1 (89). С. 34

Представлен сравнительный анализ алгоритмов управления процессом очистки рабочего газа во внешней воде при поддержании постоянного давления в абсорбере посредством ПИ-регулятора, управляющего перемещением клапана расхода. Для повышения продолжительности и точности поддержания назначенного давления в абсорбере рекомендуется корректировать сигнал заданного давления по условиям изменения уровня за установленные пределы, увеличивая или уменьшая его в зависимости от выхода уровня за верхний или нижний допустимый предел. Ил. 12. Библиогр. 3 назв.

УДК 62–251

Ключевые слова: валопровод, гребной вал, дейдвудный подшипник, капролон, эллипс, вкладыш, ресурс, шумоподавление на морских судах

А.А. Халявкин, Д.В. Лошадкин, М.В. Старкова, Н.П. Безруков, Ю.Ю. Яковлев. Разработка дейдвудного подшипника с эллиптическими вкладышами//Морской вестник. 2024. № 1 (89). С. 38

Исследованы энергетическая установка судна и его основные элементы в виде валопровода и дейдвудных подшипников. Отмечена сложность работы судового валопровода. Описаны конструкционные и технологические способы повышения надежности дейдвудных подшипников на основании действия внешних нагрузок и условия эксплуатации. Предложена новая конструкция дейдвудного подшипника. Ил. 6. Библиогр. 12 назв.

УДК 621.125

Ключевые слова: паротурбинная установка, главный конденсатор, система пассивного принципа действия, атомная подводная лодка, методика

В.Г. Кирикова, И.А. Сорокин. Оценка возможности применения пассивного принципа охлаждения главного конденсатора ПТУ перспективных АПЛ//Морской вестник. 2024. № 1 (89). С. 43

Одной из актуальных проблем корабельной энергетики является снижение вибрации и шума паротурбинной установки. Для принятия решения о внедрении системы пассивного принципа действия для охлаждения ГК на перспективных АПЛ необходимо дополнительно провести анализ всех виброакустических и эксплуатационных характеристик. Т. 5. Ил. 4. Библиогр. 3 назв.

УДК 681.2.084, 621.65.05, 67.05

Ключевые слова: расходомер, судовые условия эксплуатации, исследовательский стенд, экспериментальная оценка качества

А.Е. Васильев, Р.Р. Касимов, В.Д. Ковалев, Д.Е. Кунгурцев, С.А. Токаренко. Технологические основы исследования применимости расходомеров общего назначения в судовой аппаратуре топливоподачи//Морской вестник. 2024. № 1 (89). С. 46

Рассматриваются подходы к оценке пригодности расходомеров общего назначения в судовых условиях, а также принципы их реинжиниринга. Описывается предлагаемая авторами структура стендового оборудования для исследований влияния типовых условий эксплуатации судовой топливоподающей аппаратуры на точностные характеристики расходомеров. Ил. 1. Библиогр. 8 назв.

УДК 629.5.03

Ключевые слова: генерация электроэнергии, электродвижение, судовые энергетические установки, дизель-генераторы, газотурбинные установки, единая электроэнергетическая система

С.А. Казанов. Текущее состояние и перспективы развития способов генерации электроэнергии в системах электродвижения судов//Морской вестник. 2024. № 1 (89). С. 48

Кратко изложены основные принципы и способы электрогенерации и использованием различных видов генерирующих установок, системы преобразования электроэнергии, определены их достоинства и недостатки на основе материалов публикаций. Т. 2. Ил. 8. Библиогр. 14 назв.

УДК 621.317.35–111

Ключевые слова: шаговый двигатель, преобразователь, привод, характеристики, магнитное поле, управление, переменное сопротивление, статор

И.Л. Титов. Различные типы и системы управления шаговыми двигателями//Морской вестник. 2024. № 1 (89). С. 54

Рассматривается шаговый двигатель, который представляет собой электрохимический преобразователь, функции которого – преобразование электрической информации в механическое действие, которое может представлять собой линейное или более классически угловое смещение. Поэтому крайне необходимо хорошо знать вращающиеся и линейные шаговые двигатели с сопротивлением или с магнитами, физические явления, которые вызывают их движения, а также различные режимы управления этими вращающимися шаговыми двигателями, которые могут применяться в конкретных линейных двигателях. Ил. 12. Библиогр. 11.

УДК 536.1

Ключевые слова: реальный газы, идеальный газ, уравнение состояния реального

газа, коэффициент пропорциональности, адиабатный процесс, показатель адиабаты реальных газов

Д. М. Кучинский, Д. О. Глазырина, С. А. Паймцев, Я. А. Бойко. Выбор значений показателя адиабаты реального газа//Морской вестник. 2024. № 1 (89). С. 58

Рассматривается возможность и целесообразность определения параметров реального газа за компрессором с помощью выбора показателя адиабаты для некоторых газов, что позволит улучшить совпадение расчетных и экспериментальных данных на стадии проектирования компрессора. Т. 2. Ил. 2. Библиогр. 5 назв.

УДК 539.32:669.018.239 **Ключевые слова:** предел устойчивости, предел выносливости, циклические испытания, максимальное напряжение цикла

А. З. Багерман. Объединение малоциклового усталости и выносливости никелевых сплавов//Морской вестник. 2024. № 1 (89). С. 60

Предложены алгоритм и специальные коэффициенты, позволяющие рассматривать малоциклового усталость и многоциклового выносливость как единое целое. Т. 2. Библиогр. 3 назв.

УДК 621.355 **Ключевые слова:** воздушнонезависимые энергоустановки, аккумуляция водорода, органическое топливо, риформинг, дегидрирование углеводородов

А. Н. Дядик, Д. С. Малович, С. Н. Бударин, М. А. Кича. Генерация водорода с использованием органических носителей на борту морских подводных объектов//Морской вестник. 2024. № 1 (89). С. 62

Рассмотрены особенности методов генерации водорода на борту с использованием органического сырья. Рассчитаны энергоэффективность и расход реагентов в электрохимическом генераторе для рассматриваемых методов генерации водорода. Дано описание работы высокотемпературного реактора в составе топливного процессора. Т. 1. Ил. 2. Библиогр. 19 назв.

УДК 629.5.025.2 **Ключевые слова:** успокоитель качки, крыльевой успокоитель, заваливающийся успокоитель, роторный привод, плунжерный привод, лопастной привод, рекомендации к проектированию, судовое оборудование, привод к баллеру

Ю. А. Лебедев. Анализ мировой практики и тенденций конструктивного развития приводов успокоителей качки//Морской вестник. 2024. № 1 (89). С. 65

Описаны конструкции наиболее интересных прототипов успокоителей качки. Приведен анализ конструкций активных крыльевых успокоителей качки заваливающегося типа, которые проектируют и производят в настоящее время. Показаны основные конструктивные особенности, описаны различные варианты исполнения силовых приводов. Даны рекомендации по проектированию силовых приводов успокоителей качки. Ил. 13. Библиогр. 18 назв.

УДК 623.973 **Ключевые слова:** система компенсации магнитного поля, электромагнитная индукция, источник постоянного магнитного поля, статический преобразователь, широко-импульсная модуляция

Б. Ю. Семёнов. Анализ преимуществ одноклового режима управления силовым инвертором в статических преобразователях для систем компенсации магнитного поля корабельных конструкций//Морской вестник. 2024. № 1 (89). С. 73

Изложены результаты разработки схемотехнических решений статического преобразователя электроэнергии для корабельных систем компенсации магнитных полей корпусных конструкций, работающего в одноклоговом режиме управления силовым инвертором, а также приведены результаты моделирования основных ожидаемых тактико-технических характеристик. Т. 1. Ил. 10. Библиогр. 3 назв.

УДК 621.396.2 **Ключевые слова:** корабль, широкополосная связь, ультракоротковолновый диапазон, радиостанция, сверхвысокочастотный диапазон, мобильный интернет, цифровая обработка сигнала, средства широкополосного доступа

А. А. Катанович, Е. А. Рылов, В. А. Цыванюк. Корабельное устройство широкополосной связи//Морской вестник. 2024. № 1 (89). С. 79

На основе анализа широкополосных систем связи разработаны принципы построения корабельного устройства широкополосной связи для автоматической организации высокоскоростных сетей передачи данных и обеспечения надежного высокоскоростного обмена информацией между основными устройствами широкополосной связи – создание единого информационного пространства на заданной акватории. Т. 2. Ил. 1. Библиогр. 4 назв.

УДК 004.735 **Ключевые слова:** информационный обмен, гетерогенная система связи, унификация радиоканалов, когнитивное радио, программно-определяемое радио

А. С. Батурин, Б. П. Верб. Разработка и исследование модели комплекса интегрированных средств для повышения эффективности информационного обмена в среде гетерогенной системы связи//Морской вестник. 2024. № 1 (89). С. 85

Выполнена оценка эффективности информационного обмена для прогнозирования качества организации связи, в том числе потенциально достижимой скорости передачи пакетных данных в различных диапазонах частот и удаления абонентов относительно друг друга. Полученные в результате моделирования выходные и входные данные обеспечивают оптимальный подбор технических параметров при моделировании системы в целом. Сформулированы рекомендации для построения современных систем связи. Ил. 3. Библиогр. 5 назв.

УДК 556.078 **Ключевые слова:** ультразвук, биообрастание, надводный корабль

К. А. Смирнов, Р. А. Андреев, Д. С. Бабкин, А. А. Малов. Ультразвуковые системы защиты от обстрела судов//Морской вестник. 2024. № 1 (89). С. 89

Рассмотрена проблема защиты корпуса судна от обстрела ультразвуковым методом. Ил. 4.

УДК 621.396:621.37:621.37.01 **Ключевые слова:** безэкипажное судно, точность позиционирования, навигационные особенности, требования к точности

С. А. Якушенко, С. В. Дворников, В. К. Снежко. Обоснование требований к точности позиционирования речных безэкипажных судов//Морской вестник. 2024. № 1 (89). С. 90

Представлен подход научного обоснования требований к точности определения местоположения речных безэкипажных судов в целях их безопасного самостоятельного плавания. Результаты работы могут быть использованы при организации судовождения беспилотных судов на внутренних водах России. Т. 2. Ил. 1. Библиогр. 11 назв.

УДК 621.396.932 **Ключевые слова:** морская радиосвязь, диапазон промежуточных волн, требования регламента радиосвязи, требования достоверности передачи сообщений, спектральные характеристики классов излучений

С. С. Дворников, С. В. Дворников, М. Р. Бибарсов, Г. Н. Москалец. Анализ помехоустойчивости передач морской радиосвязи ПВ/КВ диапазона//Морской вестник. 2024. № 1 (89). С. 93

Представлены результаты анализа требований регламента, предъявляемые к морской радиосвязи. Сформулированы выводы и определены перспективы дальнейшего развития средств морской радиосвязи диапазона промежуточных волн нового поколения. Т. 3. Ил. 3. Библиогр. 22 назв.

УДК 621.396.67, 004.942 **Ключевые слова:** электродинамическое моделирование, метод моментов, активные фазированные антенные решетки, коэффициент усиления, диаграмма направленности, помехозащищенность, поверхностная волна, ионосферная волна

В. Д. Пашкевич, В. М. Голубёв, А. А. Павлов, С. В. Русин, Я. А. Демидов. О методах разработки антенных систем КВ диапазона. Часть 2//Морской вестник. 2024. № 1 (89). С. 97

Рассмотрены существующие и перспективные методы расчета количественных показателей элементов сети КВ

радиосвязи – антенных систем, точность расчетов которых напрямую влияет на показатели качества радиосвязи, помехозащищенность радиолиний. Представлены результаты вычислений и измерений, а также анализы основных тактико-технических характеристик антенных систем, полученных различными методами. Т. 1. Ил. 8. Библиогр. 9 назв.

УДК 621.39 **Ключевые слова:** техническое сопровождение, послепродажное обслуживание, сопровождение на этапах жизненного цикла изделия, оптимизация этапов проводимых работ, информационные технологии, информационная поддержка

В. Г. Пушин, В. В. Филиппов, Л. А. Просвиракова. Пути оптимизации технического сопровождения изделий военного назначения с использованием информационных технологий//Морской вестник. 2024. № 1 (89). С. 103

Рассматривается современная организация послепродажного обслуживания изделий вооружения, военной и специальной техники (ВВСТ) на примере контрольно-проверочной аппаратуры крылатых ракет и перспективы оптимизации технического сопровождения изделий ВВСТ на принципах ИПИ-технологий (информационная поддержка процессов жизненного цикла изделий) и с использованием отдельных ее компонентов. Т. 2. Ил. 5. Библиогр. 4 назв.

УДК 004.896, 004.384, 681.51, 67.05 **Ключевые слова:** нечеткий вычислитель, аппроксимация, поверхность сложной топологии, ЧП-оборудование

А. Е. Васильев, А. В. Вегнер, В. А. Карпенко, Йе Мин Хтет, Хтут Шайн. Аппроксимация поверхностей изделий судового машиностроения методами теории нечетких множеств//Морской вестник. 2024. № 1 (89). С. 106

Рассмотрены подходы к повышению точности позиционирования исполнительных элементов оборудования с программным управлением, основанные на аппроксимационных возможностях нечетких вычислителей. Приведен пример нечеткой аппроксимации поверхности детали сложной топологии. Ил. 4. Библиогр. 9 назв.

УДК 534.26 **Ключевые слова:** отражение звука, функции Грина, граничные элементы, угловые характеристики рассеяния

С. Л. Ильменков. О возможностях численного определения характеристик отражения звука объектами конечных размеров//Морской вестник. 2024. № 1 (89). С. 109

Рассмотрены приближенные подходы к решению задач отражения звука идеальными и упругими телами конечных размеров, опирающиеся на использование функций Грина и концепции граничных элементов. Для различных вариантов граничных условий, плановых размеров тел и углов локации получены и проанализированы угловые характеристики рассеяния для сплошного идеального тела в виде кругового цилиндра с полусферическими оконечностями и упругой оболочки аналогичной формы. Ил. 4. Библиогр. 12 назв.

УДК 62–519; 629.127; 654.1; 656.6; 334.02 **Ключевые слова:** педагогическая парадигма 4.0, искусственный интеллект, интеллектуализация, интеллектуальная аналитика данных

В. И. Комашинский. На пути к педагогической парадигме 4.0, или особенности применения искусственного интеллекта в системе образования РФ//Морской вестник. 2024. № 1 (89). С. 112

Данная статья посвящена особенностям формирования новой педагогической парадигмы 4.0, основанной на широком применении интеллектуальной аналитики педагогических и учебных данных. Ил. 3. Библиогр. 10 назв.

УДК 623.8 **Ключевые слова:** В. Н. Перегудов, подводная лодка, главный конструктор

Д. Ю. Литинский, Ю. В. Слесарев. Малоизвестные страницы деятельности ученого-кораблестроителя инженера капитана 1 ранга В. Н. Перегудова//Морской вестник. 2024. № 1 (89). С. 115

Подробно рассказано о творчестве выдающегося отечественного ученого-кораблестроителя В. Н. Перегудова, сложном и трагическом времени, на которое пришлось его жизнь. Ил. 11. Библиогр. 25 назв.

1. Authors shall submit articles of up to 20,000 characters, including figures, in electronic form. The text shall be typed in MS Word under Windows, formulas – in the equation editor «MathType.» Illustrations present in the article shall be submitted additionally, in the following formats: TIFF CMYK (full color), TIFF GRAYSCALE (grayscale), TIFF BITMAP (dashed), EPS, JPEG, with resolution of 300 dpi for grayscale figures and 600 dpi for dashed ones and in sizes desired for placement.

2. Articles shall contain an abstract of up to 300 characters, keywords, and bibliographic library UDC identifier. Authors shall indicate their degree, academic status, place of employment, job position, and telephone number, as well as provide a written permission of the Editor to place articles on the Internet and in the Scientific Electronic Library after publication in the journal. Articles shall be submitted with reviews.

3. The articles of postgraduate and degree-seeking students shall be accepted for publication on a free and royalty-free basis.

4. The control review of these articles shall be performed by the editorial board, with the assistance of dedicated experts, if necessary. Reviews of articles are stored in editorial office of the magazine within 5 years.

5. In case of refusal to publish articles, reviews shall be sent to authors. Copies of reviews go to the Ministry of Education and Science of the Russian Federation at receipt of the corresponding inquiry in editorial office of the magazine.

6. The contents of the journal shall be submitted to the editorial board quarterly. The decision concerning the next issue of the journal shall be formally established with the protocol.

ABSTRACTS

UDC 629.5.01 **Keywords:** transport refrigerator, refrigerator vessel, investment quotas, fishing fleet, fishing

S. Yu. Afanas'eva, A. V. Koshelev, I. V. Shcherbakov. Reefer ships: implementation of investment quota requirements//Morskoy Vestnik. 2024. No. 1 (89). P. 7

The requirements for a refrigerated transport vessel to support the fishing fleet, stated as part of the second stage of the investment quota program, are being considered. The compliance of existing vessels with these requirements is analyzed. The main characteristics of a refrigerator that is optimal taking into account limiting factors are proposed. T. 4. Fig. 4. Bibliography 11 titles.

UDC 620.691 **Keywords:** thermal insulation of the ship's hull, operational characteristics of the ship, efficiency of thermal insulation, modern thermal insulation materials, promising surface ships of the Navy, costs of construction and operation of ships

P. A. Zubkov. Analytical model for assessing the effectiveness of thermal insulation of a ship's hull using modern thermal insulation materials//Morskoy Vestnik. 2024. No. 1 (89). P. 10

The results of theoretical and applied research on ways to increase the efficiency of thermal insulation of a ship's hull are presented. The results of calculations of the efficiency of using insulating material based on Rockwool basalt fiber in comparison with the traditionally used material PTE-150 are presented. Fig. 6. Bibliography 5 titles.

UDC 623.827 **Keywords:** underwater object, low-noise propulsion, axisymmetric submerged jet, thermal wake, sea water, outlet pipe, calculation algorithm, mathematical dependence, temperature, speed, convective heat transfer

N. S. Vakhrushina, A. N. Dyadik. Analysis of changes in the parameters of the wake of an underwater object//Morskoy Vestnik. 2024. No. 1 (89). P. 16

A calculation method is presented, according to which a program was written in the Mathcad-15 language and the lengths of the thermal wake of an American Ohio-class nuclear submarine (NPS) and the time of temperature equalization in the wake and surrounding sea water for low-noise mode are calculated. T. 2. Fig. 4. Bibliography 6 titles.

UDC 338.2 **Keywords:** JSC Severnoye DB, shipbuilding, production, digitalization, subsystem «Translations»

P. A. Lukashovich. Digitalization of production at JSC Severnoye DB //Morskoy Vestnik. 2024. No. 1 (89). P. 20

Introduces the «Translations» subsystem, which was proposed and implemented in the department of foreign economic activity of the Northern Design Bureau. The effect of its implementation is shown and the prospects for its application are outlined. T. 2. Fig. 1.

UDC. 629.021 **Keywords:** shipbuilding, labor intensity, pipeline, pipe album

M. D. Movchanova, N. A. Belyakov, A. S. Nedorezanyuk, V. V. Trusov, A. B. Fomichev. Optimization of shipbuilding production by introducing pipe albums//Morskoy Vestnik. 2024. No. 1 (89). P. 24

The authors of this article consider the issues of optimization shipbuilding's production in Russia. The conducted research on the introduction of pipe albums at the shipyard made it possible to find a way to accelerate the work on the manufacture of pipes using certain documentation issued by the designer. T. 2. Bibliography. 10 titles.

UDC 620.9 **Keywords:** transport infrastructure, water transport, autonomous objects, guaranteed energy supply, integrated safety, energy security, active optical-electronic monitoring systems for life support and safety, robotic life support safety systems, schemes and operating modes

V. V. Kamlyuk, I. O. Prutchikov, I. V. Grechushkin. Combined power plants to ensure comprehensive safety of autonomous water transport infrastructure facilities//Morskoy Vestnik. 2024. No. 1 (89). P. 30

The features and prospects for the use of systems, modules and robotic security systems operating using technologies of accumulation, frequency regulation and energy conversion, guaranteed power supply and the combined use of optical-electronic means of detection and recognition of events at autonomous objects of the transport infrastructure of water transport are considered. The results of the practical development of individual elements of these systems and complexes are presented; their operating modes are described. Fig. 1. Bibliography 11 titles.

UDC 620.9:44.41.29 **Keywords:** cleaning system, power plant, supply valve, flow valve, absorber. pressure, temperature, mass flow, level controller, working gas, carbon dioxide, plume

A. V. Balakin, A. N. Dyadik, D. S. Malovik, M. A. Shchegolkov. Algorithms for controlling the process of purifying working gas from carbon dioxide//Morskoy Vestnik. 2024. No. 1 (89). P. 34

A comparative analysis of algorithms for controlling the process of cleaning the working gas in external water while maintaining constant pressure in the absorber using a PI controller that controls the movement of the flow valve is presented. To increase the duration and accuracy of maintaining the designated pressure in the absorber, it is recommended to adjust the set pressure signal according to the conditions of level changes beyond the established limits, increasing or decreasing it depending on whether the level goes beyond the upper or lower permissible limits. Fig. 12. Bibliography 3 titles.

UDC 62–251 **Keywords:** shaft line, propeller shaft, stern tube bearing, caprolon, ellipse, liner, resource, noise reduction on sea vessels

A. A. Khalyavkin, D. V. Loshadkin, M. V. Starkova, N. P. Bezrukov, Yu. Yu. Yakovlev. Development of a stern tube bearing with elliptical liners//Morskoy Vestnik. 2024. No. 1 (89). P. 38

The power plant of the vessel and its main elements in the form of shafting and stern bearings have been studied. The complexity of the operation of the ship shafting is noted. The proposed design of the stern tube bearing will improve the reliability and service life of the ship's stern tube device and the shafting as a whole, as well as reduce the effective static and dynamic specific loads. In addition, it absorbs shock loads during operation, which will also minimize noise generation during operation of this unit. Fig. 6. Bibliography 12 titles.

UDC 621.125 **Keywords:** steam turbine unit, main condenser, passive principle system, nuclear submarine, methodology

V. G. Kirikova, I. A. Sorokin. Assessment of the possibility of using the passive principle of cooling the main condenser of the STU of promising nuclear submarines//Morskoy Vestnik. 2024. No. 1 (89). P. 43

One of the pressing problems of ship power engineering is the reduction of vibration and noise of a steam turbine unit (STU). One of the main sources of noise is the operation of the main condenser cooling system. In this regard, experts have repeatedly made proposals for its possible modernization, including the use of a system of passive operating principle. To make a decision on the possibility of introducing a system of a passive operating principle for cooling the main core on promising nuclear submarines, it is necessary to additionally analyze all vibroacoustic and operational characteristics. T. 5. Fig. 4. Bibliography 3 titles.

UDC 681.2.084, 621.65.05, 67.05 **Keywords:** flowmeter, ship operating conditions, research stand, experimental quality assessment

A. E. Vasil'ev, R. R. Kasimov, V. D. Kovalev, D. E. Kungurtsev, S. A. Tokarenko. General-purpose flowmeters applicability in the ship fuel supply equipment//Morskoy Vestnik. 2024. No. 1 (89). P. 46

The article discusses approaches to assessing the suitability of general-purpose flowmeters for ship operating conditions and the principles of their reengineering. The structure of disquisition stand equipment proposed by the authors for researching the influence of typical operating conditions of ship fuel supply equipment on the accuracy characteristics of flowmeters is described. Fig. 1. Bibliography 8 titles.

UDC 629.5.03 **Keywords:** electricity generation, electric propulsion, ship power plants, diesel generators, gas turbine plants, unified electric power system

S. A. Kasanov. Current state and prospects for the development of methods for generating electricity in electric propulsion systems of ships//Morskoy Vestnik. 2024. No. 1 (89). P. 48

The basic principles and methods of power generation using various types of generating plants and electricity conversion systems are briefly outlined, their advantages and disadvantages are determined based on publication materials. T. 2. Fig. 8. Bibliography 14 titles.

UDC 621.317.35 **Keywords:** stepper motor, converter, drive, characteristics, magnetic field, control, variable resistance, stator

I. L. Titov. Various types and control systems for stepper motors//Morskoy Vestnik. 2024. No. 1 (89). P. 54

In this article we will consider a stepper motor, which is an electromechanical converter. The function of this converter is that it converts electrical information into a mechanical action, which can be a linear or more classically angular displacement. The characteristics of a given drive or positioning system depend simultaneously on the type of engine, the chosen design, the power system used and the control strategy used. Fig. 12. Bibliography 11 titles.

UDC 536.1 **Keywords:** real gas, ideal gas, equation of state of real gas, proportionality coef-

ficients, adiabatic process, real gas adiabatic index

D.M. Kuchinsky, D.O. Glazyrina, S.A. Paimtsev, Ya.A. Boyko. Selection of values of the adiabatic index of real gas//Morskoy Vestnik. 2024. No. 1 (89). P. 58

The article considers the possibility and expediency of determining the parameters of the real gas behind the compressor by selecting the adiabatic index for some gases, which will improve the coincidence of calculated and experimental data at the design stage of the compressor. T. 2. Fig. 2. Bibliography 5 titles.

UDC 539.32:669.018.239 **Keywords:** endurance limit, cyclic tests, maximum cycle stress

A.Z. Bagerman. Combining low-cycle fatigue and endurance of nickel alloys//Morskoy Vestnik. 2024. No. 1 (89). P. 60

An algorithm and special coefficients are proposed that allow us to consider low-cycle fatigue and high-cycle endurance as a single whole. T. 2. Bibliography 3 titles.

UDC 621.355 **Keywords:** air-independent power plants, hydrogen accumulation, organic fuel, reforming, dehydrogenation of hydrocarbons

A.N. Dyadik, D.S. Malovik, S.N. Budarin, M.A. Kicha. Generation of hydrogen using organic carriers on board marine underwater objects//Morskoy Vestnik. 2024. No. 1 (89). P. 62

The features of methods of hydrogen accumulation on board using organic raw materials are considered. The energy efficiency and consumption of reagents in an electrochemical generator are calculated for the considered methods of hydrogen accumulation. A description of the operation of a high-temperature reactor as part of a fuel processor is given. T. 1. Fig. 2. Bibliography 19 titles.

UDC 629.5.025.2 **Keywords:** pitch stabilizer, wing stabilizer, collapse stabilizer, rotary drive, plunger drive, blade drive, design recommendations, ship equipment, drive to the stock

Yu.A. Lebedev. Analysis of world practice and trends in the design development of pitch stabilizer drives//Morskoy Vestnik. 2024. No. 1 (89). P. 65

The designs of the most interesting prototypes of pitch stabilizers are described. An analysis of the designs of active wing stabilizers of the falling type, which are currently being designed and produced, is presented. The main design features are shown and various versions of power drives are described. Recommendations are given for the design of power drives for stabilizers. Fig. 13. Bibliography 18 titles.

UDC 623.973 **Keywords:** magnetic field compensation system, electromagnetic induction, constant magnetic field source, static converter, pulse width modulation

B.Yu. Semyonov. Analysis of the advantages of a single-key control mode of a power inverter in static converters for magnetic field compensation systems of ship structures//Morskoy Vestnik. 2024. No. 1 (89). P. 73

The article presents the results of the development of circuit solutions for a static electricity converter for ship systems for compensating magnetic fields of hull structures, operating in a single-switch control mode of a power inverter, and also presents the results of modeling the main expected performance characteristics. T. 1. Fig. 10. Bibliography 3 titles.

UDC 621.396.2 **Keywords:** ship, broadband, ultra-short wave band, radio station, ultra-high frequency band, mobile Internet, digital signal processing

A.A. Katanovich, E.A. Ryllov, V.A. Tsyvnyuk. Ship broadband device//Morskoy Vestnik. 2024. No. 1 (89). P. 79

In the article, based on the analysis of broadband communication systems, the principles of constructing a shipborne broadband communication device are developed for the automatic organization of high-speed data transmission networks and ensuring reliable high-

speed information exchange between the main broadband communication devices – the creation of a unified information space in a given water area. In this case, each device carries the main information load, multiplexing independent information channels of users into a single data stream, as well as administering and managing the system as a whole. T. 2. Fig. 1. Bibliography 4 titles.

UDC 004.735 **Keywords:** information exchange, heterogeneous communication system, unification of radio channels, cognitive radio, software-defined radio

A.S. Baturin, B.P. Verba. Development and research of a model of a complex of integrated tools for increasing the efficiency of information exchange in the environment of a heterogeneous communication system//Morskoy Vestnik. 2024. No. 1 (89). P. 85

An assessment of the effectiveness of information exchange was carried out to make it possible to predict the quality of communication, including the potentially achievable speed of packet data transmission in different frequency ranges and distances of subscribers relative to each other. The output and input data obtained as a result of modeling ensure the optimal selection of technical parameters when modeling the system as a whole. Recommendations for building modern communication systems are formulated. Fig. 3. Bibliography 5 titles.

UDC 556.078 **Keywords:** ultrasound, biofouling, surface ship

K.A. Smirnov, R.A. Andreyuk, D.S. Babkin, A.A. Malov. Ultrasonic antifouling systems for ships//Morskoy Vestnik. 2024. No. 1 (89). P. 89

The problem of protecting the ship's hull from fouling using the ultrasonic method is considered. Fig. 4.

UDC 621.396:621.37:621.37.01 **Keywords:** unmanned vessel, positioning accuracy, navigation features, accuracy requirements

S.A. Yakushenko, S.V. Dvornikov, V.K. Snezhko. Justification of the requirements for positioning accuracy of unmanned river vessels//Morskoy Vestnik. 2024. No. 1 (89). P. 90

An approach is presented to scientifically substantiate the requirements for the accuracy of determining the location of unmanned river vessels for the purpose of their safe independent navigation. The criterion for safe navigation of unmanned vessels is substantiated and maximum quantitative indicators of accuracy are proposed depending on the navigation features of inland waterway basins. The results of the work can be used in organizing navigation of unmanned vessels on the inland waters of Russia. T. 2. Fig. 1. Bibliography 11 titles.

UDC 621.396.932 **Keywords:** marine radio communications, intermediate wave range, requirements of radio communications regulations, requirements for the reliability of message transmission, spectral characteristics of emission classes

S.S. Dvornikov, S.V. Dvornikov, M.R. Bibarsov, G.N. Moskalets. Analysis of the noise immunity of marine radio communication transmissions in the MF/HF range//Morskoy Vestnik. 2024. No. 1 (89). P. 93

The results of an analysis of the regulatory requirements for maritime radio communications are presented. The categories and urgency marks for processing radiograms are considered. Indicators characterizing the timeliness and reliability of transmitted messages are analyzed in accordance with their priority. The classes of emissions recommended by the regulations for marine radio communications are considered, and their spectral characteristics are studied. Conclusions are formulated and prospects for the further development of new generation intermediate wave marine radio communications are determined. T. 3. Fig. 3. Bibliography 22 titles.

UDC 621.396.67,004.942 **Keywords:** electrodynamic modeling, method of moments, active phased array antennas, gain, radiation pattern, noise immunity, surface wave, ionospheric wave

V.D. Pashkevich, V.M. Golubev, A.A. Pavlov, S.V. Rusin, Ya.A. Demidov. On methods for developing HF antenna systems. Part 2//Morskoy Vestnik. 2024. No. 1 (89). P. 97

Existing and promising methods for calculating quantitative indicators of elements of a HF radio communication network – antenna systems, the accuracy of calculations of which directly affects the quality of radio communications and the noise immunity of radio lines, are considered. The results of calculations and measurements, as well as an analysis of the main tactical and technical characteristics of antenna systems obtained by various methods are presented. T. 1. Fig. 8. Bibliography 9 titles.

UDC 621.39 **Keywords:** technical support, after-sales service, support at life cycle stages, optimization of work stages, information technology, information support

V.G. Pushin, V.V. Filippov, L.A. Prosviryakova. Ways to optimize the technical support of military products using information technology//Morskoy Vestnik. 2024. No. 1 (89). P. 103

The modern organization of after-sales service for weapons, military and special equipment (WVST) is considered using the example of control and testing equipment for cruise missiles and the prospects for optimizing the technical support of WVST products on the principles and using individual components of IPI technologies (information support for product life cycle processes). T. 2. Fig. 5. Bibliography 4 titles.

UDC 004.896,004.384,681.51,67.05 **Keywords:** fuzzy solver, approximation, complicated surface topology, CNC-machine

A.E. Vasil'ev, A.V. Wegner, V.A. Karpenko, Ye. Min Htet, Htet Shine. Fuzzy approximation of marine engineering details surface//Morskoy Vestnik. 2024. No. 1 (89). P. 106

The article discusses approaches to improving the positioning accuracy of actuating elements of program-controlled equipment, based on the approximation capabilities of fuzzy solvers. Examples of fuzzy approximation of surfaces of parts with complicated topology are considered. Fig. 4. Bibliography 9 titles.

UDC 534.26 **Keywords:** sound reflection, Green's functions, boundary elements, angular scattering characteristics

S.L. Il'menkov. On the possibilities of numerical determination of the characteristics of sound reflection by objects of finite sizes//Morskoy Vestnik. 2024. No. 1 (89). P. 109

Approximate approaches to solving problems of sound reflection by ideal and elastic bodies of finite sizes, based on the use of Green's functions and the concept of boundary elements, are considered. A special program has been developed, based on quadrature, which allows you to automatically select the value of the sampling step in any part of the object surface, composed of fragments of analytical surfaces. An estimate of the error of the proposed algorithm is given. Fig. 4. Bibliography 12 titles.

UDC 62-519; 629.127; 654.1; 656.6; 334.02 **Keywords:** pedagogical paradigm 4.0, artificial intelligence, intellectualization, intelligent data analytics

V.I. Komashinsky. On the way to the pedagogical paradigm 4.0, or features of the use of artificial intelligence in the education system of the Russian Federation//Morskoy Vestnik. 2024. No. 1 (89). P. 112

Currently, the world is experiencing the beginning of a new, fourth industrial revolution (Industrie 4.0), the main driving force of which is people who own the most modern telecommunications, information and intellectual technologies. Fig. 3. Bibliography 10 titles.

UDC 623.8 **Keywords:** V.N. Peregodov, submarine, chief designer

D.Yu. Litinsky, Yu.V. Slesarev. Little-known pages of the activities of the scientist-shipbuilder, engineer-captain 1st rank V.N. Peregodov//Morskoy Vestnik. 2024. No. 1 (89). P. 115

The work of the outstanding Russian scientist-shipbuilder V.N. is described in detail. Peregodov, the difficult and tragic time in which his life occurred. Fig. 11. Bibliography 25 titles.