

Морской



№4(64)
декабрь
2017
ISSN 1812-3694

Вестник

Morskoy Vestnik



АО "КОНЦЕРН" НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ
"АВРОРА"

СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ КОРАБЛЕЙ, СУДОВ,
МОРСКИХ ОБЪЕКТОВ, ПРОМЫШЛЕННОСТИ И ТРАНСПОРТА



СИСТЕМЫ
УПРАВЛЕНИЯ
ПРОМЫШЛЕННОЙ
ЭНЕРГЕТИКИ

СИСТЕМЫ
ДИНАМИЧЕСКОГО
ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ

СИСТЕМЫ
УПРАВЛЕНИЯ
КОРАБЛЕЙ И
ПОДВОДНЫХ ЛОДОК
ВМФ

ЭЛЕМЕНТАРНАЯ
БАЗА,
ИСТОЧНИКИ
ИНФОРМАЦИИ

СИСТЕМЫ
УПРАВЛЕНИЯ
ДЛЯ ТРАНСПОРТА

ТЕХНИЧЕСКИЕ
СРЕДСТВА
ОБУЧЕНИЯ

СИСТЕМЫ
УПРАВЛЕНИЯ
ДЛЯ СУДОВ
ГРАЖДАНСКОГО
ФЛОТА

10 ЛЕТ - НЕ СБИВАЯСЬ С КУРСА

А.Л. Рахманов, президент
АО «Объединенная судостроительная корпорация»,
контакт. тел. (495) 617 3300



В 2017 г. российские корабли отметили несколько значимых юбилеев. Мы праздновали 350-летие государственного судостроения, отмечали 105 лет «Северной верфи» и Средне-Невского судостроительного завода, 70 лет ЦКБ «Айсберг». У Объединенной судостроительной корпорации на этом фоне куда более скромная дата – нам 10 лет. И все же эти годы, прошедшие с момента образования корпорации, серьезно изменили облик отрасли.

Все, кто хоть немного интересовался отечественным судостроением в 90-х – первой половине 2000-х гг., знает – это было тяжелейшее время как для флота, так и для его строителей. Военных проектов было мало, а те, что начинались, зачастую останавливались. Редкие гражданские заказы размещались за границей.

Можно вспомнить хотя бы такую цифру. В 2007 г. выручка предприятий, образовавших ОСК, составляла менее 50 млрд. рублей. Для сравнения: по итогам 2016 г. мы имели уже более чем семикратный рост выручки – до 341 млрд. Чистая прибыль составила 6,8 млрд. рублей, тогда как в 2007 г. вместо нее был многомиллионный убыток.

Государство искало способ сохранить и восстановить мощь отечественного флота, и решение нашлось: основные активы отрасли были собраны воедино, чтобы добиться синергетического эффекта. Так родилась Объединенная судостроительная корпорация.

Конечно, это было только начало пути. Многие из включенных в структуру ОСК предприятий пребывали в крайне плачевном состоянии, накопленные долги впоследствии приходилось закрывать в течение многих лет. Корпорации пришлось пройти долгий путь «реабилитации»: учиться заново вставать на ноги и, главное, заново учиться работать руками. Ведь нам мало было просто выжить, необходимо было еще и создавать конкурентоспособную продукцию.

Однако даже самые отчаянные усилия взбить из доставшегося нам «молока» сметану новых проектов были бы тщетными, если бы государство не восстановило гособоронзаказ в полном объеме.

Появление новой программы вооружений обеспечило приток средств, который заставил вновь крутиться шестеренки взаимодействия между верфями и КБ, обеспечил загрузкой нашу операцию.

Тут-то мы, наконец, и сумели напомнить, что такое грозное морское оружие России и кто те люди, которые его создают.

В 2007 г. (году образования ОСК) на российских верфях не было построено ни одного гражданского судна или боевого корабля.

За 2016 г. заказчикам были сданы 13 подводных лодок и кораблей и 15 коммерческих судов.

Десять лет спустя, ОСК – крупнейший судостроительный холдинг России, объединяющий более 40 верфей и ведущих проектно-конструкторских бюро. У нас около 85 000 сотрудников, а это почти половина всех корабелов страны.

Но на повестке дня – новые вызовы. Одна из ключевых задач корпорации на следующие 10 лет – адаптировать предприятия к возможным «перепадам» гособоронзаказа, сохранить костяк персонала и при этом иметь возможность оперативно реагировать на меняющуюся конъюнктуру.

Не менее амбициозная цель – выйти на глобальный рынок гражданского судостроения и стать его лидером! И пусть кому-то покажется, что это слишком большой замах, наша логика проста: только играя с более сильным противником, можно чему-то научиться. Только состязаясь с лучшими мировыми судостроителями, можно строить у нас, в России, суда и корабли, отвечающие мировым стандартам, не отставать от новых технологических, инженерных и управленческих тенденций.

Не случайно наш президент – В. В. Путин – дал указание к 2030 г. добиться паритета военной и гражданских тематик в судостроении. Мы уже сделали первый большой шаг в этом направлении – в прошлом году количество созданных кораблей и судов сравнялось. Теперь предстоит добиться того же в денежном выражении.

Диверсификация призвана стать тем путем, который обеспечит ритмичную загрузку нашим предприятиям в периоды снижения госзаказа. Мы никогда не прекращали заниматься коммерческими судами, но сейчас заметно усиливаем это направление. В ОСК есть верфи, которые «заточены» под гражданскую продукцию, а есть и «военные» верфи. Пример первой специализации – Выборгский судостроительный завод, второй – Севмаш. Но для соблюдения баланса мы все больше добавляем военное к «гражданке», а «гражданчиков» учим работать по правилам военного заказа.

Курс на новое десятилетие взят, машины под полными парами. Надеюсь, что вместе с предприятиями корпорации тем же фарватером отправятся и другие российские судостроительные предприятия, которых сейчас насчитывается более 200.

Убежден, что только поступательное развитие всей отрасли позволит кораблям отпраздновать еще не один славный юбилей и своих предприятий, и всего корабельного дела в России. ■



Морской Вестник



№ 4 (64)
декабрь
2017

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Редакционный совет

Председатель

А.Л. Рахманов, президент

АО «Объединенная судостроительная корпорация»

Сопредседатели:

В.Л. Александров, президент

Ассоциации судостроителей СПб и ЛО

В.С. Никитин, генеральный директор ФГУП «КГНЦ»,

президент Международного и Российского НТО

судостроителей им. акад. А.Н. Крылова

Г.А. Туричин, и.о. ректора СПбГМТУ

Члены совета:

М.А. Александров, директор

ЗАО «ЦНИИ СМ»

А.С. Бузаков, генеральный директор

АО «Адмиралтейские верфи»

Н.М. Вихров, генеральный директор

ЗАО «Канонерский судоремонтный завод»

В.Ю. Дорофеев, генеральный директор

АО «СПМБМ "Малахит"»

В.В. Дударенко, председатель совета директоров

ООО «Судпромкомплект»

А.А. Дьячков, генеральный директор

АО «Северное ПКБ»

Г.В. Егоров, генеральный директор

ООО «Морское инженерное бюро-СПБ»

А.Ф. Зеньков, генеральный директор АО «ГНИНГИ»

М.А. Иванов, генеральный директор

АО «Системы управления и приборы»

В.Н. Илюхин, председатель НО «АРПСТТ»

А.Э. Исаакян, генеральный директор

ООО «Группа «Кронштадт»

Э.А. Ковов, директор ООО «Издательство "Мор Вест"»

А.А. Копанев, генеральный директор

АО «НПФ "Меридиан"»

Г.А. Коржавин, генеральный директор

АО «Концерн "Гранит-Электрон"»

А.В. Кузнецов, генеральный директор АО «Армалит»

Л.Г. Кузнецов, генеральный конструктор

АО «Компрессор»

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

И.М. Мухутдинов, генеральный директор

ПАО СФ «Алмаз»

Н.В. Орлов, председатель

Санкт-Петербургского Морского Собрания

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

А.С. Соловьев, генеральный директор

ПАО «Выборгский судостроительный завод»

С.Б. Сухов, генеральный директор

ООО «Пумори-северо-запад»

И.С. Суховинский, директор ООО «ВИНЕТА»

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

А.Н. Тихомиров, генеральный директор

ЗАО «Транстех Нева Эксхибишнс»

Р.А. Урусов, генеральный директор

АО «Новая ЭРА»

С.Г. Филимонов, генеральный директор

ЗАО «Концерн "Морфлот"»

В.В. Ханьчев, генеральный директор

АО «ЦНИИ "Курс"»

Г.Р. Цатуров, генеральный директор

ОАО «Пелла»

В.В. Шаталов, генеральный директор

АО «КБ "Вымпел"»

К.Ю. Шилов, генеральный директор

АО «Концерн "НПО "Аврора"»

А.В. Шляхтенко, генеральный директор

АО «ЦМКБ "Алмаз"»

И.В. Щербаков, генеральный директор

ООО «ПКБ "Петробалт"»

СОДЕРЖАНИЕ

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И КОНСТРУКЦИЯ СУДОВ

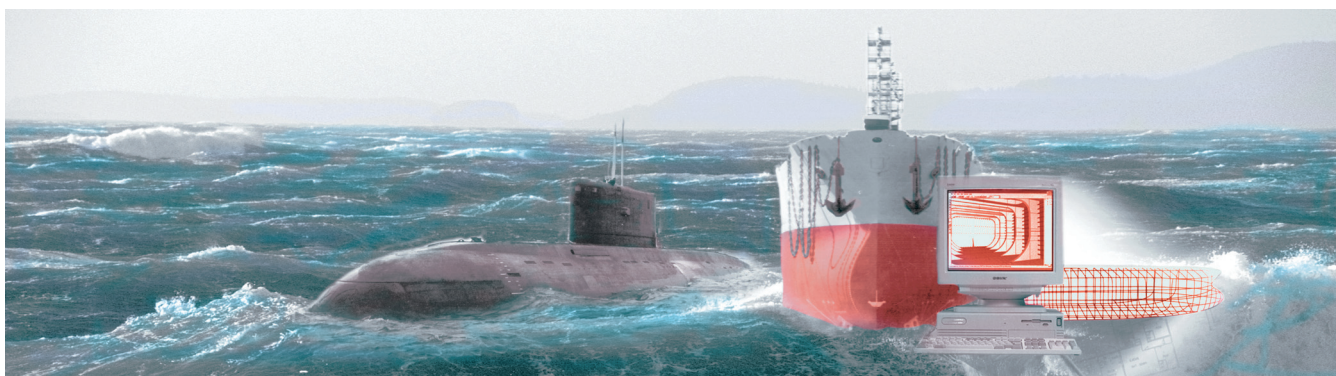
А.Л. Рахманов . 10 лет – не сбиваясь с курса.....	1
Д.В. Спиридонов . Судостроительная фирма «Алмаз» уверена в своих силах.....	7
Г.В. Егоров, А.Г. Егоров . Перспективы классических сухогрузных судов типа «Волго-Дон» и «Волжский».....	11
Лян Янь, А.Н. Сулов . Разработка электронной базы знаний – электронного справочника проектных методик.....	19
К 70-летию И.Г. Захарова	21

ТЕХНОЛОГИЯ СУДОСТРОЕНИЯ, СУДОРЕМОНТА И ОРГАНИЗАЦИЯ СУДОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

И.Л. Вайсман, А.Н. Юрчак . Рентабельность (прибыль) по государственным контрактам.....	23
А.С. Соловьев . Управление качеством при строительстве судов интегрированными крупными блоками.....	25
Е.В. Копылов . История создания, состав и порядок применения в ВМФ типовых ведомостей сервисного обслуживания и ремонта кораблей и судов.....	27
И.А. Савицкая . Внедрение новейших наплавочных материалов в АО «Армалит».....	29
О.Ю. Аксенов, П.А. Иванов . Оптимизация распределенного производства с применением геоинформационных технологий.....	32
Д.В. Парагуля . Преимущества гидроабразивной резки при раскрое листового металла.....	37

СУДОВЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ И ИХ ЭЛЕМЕНТЫ

А.С. Петрушенко . Статические преобразователи в кораблестроении.....	39
М.А. Александров, А.Г. Богданов, В.Ю. Каминский, Д.А. Скороходов . Надёжность изделий судового машиностроения.....	45
П.В. Голубев . Распределение нагрузки при параллельной работе судовых дизель-генераторных агрегатов методом квадратичного программирования.....	47
М.С. Бочарников, Ю.Б. Яненко, Б.П. Тарасов . Металлогидридные компрессоры водорода.....	53
Л.Г. Кузнецов, Ю.Л. Кузнецов, А.В. Бураков, А.С. Перминов, С.Н. Серебренников . Мембранные технологии в установках получения азота из воздуха для ВМФ, нефтегазового сектора и энергетики.....	57
А.С. Соболева . Разработка предложений по перспективным материалам биологической защиты паропроизводящей установки.....	61
Г.Н. Цицкая, Ю.Д. Баранов, А.И. Сенченко . Об основах функционирования преобразователя ОПЕД-12,5–115 экспортного исполнения.....	64
В.К. Румб, Хоанг Ван Ты . Прочность и долговечность валопроводов ледоколов и судов ледового плавания.....	68
Нго Жа Вьет, К.Н. Сахно . Экспериментальные исследования процесса компенсации отклонений перемещением трасс трубопроводов.....	70



С. С. Стародед, А. И. Ивановский, А. Н. Богданов. Исследование адаптивного алгоритма параллельной работы двух стабилизаторов трехфазного напряжения 75

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ И УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ

Д. А. Кондратьев, А. Г. Юрескул, В. В. Каманин, Ю. Ф. Подоплёкин. Проработка решений комплекса разведки ледовой обстановки 79

В. Я. Матисов, А. Н. Петухов. Цифровое сопряжение размагничивающего устройства корабля с индукционным магнитным компасом 83

Ю. И. Нечаев. Проблемы моделирования динамики судов активного ледового плавания 87

В. М. Амбросовский, Е. Б. Амбросовская, И. С. Колпакова. Измерительные каналы в системах контроля и управления техническими средствами 93

Н. Г. Бикчитаева, В. В. Дмитриев, О. В. Орлова. Логический алгоритм демодуляции цифрового частотно-модулированного сигнала 99

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА, СУДОВОЖДЕНИЕ

П. И. Малеев. Новые направления использования морских магнитометрических систем 104

М. Д. Емельянов. Вероятность столкновения судна с морской буровой установкой 108

ИСТОРИЯ СУДОСТРОЕНИЯ И ФЛОТА

В. Л. Александров. К 90-летию Н. М. Лужина 112

В. Е. Юхнин. Военно-техническое сотрудничество Северного проектно-конструкторского бюро с Индией 115

В НТО СУДОСТРОИТЕЛЕЙ

В. Л. Александров. Деятельность российского научно-технического общества судостроителей в 2012–2017 гг. и задачи его развития 119

Постановление V съезда Российского и Международного научно-технического общества судостроителей им. акад. А. Н. Крылова 124

В АССОЦИАЦИИ СУДОСТРОИТЕЛЕЙ

Итоги совместного собрания Ассоциации судостроителей Санкт-Петербурга и Ленинградской области и Секции судостроения Морского совета при Правительстве Санкт-Петербурга 126

День судостроителя в Санкт-Петербурге 127

Главный редактор

Э. А. Конов, канд. техн. наук

Зам. главного редактора

Д. С. Глухов

Тел./факс: (812) 6004586

Факс: (812) 5711545

E-mail: morvest@gmail.com

www.morvest.ru

Редакционная коллегия

Е. А. Горин, д-р экон. наук

Е. В. Игошин, канд. техн. наук

Б. П. Ионов, д-р техн. наук, проф.

Д. В. Казунин, д-р техн. наук

Р. Н. Караев, канд. техн. наук

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

А. И. Короткин, д-р техн. наук, проф.

П. И. Малеев, д-р техн. наук

Ю. И. Нечаев, д-р техн. наук, проф.

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

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

Л. А. Промыслов, канд. техн. наук

Ю. Д. Пряжин, д-р истор. наук, проф.

А. В. Пустошный, чл.-корр. РАН

А. А. Родионов, д-р техн. наук, проф.

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

А. А. Русецкий, д-р техн. наук, проф.

В. И. Черненко, д-р техн. наук, проф.

Н. П. Шамапов, 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

190000, 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"»,

190000, 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 36093) может быть оформлена по каталогу

Агентства «Роспечать» или непосредственно

в редакции журнала через издательство «Мор Вест»

Отпечатано в типографии «Премиум-пресс»

Тираж 1000 экз. Заказ № 2352

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

Chairman

A.L. Rakhmanov, President
of JSC United Shipbuilding Corporation

Co-chairman:

V.L. Alexandrov, President of the Association
of Shipbuilders of St. Petersburg and Leningrad Region

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

G.A. Turichin, Acting rector SPbSMTU

Council Members:

M.A. Alexandrov, Director
JSC CRIME

A.S. Buzakov, General Director
JSC Admiralty Shipyards

A.A. Diachkov, General Director
JSC Severnoye Design Bureau

V.Yu. Dorofeev, General Director
JSC SPMBM Malachite

V.V. Dudarenko, Chairman of the Board of Director
JSC Sudpromkomplekt

G.V. Egorov, General Director
JSC Marine Engineering Bureau Spb

S.G. Filimonov, General Director
JSC Concern Morflot

M.A. Ivanov, General Director
JSC Control Systems and Instruments

V.N. Ilukhin, Chairman NO ASRTD

A.E. Isaakyan, General Director
JSC Kronstadt Group

V.V. Khanychev, General Director
JSC CSRI Kurs

E.A. Konov, Director
JSC Publishing House Mor Vest

A.A. Kopanov, General Director
JSC SPF Meridian

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

A.V. Kuznetsov, General Director JSC Armalit

L.G. Kuznetsov, General Designer
JSC Compressor

G.N. Muru, Executive Director JSC 51 CDTISR

I.M. Mukhutdinov, General Director
JSC SF Almaz

N.V. Orlov, Chairman
St. Petersburg Marine Assembly

I.V. Scherbakov, General Director JSC PDB Petrobalt

V.V. Shatalov, General Director
JSC DB Vympel

K.Yu. Shilov, General Director
JSC Concern SPA Avrora

A.V. Shlyakhtenko, General Director JSC CMDB Almaz

K.A. Smirnov, General Directors JSC MNS

A.S. Solov'yev, General Director
PJSC Vyborg Shipyards

S.B. Sukhov, General Director
JSC Pumori-north-west

I.S. Sukhovinsky, Director JSC VINETA

V.S. Tatarsky, General Director JSC ERA

A.N. Tikhomirov, General Director
JSC Transtech Neva Exhibition

G.R. Tsaturov, General Director
OJSC Pella

R.A. Urusov, General Director OJSC NE

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

A.F. Zen'kov, General Director JSC SRNHI

CONTENTS

SHIP DESIGN AND CONSTRUCTION

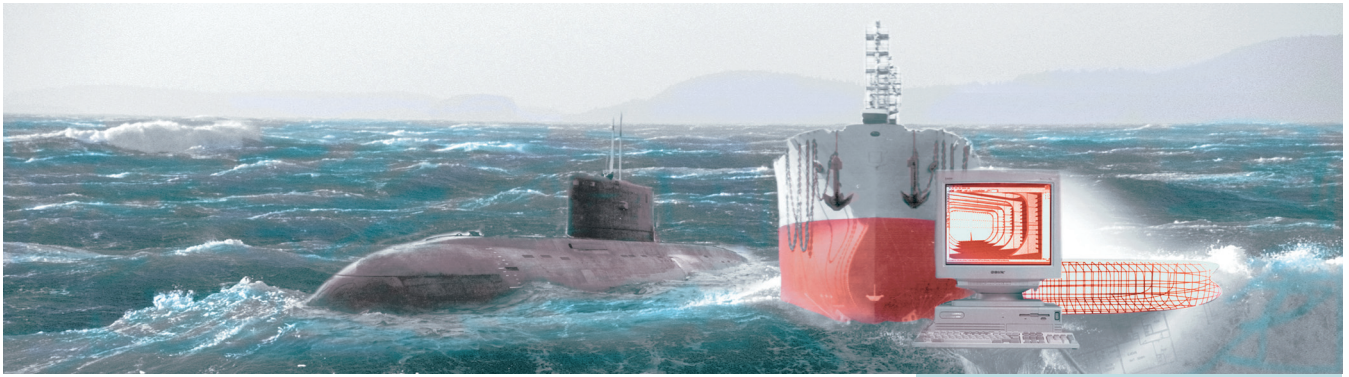
A. L. Rakhmanov . 10 years – without getting off course.....	1
D. V. Spiridonov . Shipbuilding firm Almaz is confident in its abilities	7
G. V. Egorov, A. G. Egorov . Prospects of classical dry cargo vessels type «Volgo-Don» and the «Volzhsky».....	11
Liang Yan, A. N. Suslov . Development of an electronic knowledge base – an electronic reference book of project methods	19
For 70 th anniversary of I. G. Zakharov	21

TECHNOLOGY OF SHIPBUILDING, SHIP REPAIR AND ORGANIZATION OF SHIPBUILDING

I. L. Vaisman, A. A. Yurchak . Profitability (profit) under state contracts.....	23
A. S. Solov'yov . Quality management in the construction of ships with integrated large blocks	25
E. V. Kopylov . The history of creation, composition and application procedure in the navy of typical statements of service service and repair of ships and ships.....	27
I. A. Savitskaya . Introduction of the newest surfacing materials in the Armalit JSC...	29
O. Yu. Aksenov, P. A. Ivanov . Optimization of distributed production with the application of geoinformation technologies	32
D. V. Garagulya . Advantages of waterjet cutting when cutting sheet metal	37

SHIP POWER PLANTS AND THEIR ELEMENTS

A. S. Petrushenko . Static transducers in shipbuilding	39
M. A. Aleksandrov, A. G. Bogdanov, V. Yu. Kaminsky, D. A. Skorokhodov . Reliability of shipboard machine-building products	45
P. V. Golubev . Load distribution for parallel operation of marine diesel generator sets by the method of quadratic programming.....	47
M. S. Bocharnikov, Yu. B. Yanenko, B. P. Tarasov . Metal hydride compressors of hydrogen.....	53
L. G. Kuznetsov, Yu. L. Kuznetsov, A. V. Burakov, A. S. Perminov, S. N. Serebrennikov . Membrane technologies in installations of production of nitrogen from the air for the navy, oil-and-gas sector and energy	57
A. S. Soboleva . Development of proposals on perspective materials of biological protection of a steam production unit.....	61
G. N. Tsitsikyan, Yu. D. Baranov, A. I. Senchenko . On the fundamentals of the OPED-12,5–115 converter performance of the converter.....	64
V. K. Rumb, Hoang Wang Ty . Strength and durability of shafts of ice-halls and ice ships	68
Ngo Zha Viet, K. N. Sakhno . Experimental investigations of the process of compensation of divergencies by distribution of pipeline traps	70



S. S. Staroded, A. I. Ivanovsky, A. N. Bogdanov. Investigation of the adaptive algorithm of parallel operation of two stabilizers of three-phase voltage..... 75

INFORMATION-MEASURING AND MANAGEMENT SYSTEMS

D. A. Kondrat'ev, A. G. Yureskul, V. V. Kamanin, Yu. F. Podoplyokin. Processing the decisions of the complex of exploration of ice situation 79
V. Ya. Matisov, A. N. Petukhov. Digital connection of demagnetizing device of a ship with induction magnetic compass 83
Yu. I. Nechaev. Problems of modeling the dynamics of ships of active ice swimming 87
V. M. Ambrosovsky, E. B. Ambrosovskaya, I. S. Kolpakova. Measuring channels in systems of control and management of technical means 93
N. G. Bikchintaeva, V. V. Dmitriev, O. V. Orlova. Logical algorithm for demodulation of digital FM signal 99

OPERATION OF WATER TRANSPORT, SHIP NAVIGATION

P. I. Maleev. New directions for the use of marine magnetometric systems 104
M. D. Emel'yanov. Probability of collision of a ship with a marine drilling rig 107

THE HISTORY OF SHIPBUILDING AND FLEET

V. L. Alexandrov. For 90th anniversary of N. M. Luzhin 112
V. E. Yukhnin. Military-technical cooperation of the Northern Design Bureau with India 115

IN THE SCIENTIFIC AND TECHNICAL ASSOCIATION OF SHIPBUILDERS

V. L. Alexandrov. Activity of the russian scientific and technical society of shipbuilders in 2012–2017 and problems of its development 119
Resolution of the V Congress of the Russian and International Scientific and Technical Society of Shipbuilders named after acad. A. N. Krylov 124

IN THE ASSOCIATION OF SHIPBUILDERS

Results of the joint meeting of the Association of Shipbuilders of Saint-Petersburg and the Leningrad Region and the Shipbuilding Section of the Maritime Council under the Government of Saint-Petersburg 126
Day of the shipbuilder in Saint-Petersburg 127

Editor-in-Chief

E.A. Konov, Ph. D.

Deputy Editor-in-Chief

D.S. Glukhov

Phone/Fax: +7 (812) 6004586

Fax: +7 (812) 5711545

E-mail: morvest@gmail.com

www.morvest.ru

Editorial Collegium

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

E.A. Gorin, D. Sc.

E.V. Igoshin, Ph. D.

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

D.V. Kazunin, D. Sc.

R.N. Karaev, Ph. D.

Yu.N. Kornilitsin, D. Sc., Prof.

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

P.I. Maleev, D. Sc.

Yu.I. Nechaev, D. Sc., Prof.

Yu.F. Podopliekin, D. Sc., Prof., member of the Academy

of Rocket and Artillery of Sciences of Russia

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

L.A. Promyslov, Ph. D.

Yu.D. Pryakhin, D. Sc., Prof.

A.V. Pustoshny, corresponding member

of the Academy of Sciences of Russia

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

K.V. Rozhdvestvensky, D. Sc., Prof.

A.A. Rusetzky, D. Sc., Prof.

N.P. Shamanov, 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 13H, 84, Nab. r. Moyki,

190000, 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 13H, 84, Nab. r. Moyki,

190000, 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 the catalogue of "Rospechat" agency (subscription

index 36093) or directly at the editor's office via the

Morvest Publishing House

Printed in the Printing-House "Premium-press"

Circulation 1000. Order № 2352

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

Санкт-Петербургская верфь ПАО «Судостроительная фирма «Алмаз», начавшая функционировать в 1933 г. как специализированная верфь Морпогранохраны ОГПУ, за время своего существования построила более 1200 судов различного назначения. Благодаря квалификации коллектива

и заделу заложенных в эллингах заказов, в том числе для иностранного заказчика, заводу удалось пережить смутные 90-е гг. с минимальными потерями. В постперестроечное время в структуру портфеля заказов предприятия постоянно входят как военные, так и гражданские суда. При этом верфь активно работает и с российским потребителем, и с иностранным заказчиком. На внешний рынок «Алмаз» поставляет продукцию, отвечающую не только современным техническим требованиям, но и мировой конъюнктуре цен.

Несмотря на то, что предприятие создавалось, оборудовалось и многие десятилетия работало как верфь малотоннажного судостроения – катеров исключительно для военных нужд, к сегодняшнему дню ПАО «СФ «Алмаз» уверенно занимает рыночную нишу как малого, так и среднетоннажного строительства – кораблей и судов любых проектов военного и гражданского назначения. Многолетний опыт судостроителей, высокое качество исполнения работ, стабильное финансовое положение позволяют фирме четко и в срок выполнять заказы на строительство кораблей и быть одним из лидеров российского судостроения.

2017 г. не стал исключением в ряду трудовых достижений завода. Весной со стапелей спущены на воду ПСКР «Бдительный» и «Преданный» пр. 22460, которые в конце лета успешно прошли государственные испытания и были переданы заказчику – Береговой охране ПС РФ. Эти заказы пр. 22460 продолжают серию строящихся на ПАО «СФ «Алмаз» с 2009 г. кораблей нового типа для охраны морских границ, территориального моря России и борьбы с пиратством и терроризмом. Они характеризуются повышенными мореходностью, ходовыми качествами и значительно улучшенными условиями обитания экипажа. На рубежах страны несут службу уже 11 кораблей этого проекта. Надо отметить, что именно эти корабли являются примером успешного решения на СФ «Алмаз» проблемы импортозамещения в условиях сложившейся сложной экономической ситуации. Предприятие совместно с поставщиками нашло возможность замены главных двигателей и всего пропульсивного комплекса западноевропейской поставки на аналогичное оборудование от восточноазиатских производителей. Верфь вынуждена была решать эту задачу для заказов, госконтракты на которые уже были заключены и основные поставки находились в стадии выполнения. Тем не менее корабли были сданы заказчику в контрактные сроки.

В этом же году в эллинге ПАО «СФ «Алмаз» произошло неординарное для нынешнего состояния судостроительной отрасли событие: состоялась закладка одновременно трех новых кораблей среднего тоннажа, которые будут призваны пополнить собой корабельный состав сил Береговой охраны ПС ФСБ России. В их числе:

- пограничный сторожевой корабль «Безупречный» пр. 22460 (зав. № 510) стал 13-м кораблем серии и одновременно 10-м, строящимся на СФ «Алмаз». Проект корабля разработан ОАО «Северное проектно-конструкторское бюро» (Санкт-Петербург).
- пограничный сторожевой корабль ПСКР-933 пр.10410 «Светляк» (зав. № 313) – это 41-й корабль серии и одновременно 18-й, строящийся на верфи. Корабли этой серии успешно строились и служат на флотах России с 1992 г. Благодаря высоким тактико-техническим характеристикам, надежности и огромному модернизационному

СУДОСТРОИТЕЛЬНАЯ ФИРМА «АЛМАЗ» УВЕРЕНА В СВОИХ СИЛАХ

*Д.В. Спиридонов, зам. начальника технического управления
ПАО «СФ «Алмаз»,
контакт. тел. (812) 350 1926*

потенциалу, заложенных в проект этого корабля, стало возможным создание на его основе обновленного сторожевого корабля современного уровня. Проект корабля разработан АО «Центральное морское конструкторское бюро «Алмаз» (Санкт-Петербург);

- пограничное патрульное судно «Камчатка» пр. 22120 «Пурга» (зав. № 052). Оно стало 3-м в серии таких судов, предназначенных для охраны природных ресурсов и обеспечения снабжения отдаленных мест базирования в морях северных регионов. Судно спроектировано на ледовый класс Регистра для самостоятельного плавания в ледовой обстановке средней тяжести, имеет улучшенные условия обитаемости и приспособлено к многопрофильному использованию в соответствии с задачами охраны государственной границы. Первые два судна серии, построенные на «СФ «Алмаз» – ПС-824 и ПС-825 (рис. 2 и рис. 3) успешно проходят службу в акватории Тихоокеанского бассейна. Проект судна разработан ООО «ПКБ «Петробалт» и ЗАО «Спецсудопроект» (Санкт-Петербург).

Патрульное судно пр. 22120 свидетельствует об одном из новых постоянных направлений в деятельности бывшей верфи катеростроения, новой специализации, вольно или невольно приобретенной фирмой. Это – строительство ледоколов и судов ледового плавания среднего тоннажа по требованиям как Морского, так и Речного Регистра. Опережающая стратегия маркетинга и общая нацеленность завода на конечный результат на фоне значительного общего упадка в отрасли привели к поиску и освоению новых направлений и новых проектов в ходе первого десятилетия XXI века. Одним из таких перспективных направлений и стало строительство ледового флота. Хотя, надо отметить, что в очередной раз в своей истории СФ «Алмаз» бралась за освоение совершенно неизвестной для себя и несвойственной области.



Рис. 1. Буксир ледового класса «Невская застава» пр. 2805

В начале процесса стояло простое желание оказать сильную помощь родному городу, не ставя перед собой цели получить при этом значительную прибыль. В ответ на предложение городской администрации ОАО «Судостроительная фирма «Алмаз» в 2007 г. вошло в процедуру и выиграло тендер на строительство буксира ледового класса для аварийной службы города по ликвидации разливов нефтепродуктов «Невская застава» (рис. 1). Заказчиком судна стал Комитет по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности Правительства Санкт-Петербурга. Необходимо было создать не имеющий к тому времени аналогов, полноценный ледокол, одновременно способный ликвидировать нефтеразливы в ледовых условиях, обеспечить ледовую буксирную проводку судов и аварийно-

пожарные мероприятия в зимнее время. Все эти задачи судно должно было решать на речной и морской акваториях от Ладожского озера до всех прибрежных территорий Финского залива и не требовать для своего прохода разведения мостов Санкт-Петербурга.

Необходимость для города в создании такого буксира стала насущной в связи с ежегодной проблемой образования заторно-зажорных явлений на р.Нева в период с ноября по март и угрозой подтопления территории Невского района города, а также в связи с невозможностью оперативно ликвидировать нефтеразливы в ледовых условиях.

Проектирование было поручено специализированной проектной организации ОАО «Инженерный центр судостроения». Судно было спроектировано на класс Российского речного регистра М-СП-3,5 (лед)А водоизмещением 900 т и строилось с 2007 по 2009 г. Получив пр. 2805, совершенно новый для себя фронт работ, верфь целеустремленно решала в тесном контакте с ОАО «ИЦС», проектно-конструкторские вопросы с целью доводки конструкций судна и обеспечения качества в соответствии с требованиями заказчика. Одновременно оперативно был решен значительный объем технологических задач по освоению работы в новых условиях и на имеющихся площадях и оборудовании. Специалистами завода была освоена работа с толстолистовыми деталями из судовых сталей: поэтапная прессовая гибка при габарите деталей, учитывающем возможности оборудования; приобретено передовое сварочное оборудование и внедрены технологии сварки листов увеличенной толщины; широко стала применяться технология использования порошковой сварочной проволоки. На верфи были разработаны технологии формирования корпуса из объемных и полубъемных секций, имеющих максимально возможные для кранового оборудования массогабаритные характеристики; схемы подъема, кантования и транспортировки секций увеличенной массы; технологии формирования секций из толстолистовых деталей в положении вверх килем. Инженерами и рабочими были освоены системы и устройства, характерные именно для судов ледового плавания: конструкция и специфика работы ледовых ящиков систем охлаждения; монтаж и наладка комплекса винто-рулевых колонок; гидравлическая буксирная лебедка большой мощности; устройство подъема и опускания рулевой рубки; работа специализированного оборудования по борьбе с пожарами и разливами нефти.

Судно было успешно сдано заказчику в сроки контракта и, проведенные зимой 2009/2010 гг., ледовые испытания в русле р.Нева показали, что успешно выбранная форма корпуса ледокола в купе с возможностями мощных поворотных винтовых колонок позволяют ему успешно ходить и маневрировать во льду толщиной до 0,8–1,0 м. А в ходе дальнейшей эксплуатации было определено, что система охлаждения, дублированная через балластные цистерны ледокола, позволяет ему успешно ходить в битой ледяной «шуге», в то время как его более мощные собратья вынуждены простаивать.

Комплекс мероприятий, проведенных фирмой при строительстве судна пр. 2805, явился значительным заделом на будущее: опыт, полученный при этом, позволил фирме успешно достроить и сдать в 2011 г. головное патрульное судно пр. 22120. Судно этого проекта «Пурга» (зав. № 050) строилось также для эксплуатации в ледовых условиях: в соответствии с классом Морского регистра «Arc4» и имело водоизмещение 1160 т. Продолжение строительства судна для нового заказчика было развернуто в 2009 г., что позволило верфи в полной мере использовать опыт, полученный при строительстве первого своего ледокола. Была успешно применена система охлаждения энергетической установки на базе бокс-кулеров европейского производства, и неплохо показала себя конструкция ледовых ящиков. В рамках контракта на строительство были проведены модельные испытания ходкости и мореход-

ности, которые показали удовлетворительные результаты для предполагаемых условий эксплуатации. Кроме того, учитывая регион эксплуатации судна, верфь традиционно уделила значительное внимание качеству внутреннего оборудования судна для улучшения обитаемости экипажа. В этом отношении СФ «Алмаз» постоянно находится в современном тренде существующих в отрасли конструкторско-технологических решений по выбору материалов изоляции и отделки судовых помещений. В 2011 г. судно было успешно сдано заказчику и перешло на Дальний Восток к месту базирования.



Рис. 2. Патрульное судно ПС-824 пр. 22120

В том же году верфь начала строительство второго ледового патрульного судна пр. 22120 (зав. №051). Учитывая уровень качества построенного головного судна, заказчик заключил контракт на строительство следующего, но одновременно поставил задачу по выполнению значительного комплекса изменений для улучшения патрульных функций судна по опыту сдачи головного. На СФ «Алмаз» творчески подошли к модернизации и улучшению показателей судна: были тщательно просчитаны тяговые и пропульсивные характеристики движительного комплекса, внесены изменения в поставку оборудования; рассчитаны и установлены скуловые кили на корпусе для снижения валкости судна на волнении; подобраны поставщики и внесены изменения в расположение помещений, в комплексы связи и навигации в соответствии с требованиями заказчика. Специалистами завода была успешно решена задача размещения спасательного катера на выдвигающемся спусковом устройстве в бортовом ангаре, полностью закрывающемся снаружи. Были подобраны поставщики катера и спускового устройства, уникальных по своим компактным габаритам, но отвечающих всем требованиям заказчика и Морского регистра. Наружное закрытие ангара с гидроприводом было полностью выполнено работниками завода. На испытаниях в 2013 г. судно показало хорошие результаты по всем разделам программы испытаний и было передано заказчику в контрактный срок.



Рис. 3. Патрульное судно ледового класса ПС-825 пр. 22120

В конце 2016 г. заказчиком был заключен с ПАО «СФ «Алмаз» контракт на строительство очередного, третьего, корабля серии пр. 22120 с внесением в конструкцию судна дополнительных изменений, улучшающих его эксплуатационные качества. В первую очередь, в рамках контракта ПАО «СФ «Алмаз» были проведены в «Крыловском государственном



Рис. 4. Испытание модели судна пр. 22120 на ледопроеходимость

научном центре» модельные испытания ледопроеходимости судна и маневренности в ледовых условиях (рис. 4). По результатам испытаний определены наиболее уязвимые в прочностном отношении участки корпуса, установлена структура и перемещения поля ломанного льда вокруг корпуса при движении судна передним и задним ходом, даны рекомендации заказчику по районам и условиям предельной эксплуатации судна, определены безопасные режимы движения. Было установлено, что судно действительно соответствует классу Морского регистра «Агс4» и способно двигаться в сплошном ледяном поле толщиной до 0,8 м. Заводом решаются также задачи улучшения многофункциональности судна, его транспортных характеристик, способности перевозить и спускать малые плавсредства, оборудования судна специальным устройством для спасения людей с поверхности моря на ходу и др. Судно должно быть сдано заказчику в конце 2018 г.

В 2017 г. заводом заключен контракт на строительство полноценного морского ледокола пр. 21180М (рис. 5), разработанного АО «Конструкторское бюро «Вымпел» (Нижний-Новгород). Головное судно проекта построено в 2017 г. на «Адмиралтейских верфях» в Санкт-Петербурге. Второе модернизированное судно проекта будет строиться в соответствии с требованиями Морского регистра «Icebreaker 6» и дополнительными изменениями в отношении состава оборудования и устройств. Это будет в полном объеме ледокол для обеспечения ледовой проводки кораблей и выполнения буксирных операций, способный принимать вертолеты морской авиации.

Надо отметить, что вертолетная тематика также давно освоена ПАО «СФ «Алмаз»: с 2009 г. верфь строит корабли, способные принимать авиационную технику – пр. 22460 и

а)



б)



Рис. 6. Общий вид ледового бассейна ААНИИ (а) и самоходные испытания модели ледокола пр. 21180М (б)

пр. 22120. На кораблях пр. 22460 фирма принимает участие в конструкторских и организационных работах по адаптации созданных корабельных вертолетов на кораблях Береговой охраны ПС ФСБ РФ. Активная позиция завода при решении многих вопросов, находящихся в пограничной зоне ответственности различных ведомств, позволила выработать четкую конструктивную стратегию дооборудования корабля и провести фактические испытания его в комплексе с авиационной составляющей.

Для проверки расчетных характеристик нового ледокола верфь проводит модельные испытания ледопроеходимости будущего судна в ледовом бассейне Арктического и антарктического института РАН (далее – ААНИИ).

Ледовый бассейн ААНИИ представляет собой сложную



Рис. 5. Общий вид ледокола пр. 21180М

экспериментально-исследовательскую лабораторию по изучению процессов взаимодействия морских инженерных объектов со льдом методом физического моделирования (рис. 6, а). Однако приоритетными задачами для бассейна всегда были и остаются вопросы ледовой ходкости судов. Для проведения экспериментов на поверхности чаши бассейна намораживается так называемый «моделированный» лед, т.е. лед, прочностные свойства которого уменьшены по сравнению с аналогичными характеристиками натурального природного льда в соответствии с масштабом моделирования. В ААНИИ имеется собственная технология приготовления такого льда, защищенная патентом № 2535398.

Испытания в ледовом бассейне проводились для двух моделей ледокола, выполненных в масштабе 1:30, отличающихся формами носовых оконечностей. На рис. 7 показаны оба варианта обводов в проекции корпус, а их основные характеристики указаны в табл. 1.

Таблица 1

Основные размеры испытываемых моделей

Характеристика	Модель №1	Модель №2
Длина между перпендикулярами, мм	2526	2543
Ширина по КВЛ, мм	600	600
Осадка по КВЛ, мм	150	153
Осадка в грузу, мм	177	177

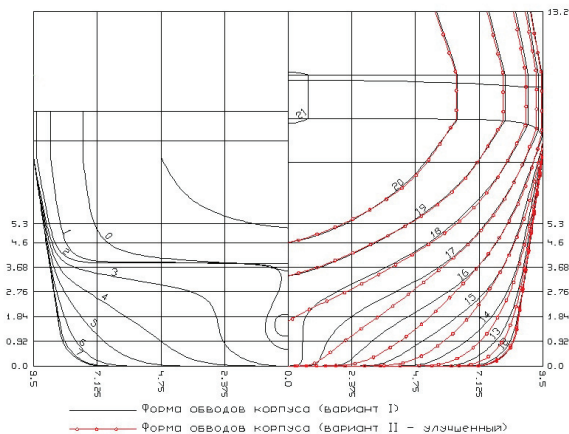


Рис. 7. Проекция «корпус» теоретического чертежа для двух моделей

— форма обводов корпуса варианта I; —●— форма обводов корпуса варианта II

Модели, изготовленные в отделах ААНИИ, оборудованы собственным движительным комплексом, состоящим из двух винто-рулевых колонок и центрального гребного винта. Наличие последних позволило помимо традиционной схемы проведения эксперимента, заключающейся в буксировке модели под действием падающего груза, реализовать метод самоходных испытаний, а также буксировочных с совместно работающими винтами. Цель таких испытаний – оценка эффективности конструктивной защиты винто-рулевого комплекса от воздействия ледовых нагрузок при движении кормой вперед. На рис. 6, б показан фрагмент с эксперимента под действием собственной тяги.

Вторая форма корпуса была получена в результате оптимизации исходной с точки зрения уменьшения ледового сопротивления, что стало возможным после испытаний первой модели на ледопробитость носом вперед.

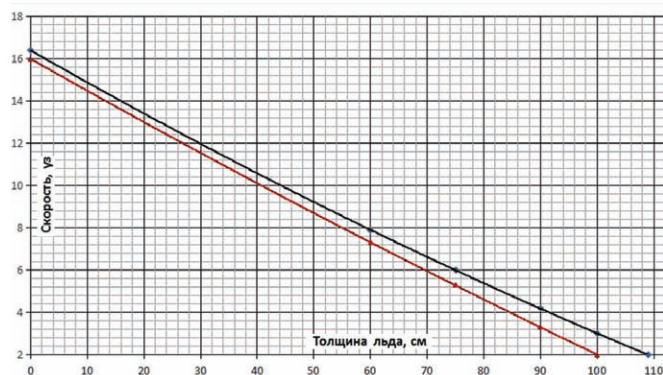


Рис. 8. Достижимые скорости ледокола пр. 21180М, рассчитанные по экспериментальным данным двух моделей
◆ – модель с улучшенными обводами; ▲ – модель с исходными обводами

Под ледопробитостью понимается предельная толщина сплошного ровного льда, которую может преодолеть судно, двигаясь с минимально устойчивой скоростью при работе энергетической установки на полную мощность. Данный показатель является основной паспортной характеристикой судов, предназначенных для эксплуатации в ледовых условиях, и на стадии модельных испытаний определяется в первую очередь. Испытания модели с улучшенными ледокольными обводами показали увеличение ледопробитости примерно на 10 %.

На рис. 8 нанесены кривые достижимых скоростей ледокола пр. 21180М на переднем ходу, полученные по экспериментальным данным двух моделей. Как видно из графика, ледопробитость судна с исходной формой носовой оконечности составляет 100 см, а с новой – около 109 см.

Для проекта ледокола на основе модельных данных специалистами из ААНИИ были разработаны полуэмпирические формулы, которые позволяют рассчитывать ледовое сопротивление судна в зависимости от толщины и прочности натурального сплошного льда при движении носом и кормой вперед. Полученные зависимости могут быть использованы в расчетах при проведении натуральных ледовых испытаний ледокола, намеченных на 2020 г.

Помимо ледопробитости была исследована ходкость ледокола в битых льдах. При этом в модельном эксперименте варьировались толщина, протяженность и сплоченность обломков полей. В результате таких испытаний были получены кривые ледового сопротивления судна в битых льдах для требуемых режимов эксплуатации.

Определены предельные характеристики параметров движения судна во льду с оценкой функциональности формы корпуса и определением угрожаемых в прочностном отношении районов. Подтверждена обоснованность выбранной формы корпуса и параметров пропульсивного комплекса, а также полное соответствие заявленному классу «Icebreaker 6».

Основываясь на опыте предыдущего строительства судов ледового класса, сегодня на заводе прорабатываются специальные технологии строительства и организация производства на своих производственных площадях.

И, наконец, следует сказать, что специалисты ПАО «СФ «Алмаз», получив опыт строительства ледоколов и судов ледового класса, проведя реструктуризацию производственных мощностей, готовы к реализации новых, еще более сложных проектов и в будущее смотрят весьма уверенно. ■

Как уже не раз отмечали авторы, суда «Волго-Дон макс» класса являются наиболее востребованными на отечественном рынке [2, 7], и оценка риска их эксплуатации представляет большой интерес для судовладельцев, проектантов, надзорных органов и страховых компаний.

Первым в этом классе в 1960 г. был построен (на Окской судовой верфи в Навашино) сухогрузный теплоход пр. 507 «Волго-Дон 1» габаритными размерами (длиной × шириной × высотой борта × осадкой) 138,3×16,70×5,50×3,5 м (в соответствии с габаритами вновь построенного Волго-Донского судоходного канала) [1]. Судно проектировалось ЦКБ «Вымпел» (главный конструктор В.А. Евстифеев) для эксплуатации на реках и водохранилищах Центрального бассейна единой глубоководной системы внутренних водных путей СССР без ограничений по погоде, с ледовыми подкреплениями для плавания в битом льду. Предназначен для перевозок массовых грузов на класс «О» Речного Регистра РСФСР. Технический проект был утвержден в 1958 г., головное судно вышло на ходовые испытания в ноябре 1960 г.

В итоге было получено от Окской судовой верфи и румынского завода Олтеница 227 самоходных судна типа «Волго-Дон» пр. 507, 507А, 507Б, 1565, 1566, 1565М, 1565А, 1565МА и их продолжения – 63 судна типа «Волжский» пр. 05074, 05074М, 05074А.

Кроме того, для реализации концепции составного судна построили 28 барж-приставок (несамоходных) типа «Волжский» пр. 05074.

На январь 2017 г. в эксплуатации в России формально находилось 166 сухогрузных самоходных судна типа «Волго-Дон» / «Волжский», из них 35 в негодном техническом состоянии. За прошедшие годы практически все суда были переклассифицированы (или сразу строились) из озерных в суда смешанного река-море плавания (М-СП – 10 судов, М-ПР – 18 судов, О-ПР – 68 судов, R3-RSN – 15 судов, R2-RSN – 41 судно). Всего в классе PPP осталось 96 судов этого типа в исходном сухогрузном варианте.

В целом суда типа «Волго-Дон» / «Волжский» были и есть «рабочими лошадками» отечественного водного транспорта, которые обеспечивают перевозку значительной части навалочных грузов, в том числе экспортных, на рейдовые перевалочные комплексы. До появления в 2010 г. судов пр. RSD44 они были самыми большими в мире речными сухогрузными судами и полностью соответствовали поставленным при проектировании задачам.

Однако средний возраст находящихся в работе сухогрузных судов типа «Волго-Дон» пр. 1565 уже составляет

39,5 лет, пр. 507, 507А, 507Б – 42 года, пр. 05074 – 27,2 года.

Безусловно, такой солидный возраст для грузовых судов, активно эксплуатирующихся как в морских ограниченных районах, так и на внутренних водных путях, не может не оказать влияния на надежность их корпусов, устройств, систем, что, естественно, не раз уже приводил к авариям.

Цель статьи – оценка перспектив эксплуатации существующих сухогрузных судов типа «Волго-Дон» и «Волжский» на основе анализа происшедших с 1991 г. по настоящее время аварий с корпусами и устройствами, а также с пожарами и взрывами.

Сухогрузные суда пр. 507, 507Б, 1565, 05074М стальные, однопалубные, двухвинтовые грузовые, без седловатости, с двойным дном высотой 900 мм, с наклонными двойными бортами шириной 1680–2150 мм, с полубаком, с машинным отделением, жилой и рулевой рубками, расположенными в корме, с одним, двумя, четырьмя грузовыми трюмами. Предназначены для перевозки угля, концентратов, апатитов, зерна, соли, леса и генеральных грузов.

Мидель-шпангоут судна приведен на рис. 1. Шпанция поперечного набора в средней части составляет 600 мм, расстояния между продольными балками – 500–550 мм, рамная шпанция в средней части – 1800 мм.

Для ледового корпуса были использованы легированная сталь марки МК-35, предел текучести – 343 МПа (продольные комингсы, ширстрек, палубный настил и продольные ребра в районе шп. 20–184); сталь с пределом текучести 235 МПа (для прочих конструкций).

Система набора смешанная: палуба и днище в районе грузовых трюмов на-

браны по продольной системе, остальные – по поперечной.

Толщины листов обшивки бортов – 8, 9 мм, днища – 7, 8 мм; палубы – 6, 8, 10 мм; ледовый пояс в носовой части – 10 мм. Толщина настила второго дна – 10 мм. Основной набор (шпангоуты, продольные ребра жесткости второго дна, днища, верхней палубы) сделан из полособульбов 12. Толщина стенки флора, днищевого стрингера, рамного шпангоута, бортового стрингера, рамного бимса, стенки вертикального килля – 7 мм. Рамные шпангоуты в районе грузовых трюмов установлены через три шпанции.

Как отмечалось в [1], при создании конструкции с двойным дном и двойными бортами с высокой степенью раскрытия палубы широко применялся расчетный метод, так как действовавшие тогда правила класса не распространялись на такие решения.

Серия судов непрерывно совершенствовалась – появились пр. 507Б, 1565, 05074М и др.

На первых судах грузовое пространство было разделено на четыре трюма. На некоторых проектах от поперечных переборок в дальнейшем отказались (длина единого трюма стала более 90 м). Для уменьшения изгибающих моментов при переходах в балласте в районе миделя был установлен диптанк, судно стало двухтрюмным.

Для защиты от забрызгивания грузов при переходе через Ладожское и Онежское озера были установлены облегченные люковые закрытия (допускаемое давление 0,20 МПа на нагрузку от снега и льда во время зимнего перестоя).

Начиная с «Волго-Дона 25», на судах серии стали устанавливать дизели советского производства 6ЧРН 36/45.

ПЕРСПЕКТИВЫ КЛАССИЧЕСКИХ СУХОГРУЗНЫХ СУДОВ ТИПА «ВОЛГО-ДОН» И «ВОЛЖСКИЙ»

Г.В. Егоров, д-р техн. наук, проф., ген. директор,
А.Г. Егоров, канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник,
ООО «Морское Инженерное Бюро-СПб»,
контакт. тел. (812) 2336403

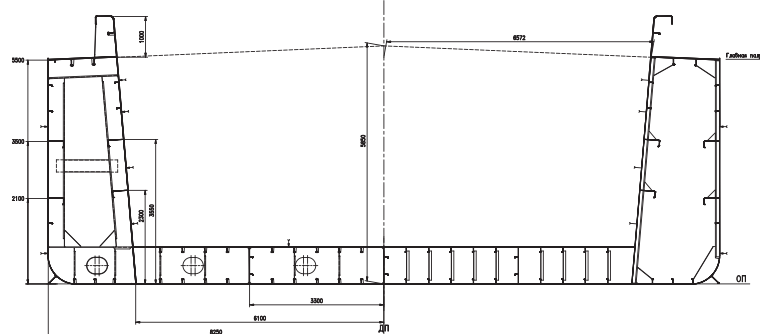


Рис. 1. Мидель-шпангоут судна типа «Волго-Дон»

Суда пр. 1565 и пр. 05074М строились на класс «О-пр» Речного Регистра и допускались к эксплуатации в крайне ограниченных морских районах (например, в Черном море в пределах 5-мильной прибрежной зоны от п. Одесса до Дунайской прорвы в сезон март–октябрь, а также от п. Очаков до п. Одесса и от п. Очаков до п. Скадовск в сезон март–ноябрь) при ограничении допускаемой высоты волны 3%-ной обеспеченности до 2 м и грузоподъемности до 5000 т.

В 1993 г. ЦКБ «Вымпел» и в 1994 г. АО «ИЦС» (бывшее НПО «Судостроение») разработали проекты модернизации судов указанного типа на класс «М-СП» Речного Регистра.

Но изначально суда проектировались по требованиям класса «О», соответственно, ресурс по износу при условии работы корпуса в этом же классе составляет, как правило, 20–25 лет и более.

Эксплуатация судов в классе «М» (т.е. через Ладогу и Онегу) снизила ресурс всех поясьев наружной обшивки толщиной 7 мм до 19 лет, а в носовой оконечности – до 10 лет при обеспечении выхода судов в море в классе «М-ПР» – ресурс составил от 15 лет, в классе «М-СП» – от 8 лет (но не более 19 лет).

Понятно, что дальнейшая эксплуатация еще находящихся в работе судов типа «Волго-Дон» (а судя по фактическим ремонтам, и судов типа «Волжский»), средний возраст которых – около 40 лет, в классах смешанного река-море плавания возможна только после существенного ремонта, с заменой в итоге более 50% обшивки (рис. 2).

Несколько лучше обстоит дело с конструкцией двойного дна, но и их ресурс при эксплуатации в море ограничивается 10–15 годами, что, собственно, и наблюдается на практике.

Если добавить к обычным износам еще и классическую повреждаемость настила второго дна грейферами, а также износы настила второго дна и нижних поясьев второго борта и поперечных переборок при перевозке агрессивных грузов типа серы, то в целом приходится иметь дело с очень большим объемом ремонта.

Вероятно, мы не откроем большого секрета из того, что ряд частных судовладельцев уже изобрел некую формулу «успеха» – надо ремонтировать либо внутренний контур (второе дно – второй борт), либо наружную обшивку.

В итоге на сегодняшний день из 119 сухогрузных судов типа «Волго-Дон» пр. 507, 507А, 507Б (строились в 1960–1980 гг.) списано 39%, или 46 ед., причем 4 были утрачены в результате катастроф, а сданы на металлолом 42 ед., в возрасте в среднем 37,8 лет. В эксплуатации сейчас находится 51 судно средним возрастом 42 года, в отстое – 22 средним

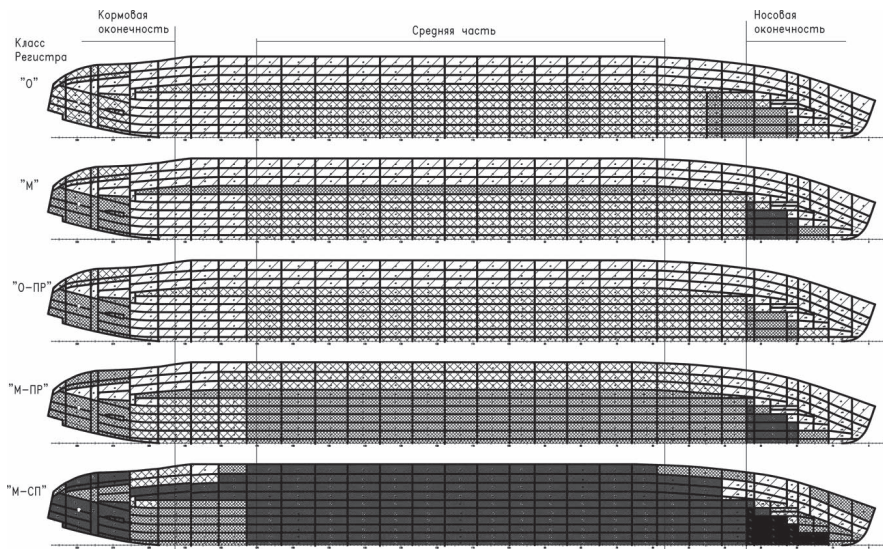


Рис. 2. Изменение ресурса обшивки судна пр. 507Б в зависимости от района его эксплуатации

■ – менее 5 лет; ■ – 5 лет ≤ ресурс ≤ 10 лет; ■ – 10 лет ≤ ресурс ≤ 15 лет; ■ – 15 лет ≤ ресурс ≤ 20 лет; / / – ресурс > 20 лет

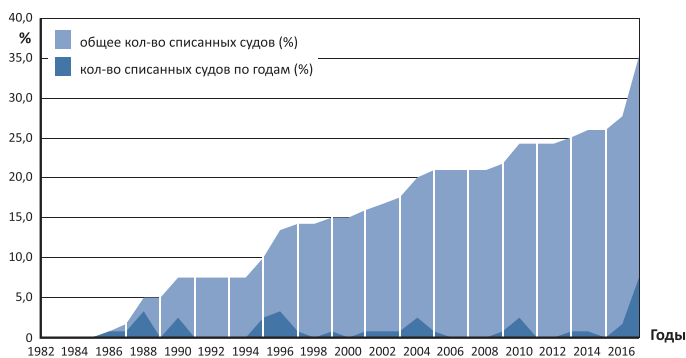


Рис. 3. Количество списанных судов в процентном отношении ко всем судам пр. 507А и пр. 507Б типа «Волго-Дон»

возрастом 46,3 года. Основной график списания судов имеет линейный характер (рис. 3). Суда сейчас работают, как правило, на реке.

Однако в 2017 г. было списано сразу 9 судов (рис. 4), что является признаком физического старения корпуса, так как суда такого типа востребованы на рынке [8].

Из 108 сухогрузных судов типа «Волго-Дон» пр. 1565 (строились в 1968–1990 гг.) списано 17%, или 18 ед., причем 5 были утрачены в катастрофах,

а сданы на металлолом 13 со средним возрастом 34,7 года. В эксплуатации сейчас находится 81 судно со средним возрастом 39 лет, в отстое – 9 возрастом 44,6 года. Под флагом России работает 66 судов этого типа.

Всего авторами было обработано 146 аварий и катастроф с судами, находившимися под надзором РРР и РС, а также других классификационных обществ. Суда имели ограничения по величине высоты волны 1%-ной обеспеченности [$h_{1\%}$] от 1,5 до 2,0 м и 3%-ной

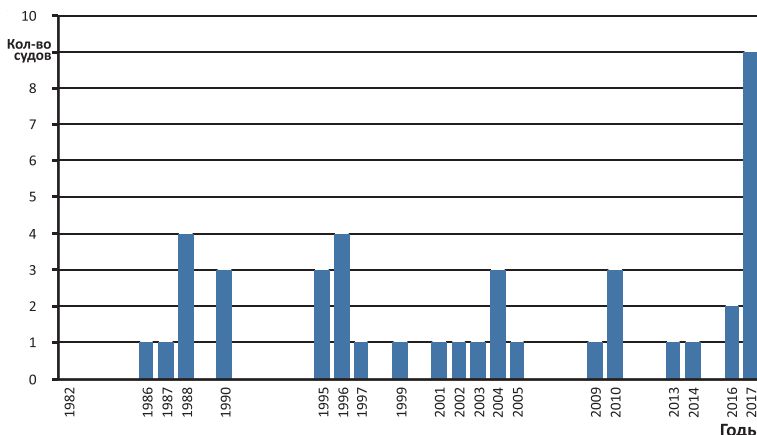


Рис. 4. Количество утилизированных судов пр. 507А и пр. 507Б типа «Волго-Дон» с распределением по годам

Таблица 1
Классификация последствий аварий и аварийных ситуаций с судами типа «Волго-Дон» и «Волжский»

Уровень последствий C	Кол-во происшествий и катастроф	Степень повреждения		
		Воздействие на людей	Воздействие на окружающую среду	Повреждение технических средств
1 – Light Incident	82	Нет	Нет	Ничтожное
2 – Incident	40	Легкое телесное повреждение	Ничтожное	Незначительное
3 – Casualty	8	Серьезное, необратимое телесное повреждение	Существенное	Серьезное
4 – Serious Casualty	15	Потеря человеческой жизни	Критическое	Значительное
5 – Very Serious Casualty	1	Много человеческих жертв	Катастрофическое	Гибель судна

обеспеченности [$h_{3\%}$] от 1,5 до 4,5 м.

Согласно [3], по степени повреждений, нанесенных людям, окружающей

среде и техническим средствам, указанные ситуации условно классифицированы по пяти уровням последствий

(табл. 1). Формальная оценка последствий обозначается величиной C, определяемой по 5-балльной шкале.

В табл. 2 дана предложенная в [4] и расширенная в [5, 6] краткая классификация основных групп идентифицированных опасностей, имеющих значение для исследования надежности и безопасности судов внутреннего и смешанного река-море плавания.

Общая частота возникновения опасности во всех исследуемых случаях определяется как $F_{AB} = NI/N_{AB}$, частота возникновения опасности для наиболее тяжелых случаев (катастроф), имеющих уровни последствий $C = 4$ и $C = 5$ $F_{КАТ} = N_i/N_{КАТ}$, где N_i – число аварийных ситуаций с i -й опасностью, N_{AB} – количество всех изучаемых аварий, $N_{КАТ}$ – количество катастроф.

Таблица 2
Идентифицированные опасности для судов типа «Волго-Дон» и «Волжский»

№	Опасность	$F_{AB}, \%$	$F_{КАТ}, \%$
1	Опасности, связанные с техническим состоянием корпуса, машин, механизмов и систем судна	100,0	100,0
1.1	Несоответствие технологий, уровня качества и допускаемых дефектов речного судостроения требованиям для морской эксплуатации	8,22	56,25
1.2	Водотечность наружной обшивки, настила второго дна, обшивки второго борта, обшивки поперечных переборок, стенок цистерн	32,19	100
1.3	Нарушение технологии при выполнении построечных, ремонтных и модернизационных работ	81,51	43,75
1.4	Пропуски дефектов при дефектации корпуса, машин, механизмов и устройств	76,71	93,75
1.5	Ошибки проектировщиков	0,7	-
1.6	Неисправности и выход из строя машин и механизмов	23,97	37,5
1.7	Большие объемы замен корпусных конструкций при ремонте	9,59	18,75
1.8	Невыполнение требований международной конвенции по грузовой марке в отношении люковых крышек, комингсов и конструкций воздушных труб, вентиляторов, непроницаемых дверей	5,48	25
1.9	Неисправности и выход из строя якорного устройства	6,16	6,25
1.10	Неисправности и выход из строя судовых систем	2,74	6,25
1.11	Неисправности и выход из строя рулевого устройства	50,69	6,25
1.12	Неисправности и выход из строя грузового устройства	-	-
2	Опасности, связанные с нарушениями технологии перевозки груза	8,9	50,0
2.1	Перевозка металлолома	6,85	31,25
2.2	Перевозка взрывоопасных грузов	-	-
2.3	Грузовые операции с применением грейферов, тяжелых погрузчиков и бульдозеров	5,48	25
2.4	Нарушение порядка погрузки/выгрузки в порту, «Инструкции по загрузке», «Наставления по креплению грузов», «Информации об остойчивости»	6,85	37,5
3	Опасности, связанные с действиями судовладельца, береговых операторов и экипажа	84,9	100,0
3.1	Балластировка, не соответствующая указаниями «Инструкции по загрузке и балластировке»	2,06	6,25
3.2	Сознательное нарушение установленных ограничений по району, сезону плавания	15,07	43,75
3.3	Сознательные и кратковременные посадки на мель, выморозка	6,16	6,25
3.4	Навигационные ошибки	32,88	68,75
3.5	Контакт с льдом, контакт со стенками причалов и шлюзов, столкновение с другим судном	34,25	31,25
3.6	Халатное отношение служб порта, бассейнового управления, СРЗ	49,32	56,25
3.7	Ошибка прогноза	30,82	68,75
3.8	Перегруз судна	1,37	12,5
3.9	Смена судовладельца	17,12	50
3.10	Сознательная эксплуатация при негодном техсостоянии	2,06	18,75
3.11	Нарушение условий перегона, буксировки	2,74	12,5
3.12	Нарушение безопасного режима отстоя судов	3,43	12,5
3.13	Халатность экипажа, несоблюдение им ЭТД, ПТЭ	53,43	50

Идентификация и последствия опасностей, способствовавших авариям судов типа «Волго-Дон» и «Волжский» (примеры)

Проект, название, дата постройки, возраст на момент аварии, дата аварии	Вид опасности и относительная ответственность													Последствие																		
	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	1.10	1.11	1.12	2.1	2.2	2.3	2.4	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8	3.9	3.10	3.11	3.12	3.13	Формализованный уровень последствий С		
Пр. 1565, «Палладий», 1984, 19 лет, 21.01.2003, [h _{3%}] = 2,5 м			1																		2	3									2	Деформация корпусных конструкций. Эксплуатация в ледовых условиях (2)
Пр. 1565, «Волго-Дон 5069», 1977, 26 лет, 05.11.2003, [h _{1%}] = 2 м		2	1	1														3			3		2								2	Деформация корпусных конструкций, трещины, пробоины. Нарушение ветроволнового режима (2)
Пр. 507Б, «30 лет Победы», 1975, 17 лет, 23.10.1992, [h _{3%}] = 2 м			2	1							3											2										Поломка гребного вала. Некачественный ремонт (1)
Пр. 05074М, «Владимир Фильков», 1991, 10 лет, 11.07.2001, [h _{3%}] = 3,5 м				1							3											2										Потеря гребного винта. Некачественный монтаж (2)
Пр. 1565, «Волго-Дон 5056», 1974, 25 лет, 23.03.1999, [h _{1%}] = 2,5 м			1	2																		3			1						1	Пожар во время сварочных работ (2)

Обращает на себя внимание тот факт, что для ряда опасностей $F_{\text{КАТ}} > F_{\text{АВ}}$, что свидетельствует об их значительной роли в увеличении степени тяжести последствий событий. Среди них – несоответствие технологий, уровня качества и допускаемых дефектов речного судостроения требованиям для морской эксплуатации (опасность 1.1) и близкая к ней по сути опасность 1.7 – большие объемы замен корпусных конструкций при ремонте; водотечность непроницаемых конструкций (опасность 1.2) и близкая к ней по сути опасность 1.8 – невыполнение условий МК-66 (т.е. потенциальная водотечность); опасность 2.1 – перевозка металлолома, 2.3 – применение грейферов, 2.4 – нарушения во время погрузочно-разгрузочных работ.

Отмечается существенная доля в событиях, имеющих последствия $C = 4$ и $C = 5$, человеческого фактора в виде ошибок при проведении дефектации

(опасность 1.4), при эксплуатации судна (опасности 3.2, 3.4, 3.7, 3.10).

Особую роль играет смена судовладельца (опасность 3.9), которая сопутствует значительному числу катастроф. Можно сказать, что именно переход судов из классических структур пароходств в небольшие частные компании инициирует значительную часть других опасностей (например, опасности 1.2, 1.3, 3.6, 3.13).

Суда типа «Волго-Дон» и «Волжский» в связи с их пониженным стандартом прочности при эксплуатации в море (в непереоборудованном состоянии) имеют меньше запасы прочности, чем аналогичные суда неограниченного района плавания. Поэтому все факторы, приводящие к запроектному росту усилий на тихой воде и на волнении – опасности 1.1, 3.2, 3.3, 3.7, 3.8 – отражаются на тяжести последствий воздействия этих опасностей на корпус рассматриваемых судов.

Суда работают в тяжелых условиях мелководья и частых шлюзований (до 30 в одном рейсе) летом и в ледовой обстановке зимой (если имеют классы смешанного река-море плавания), что повышает весомость опасности 3.5, так как она в силу накопления деформационных повреждений и истирания наружной обшивки снижает несущую способность корпусов судов.

Обобщенные данные табл. 2 сформированы на основании обработки аварий и аварийных происшествий (для случаев с $C = 1$, $C = 2$ и $C = 3$ примеры анализа приведены в табл. 3, для случаев с $C = 4$ и $C = 5$ – в табл. 4).

Все рассмотренные случаи были проанализированы на основе тех данных, которые имелись в распоряжении (начиная с 1991 г.), а также с помощью математического моделирования разных сценариев развития событий путем построения деревьев отказов (причин) и деревьев событий (последствий). Полученные здесь

Таблица 4

Идентификация и последствия опасностей, способствовавших катастрофам судов типа «Волго-Дон» и «Волжский» (примеры)

Проект, название, дата постройки, возраст на момент аварии, дата аварии, [h _{3%}]	Вид опасности и относительная ответственность													Последствие																	
	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	1.10	1.11	1.12	2.1	2.2	2.3	2.4	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8	3.9	3.10	3.11	3.12	3.13	Формализованный уровень последствий С	
Пр. 1565, «Волго-Дон 5076», 1980, 22 года, 15.05.2002, [h _{3%}] = 2,5 м	1	3					1					1									2	3	1								Затонул. Навал на опору Саратовского моста (4)
Пр. 1565, «Волго-Дон 5016», 1969, 39 лет, 01.07.2008, [h _{3%}] = 2 м		2	1			1															2	3	1								Затонул. Судоводительская ошибка (4)
Пр. 507Б, «Волго-Дон 145», 1971, 30 лет, 05.10.2001, [h _{3%}] = 2 м		2	1	1		2	1												3	2											Затоплено МО из-за полученной пробоины, пожар в надстройке из-за короткого замыкания при затоплении (4)
Пр. 507Б, «Волго-Дон 107», 1969, 37 лет, 17.07.2006, [h _{3%}] = 2 м		3		1																1	3	2	1								Затонул от удара в борт другим судном. Пьяный судоводитель т/х «Капитан Соловьев» (4)
Пр. 05074М, «Стрелец», 1990, 13 лет, 03.02.2003, [h _{3%}] = 3,5 м		3	2	1	2			1				1	1				3		2			2		1					1	Перелом корпуса во время рейса, затопление. Нарушение района плавания (5)	

Формальная оценка риска судов типа «Волго-Дон» и «Волжский»

Опасность	Все случаи			Катастрофы		
	F	C	R	F	C	R
1.1	0,411	2,028	0,833	2,813	2,481	6,979
1.2	1,61	1,511	2,432	5	2,375	11,875
1.3	4,075	0,686	2,797	2,188	2,333	5,104
1.4	3,836	0,75	2,877	4,688	1,822	8,542
1.5	0,034	0,667	0,023	0	-	-
1.6	1,199	0,895	1,073	1,875	1,556	2,917
1.7	0,479	0,714	0,342	0,938	1,333	1,25
1.8	0,274	1,042	0,285	1,25	1,75	2,188
1.9	0,308	1,333	0,411	0,313	1,333	0,417
1.10	0,137	0,75	0,103	0,313	1,333	0,417
1.11	2,534	1,059	2,683	0,313	1,333	0,417
1.12	0	-	-	0	-	-
2.1	0,342	0,867	0,297	1,563	1,4	2,188
2.2	0	-	-	0	-	-
2.3	0,274	1	0,274	1,25	1,417	1,771
2.4	0,342	1,933	0,662	1,875	2,667	5
3.1	0,103	1,778	0,183	0,313	2,667	0,833
3.2	0,753	1,985	1,495	2,188	3,19	6,979
3.3	0,308	1,296	0,4	0,313	4	1,25
3.4	1,644	1,417	2,329	3,438	2,606	8,958
3.5	1,712	1,927	3,299	1,563	4	6,25
3.6	2,466	1,125	2,774	2,813	2,519	7,083
3.7	1,541	1,141	1,758	3,438	2,121	7,292
3.8	0,068	1,333	0,091	0,625	1,333	0,833
3.9	0,856	1	0,856	2,5	1,875	4,688
3.10	0,103	1,333	0,137	0,938	1,333	1,25
3.11	0,137	2,667	0,365	0,625	4	2,5
3.12	0,171	1,867	0,32	0,625	2,667	1,667
3.13	2,671	1,205	3,219	2,5	2,208	5,521

выводы не всегда совпадают с официальными заключениями и носят сугубо исследовательский характер.

В табл. 3 и 4 по каждой опасности указан по 3-бальной шкале коэффициент относительной ответственности (весомости) в рассматриваемом случае. По результатам исследования методами теории риска каждого происшествия назначались баллы: 3 – опасность прямого действия, непосредственно приведшая к аварии; 2 – опасность косвенного действия, вызвавшая к жизни опасности с баллом 3; 1 – фоновые опасности, оказавшие неблагоприятное воздействие на ситуацию.

Для каждой опасности был определен обобщенный уровень риска судов R как произведение вероятности возникновения опасности F на последствия ее воздействия на объект C . Условная вероятность F определялась по 5-бальной шкале: 1 – частота возникновения в 0–20% аварийных случаях, 2 – 21–40%, 3 – 41–60%, 4 – 61–80%, 5 – 81–100%.

В табл. 5 представлена формальная оценка риска, полученная в двух вариантах: всех рассмотренных аварийных ситуаций и для катастроф.

На основе данных табл. 5 были построены матрицы риска судов типа «Волго-Дон» и «Волжский»: на рис. 5, а – для всех аварийных случаев и происшествий, исследуемых в статье, на рис. 5, б – для катастроф.

Анализ рис. 5 позволяет сделать следующие выводы о ранжировании опасностей:

– наибольшую опасность судов типа «Волго-Дон» и «Волжский» представляют фактическое обеспечение непроницаемости корпусных конструкций (опасность 1.2), нарушение ограничений (3.2), контакты со льдом, со стенками причалов и шлюзов, столкновения с другими судами (3.5);

– несоответствие технологий, уровня качества и допускаемых дефектов речного судостроения требованиям для морской эксплуатации (опасность 1.1) и нарушение «Инструкции по загрузке» имеют достаточно высокий формальный уровень риска как по частоте, так и по последствиям, относятся к так называемой зоне ALARP, т.е. находятся в

пределах практически минимально допустимого риска (2.4);

– посадки на мель (3.3), нарушение условий буксировки или перегона (3.11) относятся к зоне ALARP за счет тяжести последствий;

– навигационные ошибки (3.4), пропуски дефектов при дефектации (1.4), ошибки прогноза (3.7) относятся к зоне

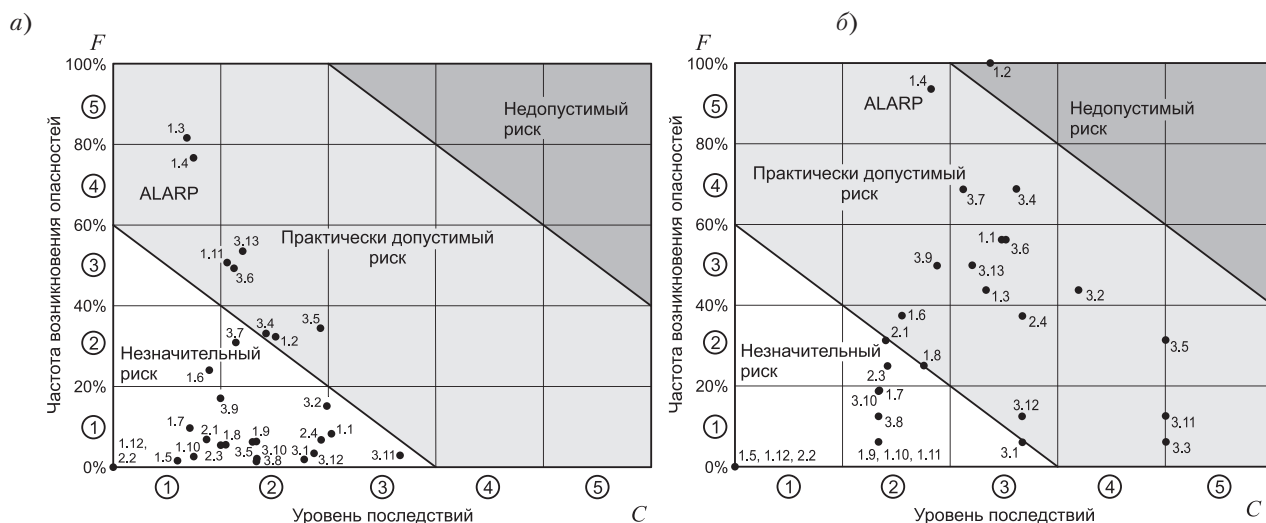


Рис. 5. Матрица риска судов типа «Волго-Дон» и «Волжский»: а – для всех исследованных аварий; б – для катастроф

Распределение аварий в зависимости от класса

Класс аварии	Затопление	Пожары и взрывы	Повреждения корпуса	Повреждения устройств	Σ
Аварии и катастрофы					
Количество	9	7	63	67	146
Относительная доля, %	6,2	4,8	43,2	45,9	100,0
Аварии					
Количество	0	5	58	67	130
Относительная доля, %	0,0	3,8	44,6	51,5	100,0
Катастрофы					
Количество	9	2	5	0	16
Относительная доля, %	56,3	12,5	31,3	0,0	100,0
Относительная опасность класса аварии					
Доля аварий в общем количестве событий, %	0	71	92	100	
Доля катастроф в общем количестве событий, %	100	29	8	0	

ALARP за счет высокой частоты возникновения.

Согласно подходам, принятым в методе формализованной оценки безопасности [2, 4], опасности, которые отнесены по уровню риска к зоне «недопустимого риска», должны быть подвергнуты процедуре управления риском (снижения частоты и/или последствий) при любом уровне затрат, требуемых для этого. Опасности из зоны ALARP требуют проведения технико-экономического анализа с определением оптимальных по стоимости мероприятий по снижению уровня риска.

Решение задачи управления риском судов типа «Волго-Дон» и «Волжский» при воздействии опасности 1.2 лежит в сфере организационно-технических мероприятий при проведении наблюдения за фактическим состоянием корпусов судов в ходе эксплуатации.

На основании статистики были построены графические зависимости числа аварий и катастроф от возраста судна (рис. 6) и распределение по годам (рис. 7).

На рис. 6 наблюдается устойчивый рост аварийности для судов старше 15 лет с пиком аварий для судов с возрастом 23–26 и 33–40 лет. Полученные данные можно считать не совсем полными, так как отсутствуют в необходимом для статистики объеме данные по аварийным происшествиям до 1991 г.

Рис. 7 позволяет отметить рост аварийных случаев, начиная с 2000 г. Максимальное количество аварийных случаев приходится на 2002, 2003, 2008, 2016 гг. (11–12 случаев в год).

Интерес представляет также распределение по классам аварий (табл. 6). Графически роли различных классов аварий представлены на рис. 8–10. Как видно из табл. 6, при всех уровнях последствий 45,9% всех аварий приходится на повреждения устройств, 43,2% – на повреждения корпуса, чуть более 6% на затопление, на пожары и взрывы – менее 5%.

За анализируемый период (с 1991 г. по настоящее время) произошло 16 катастроф (из них больше половины приходится на затопление, почти треть на повреждения корпуса и 12,5% на пожары и взрывы). Не зафиксировано ни одного

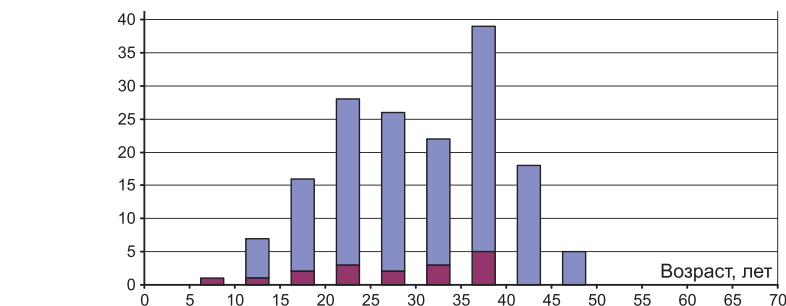


Рис. 6. Зависимости количества аварий и катастроф от возраста судна

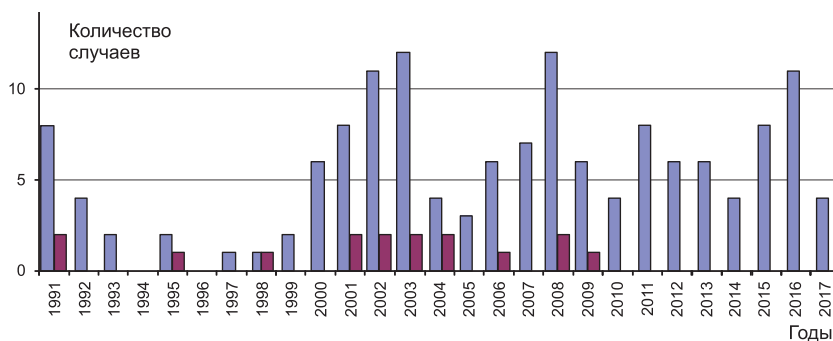


Рис. 7. Распределение количества аварий и катастроф по годам

события, связанного с повреждениями устройств, которое привело бы к катастрофе.

Если не брать во внимание нарастающие проблемы в техническом состоянии, то, исходя из статистически определенных закономерностей списания по каждому проекту, из 179 сухогрузных

судов типа «Волго-Дон» / «Волжский» к 2020 г. останется 148, к 2025 г. – 97. Однако, скорее всего, эти оценки являются весьма оптимистичными, так как потребуются значительное увеличение финансирования ремонта этих судов, включая замены машин и механизмов, что пока еще не делается.

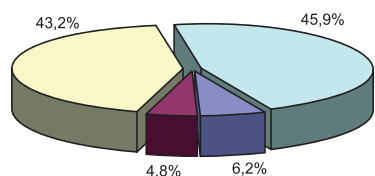


Рис. 8. Роль различных классов аварий (при всех уровнях последствий)

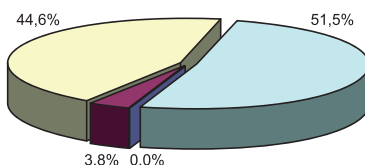


Рис. 9. Распределение типов аварийных ситуаций при авариях

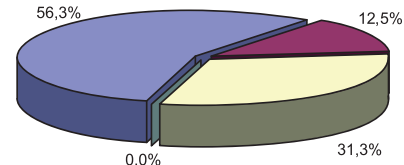


Рис. 10. Распределение типов аварийных ситуаций при катастрофах

Прогноз выбытия судов типа «Волго-Дон» / «Волжский» на июнь 2017 г.

Проект	Прогнозируемый год выбытия серии	Остаточный ресурс, лет	Кол-во действующих судов на 2017 г, ед.	Прогноз количества судов, ед.	
				на 2020 г.	на 2025 г.
«Волго-Дон» (пр. 507А, 507Б)	2030	13,0	51	38	14
«Волго-Дон» (пр. 1565)	2034	17,0	81	70	56
«Волжский» (пр. 05074)	2036	19,0	47	40	27
Всего			179	148	97

Выводы. На сегодняшний день из 119 сухогрузных судов типа «Волго-Дон» проектов 507, 507А, 507Б (строились в 1960–1980 гг.) списано 39%, или 46 ед., причем 4 были утрачены в катастрофах, а сданы на металлолом 42 ед. со средним возрастом 37,8 лет. В эксплуатации сейчас находится 51 судно со средним возрастом 42 года, в отстое – 22 со средним возрастом 46,3 года. Основной график списания судов имеет линейный характер. Суда сейчас работают, как правило, на реке.

Однако в 2017 г. было списано сразу 9 судов, что является признаком физического старения корпуса, так как сам тип таких судов востребован на рынке.

Из 108 сухогрузных судов типа «Волго-Дон» пр. 1565 (строились в 1968–1990 гг.) списано 17%, или 18 ед., причем 5 были утрачены в катастрофах, а сданы на металлолом 13 ед. со средним возрастом 34,7 года. В эксплуатации находится 81 судно со средним возрастом 39 лет, в отстое – 9 со средним возрастом 44,6 года. Под флагом России работает 66 судов этого типа.

Изначально суда проектировались по требованиям класса «О», соответственно, ресурс по износу при условии работы корпуса в этом же классе составляет, как правило, 20–25 лет и более, но сейчас им уже в среднем 40–42 года.

Эксплуатация в классе «М» (т.е. через Ладогу и Онегу) снизила ресурс всех поясков наружной обшивки толщиной 7 мм до 19 лет, а в носовой оконечности – до 10 лет. При обеспечении выхода судов в море в классе «М-ПР» ресурс составил от 15 лет, в классе «М-СП» – от 8 лет (но не более 19 лет).

Ресурс в море конструкций двойного дна ограничивается 10–15 годами, что, собственно, и наблюдается на практике.

Если добавить к обычным износам еще и классическую повреждаемость настила второго дна грейферами, а также износы настила второго дна и нижних поясков второго борта и поперечных переборок при перевозке агрессивных грузов типа серы, то в целом мы имеем дело с очень большими объемами ремонта.

В итоге с 1991 г. по настоящее время произошло 16 катастроф (из них больше половины приходится на затопления из-за нарушения непроницаемости, почти треть на повреждения корпуса и 12,5% – на пожары и взрывы), что свидетельствует о недостаточном фактическом ресурсе корпусов этих судов в новых условиях эксплуатации.

Наибольшую опасность для судов типа «Волго-Дон» и «Волжский» представляют фактическое обеспечение непроницаемости корпусных конструкций, нарушение ограничений, контакты со льдом, со стенками причалов и шлюзов, несоответствие технологий, уровня качества и допускаемых дефектов речного судостроения требованиям для морской эксплуатации.

Крайнестораживающим является рост аварийных случаев, начиная с 2000 г. В 2002, 2003, 2008, 2016 гг. доходило до 11–12 случаев.

Данные по ремонту судов типа «Волго-Дон»: корпус (в том числе надстройка, окраска, крышки) – 75%, механизмы и электрооборудование – 15–20%. Причем проблема сейчас не только в «железе», но и в поддержании нормального состояния оборудования – нет качественных запчастей, моторесурс главных и вспомогательных двигателей выработан, заводов, которые их производили, тоже нет.

Вероятно, в такой ситуации следует рационально планировать строительство нового флота внутреннего и сме-

шанного плавания – рынок сухогрузных перевозок к 2025 г. существенно «освободится», так как фактический ресурс корпусов и оборудования большинства сегодняшних «рабочих лошадок» – «Волго-Донов», а за ними и «Волжских» – будет выработан.

ЛИТЕРАТУРА

1. Евстифеев В.А., Рабазов Ю.И., Русенко А.П. Теплоходы типа «Волго-Дон» – основа речного грузового флота страны // Судостроение. – 1986. – №11. – С. 3–6.
2. Егоров Г.В. Проектирование судов ограниченных районов плавания на основании теории риска. – СПб.: Судостроение, 2007. – 384 с.
3. Егоров Г.В. Развитие требований к средствам контроля загрузки морских и смешанного плавания судов // Автоматизация судовых технических средств: Науч.-техн. сб. – Вып. 5. – Одесса: ОГМА, 2000. – С. 36–53.
4. Егоров Г.В. Исследование риска при эксплуатации судов смешанного плавания // Сб. науч. трудов УГМТУ. – Николаев: УГМТУ. – 2000. – №5. – С. 49–59.
5. Егоров Г.В., Егоров А.Г. Анализ риска и надежности нефтеналивных судов типа «Волго-Дон» проектов 558/550 и 1577/550А // Морской вестник. – 2013. – №3 (47). – С. 39–45.
6. Егоров А.Г. Анализ причин и последствий аварий судов внутреннего и смешанного плавания за 1991–2010 годы // Проблемы техники. – 2011. – №1. – С. 3–30.
7. Егоров Г.В., Егоров А.Г. Суда смешанного река–море плавания и внутреннего плавания: роль «старых» серий судов и их перспективы // Морская Биржа. – 2017. – N1 (59) – С. 18–30.
8. Егоров Г.В., Егоров А.Г. Фактическое списание судов смешанного река–море плавания и прогноз утилизации судов до 2025 года. Типы судов, востребованные рынком // Морская Биржа. – 2017. – №3 (61). – С. 30–36. ■

Под электронной базой знаний понимается структурированная совокупность хранящихся, используемых и модифицируемых знаний в электронном виде.

Применительно к области проектирования судов под электронной базой знаний следует рассматривать совокупность проектных методик (оформленных в виде алгоритмов) и соответствующие им программные модули, позволяющие определять основные характеристики проектируемого судна на различных этапах проектирования.

Использование базы знаний предполагает единую схему создания и использования указанных модулей, которая базируется на следующих принципах:

- общий доступ к методикам (и алгоритмам) и к расчетным модулям;
- единая система хранения, выбора и записи параметров и данных о проекте судна (и судах-прототипах);
- возможность расчета как по отдельным модулям, так и в совокупности расчетных модулей.

В дальнейшем общий доступ к методикам (алгоритмам) и к расчетным модулям предлагается осуществлять через «облачный» сервис, где будут размещены методики, алгоритмы и программные модули по проектированию судна.

В качестве основы системы хранения информации о судне предлагается использовать иерархическую структуру в виде *xml-файла*. Данный тип файла позволяет наглядно раскрывать иерархию на любом уровне вложенности, а также оперативно менять расположение отдельных тегов в зависимости от текущего понимания структуры расположения информации.

В связи с тем, что в основе хранения структурированной информации лежат теги, наименование тегов предлагается оформлять в виде полного названия (и размерности) хранимой величины. Например, для хранения информации о длине судна между перпендикулярами предлагается использовать следующий тег:

```
<Длина_между_перпендикулярами_м>155.9</Длина_между_перпендикулярами_м>
```

Указанный подход позволяет в большинстве случаев отказаться от комментариев тега.

В случае, если информация о хранимой величине представляет вариант из совокупности строковых переменных – эта совокупность указывается в виде комментария:

```
<REGION>R3</REGION> <!_Район_плавания_NR – неорг.; R1; R2; R2-RSN; R3; R3-RSN –>
```

РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОННОЙ БАЗЫ ЗНАНИЙ – ЭЛЕКТРОННОГО СПРАВОЧНИКА ПРОЕКТНЫХ МЕТОДИК

*Лян Янь, аспирант СПбГМТУ (КНР),
А.Н. Суслев, д-р техн. наук, зам. директора по науке
ООО ПКБ «Петробалт»,
контакт. тел. +7 (921) 915 5313*

Для удобства задания величин этого типа (а также других величин) можно воспользоваться следующим приемом – при работе над новым проектом можно последовательно проводить вычисления по отдельным модулям. При этом в диалоговом режиме можно вводить новые или откорректированные величины (в том числе определять параметры судна из списка), а затем после расчета сохранять информацию о проекте в *xml-файле* проекта.

В расчетном модуле поиск необходимых значений тега и запись параметров проектируемого судна в *xml-файл* осуществляется по названию тега.

Структуру информации о судне на верхнем уровне предлагается разбить на две части – см. рис. 1:

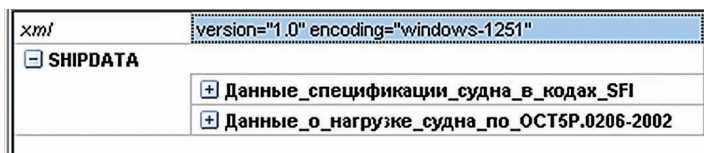


Рис. 1. Разбиение информации о судне на верхнем уровне

Первый блок данных необходим для хранения базовой информации о судне, которая (в основном) определяется в спецификации судна.

Второй блок данных ориентирован на хранение (и, соответственно, расчет) данных о весовой нагрузке отдельных элементов судна.

Традиционно в судовой спецификации записываются «требуемые данные заказчика» о проектируемом судне, т.е. записывается информация о классе судна, его основных размерностях, грузоподъемности, достижимой скорости, требуемой комплектации оборудования и т.п. При этом зарубежные заказчики предпочитают (чтобы не забыть какого-либо важного требования к новому судну) структурировать спецификацию в виде функционального иерархического классификатора SFI [2]. Этот классификатор представляет собой функциональный классификатор судна, в котором обобщена техническая, технологическая и экономическая информация о судне независимо от его типа и тактико-технических характеристик. Классифи-

катор ориентирован на использование информации различными пользователями (проектными организациями, судостроительными, судоремонтными предприятиями, судовыми компаниями), начиная от этапа проектирования и заканчивая утилизацией судна.

Структура классификатора не зависит от организации управления, технологии строительства (ремонта) судна на конкретном судостроительном (судоремонтном) предприятии, специфики его эксплуатации, приемов технического обслуживания и ремонта, принятых в конкретной компании. При этом классификатор SFI имеет свободные позиции, что предполагает возможность доработки и введения дополнительных позиций в связи с установкой и эксплу-

атацией новых систем на судне, а также возможность учета особенностей национальных классификаторов.

В указанном виде в базе знаний предлагается хранить как информацию о проектируемом судне, так и данные о прототипе.

На рис. 2 приведена схема хранения информации о спецификации судна в кодах SFI.

Принципиальная схема работы разработанного макета базы знаний приведена на рис. 3. Совокупность расчетных методик реализованы в виде совокупности расчетных модулей (Модуль 1, Модуль 2, ..., Модуль N).

Каждый из расчетных модулей получает необходимую входную информацию из данных о проектируемом судне (файл *Имя_Проекта.xml*), данные о прототипе (файл *Имя_Прототипа.xml*) и данные о поставляемом промышленностью судовом оборудовании (совокупность файлов с характеристиками поставляемого оборудования).

Идеология работы отдельных расчетных модулей предполагает два режима их использования:

Данные_спецификации_судна_в_кодах_SFI	
SFI_1_SHIP_GENERAL	
Имя_проекта	22150
Класс_проекта	
Основные_размерения	
V0	16
Comment	Спецификационная скорость, уз
Дальность_пла	5000
Автономность_	50
Тип_международо	1
Общее_число_н	24
SFI_2_HULL	
SFI_3_EQUIPMENT_FOR_CARGO	
SFI_4_SHIP_EQUIPMENT	
SFI_401_Число_	2
Тип_руля	2
Comment	=77 -поворотная № определяется по Правилам (Рис. 2.2.4.12)
Площадь_однок	12
SFI_404_SIDE_THRUSTERS	
Заданное_значение_бальности_ветра_	6
Число_носовых_ПУ_шт	1
Диаметр_носовых_ПУ_м	2
Средняя_абсцисса_носовых_ПУ_от_ми	52
Число_кормовых_ПУ_шт	2
Диаметр_кормовых_ПУ_м	2
Вес_якоря_т	20
SFI_5_EQUIPMENT_FOR_CREW_AND_PASSENGERS	
SFI_6_MACHINERY_MAIN_COMPONENTS	
SFI_7_SYSTEMS	
SFI_8_SHIP_COMMON_SYSTEMS	
Данные_о_нагрузке_судна_по_ОСТ5P.0206-2002	

Рис. 2. Схема хранения информации о данных спецификации судна в кодах SFI

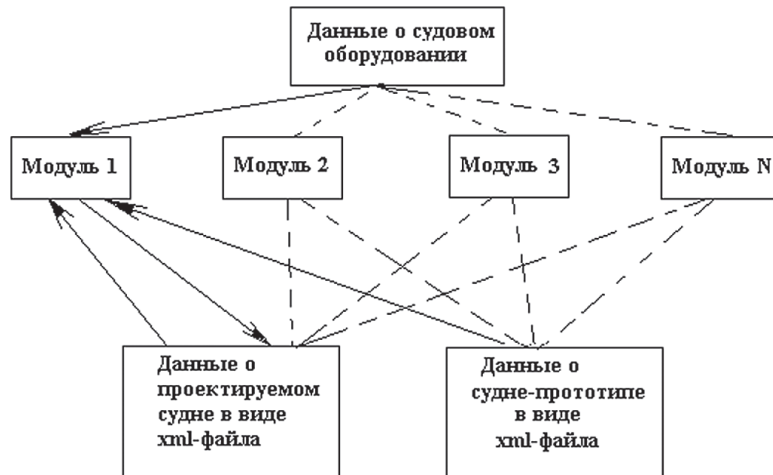


Рис. 3. Схема работы базы знаний

– интерактивный расчет по отдельному модулю (расчет с диалогом);
 – расчет по совокупности расчетных модулей (например, для решения оптимизационной задачи по определению основных характеристик проектируемого судна).

Необходимость расчета «без диалога» обусловлена необходимостью многовариантных расчетов с использованием совокупности модулей (например, при оптимизации основных характеристик проектируемого судна). В этом случае программный модуль «выбирает» исходные данные для расчета из xml-файлов проекта и прототипа, затем проводит вычисления и записывает данные расчета в xml-файл проекта.

При использовании интерактивного режима программа (расчетный модуль) считывает исходную информацию из данных xml-файла проектируемого судна и данных xml-файла прототипа и представляет пользователю эту информацию в виде следующего (модуль расчета винта и подбора двигателя) диалогового окна. Далее результаты расчета выводятся в виде отдельного окна, где можно оценить полученные результаты, затем повторить расчет с новыми исходными данными или записать полученные исходные и расчетные данные в файл данных о проектируемом судне.

Дальнейшее развитие электронной базы знаний следует вести по насыщению базы знаний новыми методиками и новыми программными модулями, построенными на основе реализованной схемы хранения и использования информации о судне.

Пример реализации предложенного подхода представлен в «облачном» сервисе по ссылке [3].

ЛИТЕРАТУРА

1. Сулов А. Н., Одегова О. В., Головки Е. А. Опыт работы со стандартом STEP// Судостроение. – 2001. – №2.
2. https://en.wikipedia.org/wiki/SFI_Coding_and_Classification_System.
3. <https://www.dropbox.com/sh/3warfex1u6tkfm4/AACr44V9vAo-0bn-1ljo-kkF0a?dl=0> ■

К 70-ЛЕТИЮ И.Г. ЗАХАРОВА

АО «ЦМКБ «Алмаз»,
контакт. тел. (812) 369 1233

Актор технических наук, профессор, контр-адмирал запаса Игорь Григорьевич Захаров родился 26 декабря 1947 г. в Ленинграде. В 1965 г. поступил на кораблестроительный факультет Ленинградского кораблестроительного института. После двух лет обучения по собственной инициативе перешел на второй курс кораблестроительного факультета Высшего военно-морского инженерного училища им. Ф.Э. Дзержинского, которое закончил в 1971 г. по специальности инженер-кораблестроитель.

С 1971 по 1977 г. проходил службу на кораблях Черноморского и Северного флотов. В 1973–1976 гг. в составе первого экипажа участвовал в создании головного авианесущего крейсера «Киев».

В 1979 г. с отличием закончил кораблестроительный факультет Военно-морской академии им. А.А. Гречко.

В 1979–1983 гг. проходил службу в военном представительстве и Главном управлении кораблестроения ВМФ.

В 1983 г. успешно защитил кандидатскую диссертацию. В этом же году был назначен преподавателем Военно-морской академии, а в 1989 г. – старшим преподавателем кафедры военного кораблестроения факультета кораблестроения этой же академии.

В 1988 г. успешно защитил докторскую диссертацию (технические науки). В 1991 г. присвоено ученое звание доцента.

В 1991 г. Игоря Григорьевича назначают начальником 1 Центрального научно-исследовательского института Министерства обороны РФ.

В 1995 г. присвоено звание профессора.

С 2006 г. – главный научный сотрудник 1 Центрального научно-исследовательского института Министерства обороны РФ. С 2008 по 2010 г. – руководитель подразделения, с 2012 по 2014 г. – вице-президент ОАО «Объединенная судостроительная корпорация», с 2010 г. по настоящее время – заместитель генерального конструктора по перспективному проектированию, главный конструктор проекта АО «ЦМКБ «Алмаз».



И.Г. Захаров внес значительный вклад в развитие теории проектирования кораблей. В 1983–1991 гг. переработал курс теории проектирования надводных кораблей и создал курс концептуального анализа в военном кораблестроении. Для пропаганды системного подхода к созданию кораблей, вооружения и военной техники в 1989 г. он организовал работу «Постоянно действующего общеакадемического научного семинара», объединившего представителей более 60 организаций. Семинар успешно проработал до 2009 г.

В 1991–2006 гг. Игорь Григорьевич, будучи организатором военного кораблестроения, внес весомый личный вклад в обоснование направлений развития корабельного состава ВМФ, создание уникальной лабораторно-экспериментальной базы, разработку нормативных, методических и эксплуатационных документов флота, создание автоматизированных систем моделирования и проектирования кораблей, теоретического аппарата анализа мирового рынка военного кораблестроения. Результаты этой

работы получили реализацию в концепциях развития ВМФ различных годов, проектах государственных программ вооружения и экспортных программ кораблестроения, комплексных целевых программ и строительства головных надводных кораблей и подводных лодок четвертого поколения.

Под его руководством разработан проект перспективного корвета нового поколения и осуществляется его строительство.

Основными направлениями научной деятельности этого видного ученого являются разработка методов решения задач оптимизации сложных военно-технических систем, теоретические основы концептуального проектирования, методы автоматизированного исследовательского проектирования, научные принципы и методы обоснования кораблестроительных программ, теория и методы маркетинговых исследований при формировании экспортных программ.

Сегодня И.Г. Захаров – действительный член Академии военных наук (1994), член-корреспондент Академии инженерных наук РФ (1995), действительный член Академии естественных наук (1996).

Награжден орденами: «За службу Родине в ВС СССР» 3 степени (1977), «Почета» (1995), «За военные заслуги» (2000), медалями, лауреат Государственной премии РФ (2002).

Он – автор более 170 научных трудов, в том числе двух учебников и пяти монографий.

АО «ЦМКБ «Алмаз» поздравляет Игоря Григорьевича с юбилеем, желает ему здоровья, благополучия, новых свершений на благо Отечества.

Редакция и редколлегия журнала «Морской вестник» присоединяются к этим поздравлениям и желают юбиляру доброго здоровья и дальнейших творческих успехов. ■



РЕНТАБЕЛЬНОСТЬ (ПРИБЫЛЬ) ПО ГОСУДАРСТВЕННЫМ КОНТРАКТАМ

И.Л. Вайсман, эксперт,

А.А. Юрчак, исполнительный директор,

Ассоциация судостроителей Санкт-Петербурга и Ленинградской области, контакт. тел. +7 (921) 905 0166, (812) 786 1172

Президент Российской Федерации В.В.Путин Решением от 14 июля 2017 г. № Пр-1344 (п.1) поручил Правительству Российской Федерации «рассмотреть вопрос о целесообразности изменения размера рентабельности (прибыли) при определении начальной (максимальной) цены государственного контракта с единственным поставщиком при осуществлении закупок по государственному оборонному заказу и при необходимости внести изменения в нормативные правовые акты. Срок – 1 декабря 2017 г.».

Общее собрание Ассоциации судостроителей Санкт-Петербурга и Ленинградской области 27.09.2017 г. отметило важность реализации данного поручения Президента для развития производственных мощностей предприятий ОПК, для ускорения освоения в России производства высокотехнологичной и конкурентоспособной на мировом уровне продукции по государственным заказам и по изделиям двойного назначения.

Кроме того, Ассоциация предложила при разработке и согласовании проекта Постановления Правительства РФ во исполнение данного поручения (и/или внесении изменений в действующий Федеральный закон ФЗ-275) уделить особое внимание вопросу «определения минимального и максимального размеров рентабельности (прибыли) и порядка их применения при расчете цен на продукцию по государственному оборонному заказу с учетом средств, которые необходимы головному исполнителю для развития производственных мощностей и обслуживания привлеченного капитала, обеспечивающих выполнение государственного оборонного заказа...». Это ключевое для привлечения внебюджетных инвестиций положение Статьи 10 п. 1 пп. 6. Федерального закона №275-ФЗ до настоящего времени не нашло конкретного отражения ни в одном из действующих подзаконных нормативно-правовых актов.

Ассоциация также отметила как положительный факт то, что представленный проект нового Постановления Правительства (ввод которого в действие запланирован на 2018 г.) содержит положения о возможности определения цены продукции по государственным контрактам **не только затратным методом**, но и **методом сравнимой цены**, при использовании которого цена продукции устанавливается **на уровне, не превышающем цены сравнимой продукции, сложившейся на соответствующем товарном рынке (мировом и отечественном)**.

Применение метода сравнимой цены, по мнению Ассоциации, в современных рыночных условиях **должно стать основным для большинства государственных контрактов**, что

потребуется срочного восстановления информационной базы по типоряду изделий – аналогов продукции по государственному заказу с указанием основных технических характеристик и цен, сложившихся на товарном рынке.

В то же время в проекте нового Постановления порядок определения максимальной рентабельности продукции по государственным заказам изложен **только для цен, определенных затратным методом**, когда прибыль рассчитывается **в процентах от величины привнесенных (1%) и собственных (20%) затрат** на производство и реализацию продукции, что, конечно, никак не стимулирует головных исполнителей к снижению этих затрат.

При «затратном методе» расчета прибыли (*по действующей сеоидной формуле «1+20»*) максимально возможная величина рентабельности (прибыли) головного исполнителя при производстве продукции составляет **не более 3–5%**. В итоге головные исполнители контракта, несущие ответственность за его своевременное и качественное выполнение, остаются без собственных средств для финансирования развития мощностей и без возможности полноценного обслуживания привлеченного на эти цели капитала (*по реально существующей процентной ставке за кредит – 12% годовых*).

По этой причине ряд компаний и корпораций специального машиностроения (судостроители, самолето- и вертолетостроители и др.) внесли в Таблицу разногласий по проекту Постановления существенные замечания о необходимости повышения уровня плановой рентабельности контрактов по государственным заказам.

В целях стимулирования снижения затрат головных исполнителей государственных заказов, привлечения ими собственных средств и **внебюджетных инвестиций** для развития производственных мощностей и их оснащения современным оборудованием, Ассоциация судостроителей предлагает предусмотреть в Постановлении следующие положения:

– при определении цены продукции по государственному контракту предоставлять по согласованию с государственным заказчиком головному исполнителю **право** на максимальную прибыль в размере 20–25% от полной себестоимости продукции **при обязательном условии**, что не менее

65–75% фактически полученной чистой прибыли по данному контракту головной исполнитель направляет на развитие производственных мощностей и обслуживание привлеченного на эти цели внебюджетного капитала;

– целевое использование основной части фактически полученной чистой прибыли на развитие мощностей для увеличения выпуска высокотехнологичной конкурентоспособной продукции должно отражаться в соответствующем разделе государственного контракта – с указанием сроков и порядка предоставления головным исполнителем отчетности государственному заказчику и другим органам федеральной власти.

Ассоциация судостроителей выразила уверенность, что реализация указанных мер позволит без дополнительной нагрузки на бюджет страны ускорить решение поставленных высшим руководством задач по привлечению промышленными предприятиями собственных средств и внебюджетных инвестиций для создания новых рабочих мест, внедрения инновационных технологий и увеличения выпуска в России современной конкурентоспособной высокотехнологичной продукции.

Ассоциация считает целесообразным рассмотреть перечисленные выше предложения на Согласительной межведомственной комиссии с участием специалистов и ученых отраслей ОПК России для уточнения окончательной редакции проекта Постановления Правительства Российской Федерации и/или внесения изменений в соответствующие статьи Федерального закона №275-ФЗ как закона прямого действия.

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА по вопросу определения максимально размера рентабельности (прибыли) при расчете цен на продукцию по государственному заказу с учетом средств, которые необходимы головному исполнителю для развития производственных мощностей и обслуживания привлеченного капитала, обеспечивающих выполнение государственного контракта

1. Головной исполнитель в современных экономических условиях (дефицит бюджета, экономические санкции, необходимость ускорения локализации производства, колебания курса валют и др.) должен быть способен в рамках го-

сударственно-частного партнерства реализовать **на собственные и привлеченные заемные внебюджетные средства** инвестиционные проекты развития производственных мощностей, обеспечивающих выполнение государственного заказа и освоение выпуска современной высокотехнологичной продукции двойного назначения.

2. **Основным источником погашения заемных внебюджетных средств (кредитов)**, используемых головным исполнителем для развития производственных мощностей и увеличения выпуска перспективных изделий по госзаказам и высокотехнологичной продукции двойного назначения, **должна являться в период до 2020 г. расчетная валовая прибыль предприятия.**

3. Фиксированная цена продукции по государственному контракту и предельная (максимальная) величины прибыли, а также **обязательства головного исполнителя по целевому использованию основной части чистой прибыли (после налогообложения) на развитие производственных мощностей и обслуживание привлеченного капитала должны находиться в отражении в соответствующих разделах контракта.**

Пример крупного расчета величины валовой прибыли и основных направлений ее использования

(по условному государственному контракту, млн. руб.)

Полная себестоимость продукции по контракту	5 000
Величина валовой прибыли при рентабельности в размере 20% от полной себестоимости продукции	1 000
Фиксированная цена 1 ед. продукции без НДС	6 000
Налог на прибыль – 20% от валовой прибыли	200
Чистая прибыль	800
Часть чистой прибыли (70%), используемая на развитие производственных мощностей и обслуживание привлеченного капитала.....	560
Часть чистой прибыли – на цели социально-экономического развития предприятия (На строительство жилья, целевую подготовку персонала, Медобслуживание и др. меры стимулирования набора и закрепления кадров.....	240
ВСЕГО на приоритетные цели пополнения бюджета (200 млн. руб.) и развития мощностей (560 млн. руб.) будет использовано 760 млн. руб., что составляет 76 % валовой прибыли !	

Представленный пример подтверждает настоятельную необходимость использования **70–75% чистой прибыли** по госконтракту для расчетов в течение 5–6 лет за капитал, привлеченный для развития производственных мощностей и освоения выпуска высокотехнологичных изделий по государственному заказу и продукции двойного назначения.

Реализация предложения Ассоциации судостроителей (и других Союзов предприятий и организаций специального машиностроения) по изменению порядка определения максимального размера прибыли (в объеме 20–25% от плановой себестоимости продукции по государственному контракту) и по це-

левому использованию основной части прибыли на развитие производственных мощностей позволяет:

- создать реальный механизм экономического стимулирования головного исполнителя к снижению издержек при производстве и реализации продукции по государственным заказам,
 - обеспечить соблюдение баланса интересов государственного заказчика и головного исполнителя ГОЗ,
 - привлекать главному исполнителю собственные средства и инвестиции кредитных организаций для ускорения развития производственных мощностей предприятий и увеличения выпуска современной высокотехнологичной и конкурентоспособной продукции двойного назначения.
- Общее собрание Ассоциация судостроителей поручило Президенту Ассоциации В.Л. Александрову представить данное предложение в Администрацию Президента Российской Федерации, в Аппарат Правительства России – для рассмотрения и оформления соответствующего Решения органов федеральной власти.

Санкт-Петербургский государственный экономический университет

морских судов длиной до 100 м в установленные контрактом сроки. Объем собственных и привлеченных инвестиций ОАО «Пелла» в комплекс составил 6,2 млрд. руб.

Развитие производственных мощностей на площадках ОАО «Пелла» направлено на обеспечение строительства перспективных госзаказов.

Далее в экспертном заключении говорится: «Исследование, проведенное сотрудниками кафедры Экономики и управления предприятиями и производственными комплексами СПбГЭУ, современных международных подходов к проблемам развития кораблестроения и специального судостроения позволяет говорить о существенном изменении стратегии в этой области. Основная тенденция – сокращение эксплуатационного цикла кораблей и специальных судов до пяти лет под влиянием ускорения научно-технического прогресса, прорывных, инновационных технологий.

В этих условиях для обеспечения конкурентных преимуществ страны и ОПК считаем целесообразным предусмотреть возможность стимулирования внебюджетного финансирования развития мощностей головных исполнителей госконтрактов, в том числе за счет прибыли предприятия – головного исполнителя.

Для реализации этого механизма финансирования рентабельность ГОЗ должна составлять не менее 20–25% от полной себестоимости поставляемых изделий ГОЗ. При этом **не менее двух третей или трех четвертей** полученной чистой прибыли **головной исполнитель ГОЗ** обязуется (с отражением в контракте) использовать целевым назначением на развитие своих мощностей, включая мощности дочерних компаний и филиалов, входящих в интегрированную структуру предприятия – головного исполнителя ГОЗ.

При существующей недостаточности бюджетных средств на обновление мощностей и технологий предприятий ОПК полагаем необходимым поддержать предлагаемую схему экономического стимулирования развития мощностей головных исполнителей ГОЗ, предоставляющую возможность целевого использования прибыли по ГОЗ (**до 75%**) на прямое финансирование развития производственных мощностей, необходимых для освоения строительства перспективных ГОЗ, а оставшиеся 25% – на финансирование из прибыли мероприятий социального развития (набор и подготовка кадров, строительство жилья и предоставление других социальных гарантий сотрудникам». ■

Конкурентоспособность любого судостроительного предприятия на внутреннем и внешнем рынках во многом определяется техническим уровнем производства, уровнем развития системы управления процессами и уровнем системы управления качеством. В настоящее время развитие судостроительной промышленности направлено на подъем технического уровня предприятий, освоение передовых технологий проектирования и строительства новых типов судов и морской техники, совершенствование систем управления процессами, с целью достижения высокого качества при высокой производительности труда.

На протяжении последних пяти-семи лет загрузка большинства российских судостроительных предприятий вполне комфортная для нормальной и устойчивой работы. Такая ситуация позволяет планировать дальнейшее развитие и повышение технического уровня, первоочередными направлениями которого являются:

- совершенствование существующих и разработка новых технологий строительства судов, в том числе строительство интегрированными крупными блоками;
- широкое применение информационных технологий в проектировании, подготовке производства и управлении технологическими процессами;
- механизация и автоматизация производственных процессов, с применением подъемно-транспортного и технологического оборудования с числовым программным управлением (ЧПУ), автоматизированных технологических линий и участков, а также роботизированных комплексов.

На эффективность деятельности предприятия существенным образом влияют качество планирования и управления ресурсами. За последние годы на многих предприятиях были внедрены и успешно используются специализированные системы нормирования трудоемкости, планирования и управления ресурсами, которые позволили достичь более рационального использования трудовых и материальных ресурсов, что, в конечном счете, позволило снизить затраты и сроки строительства судов. Развитие технического уровня и систем управления является безусловным прогрессом, однако достижение высокой конкурентоспособности возможно только, если наряду с этим будет хорошо развита система управления качеством строящихся судов на всех этапах – от проектирования до сдачи судна заказчику.

Современное судно представляет собой сложнейшее инженерное сооружение, предназначенное для передвижения по воде с различными грузами, рыбного

УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ СУДОВ ИНТЕГРИРОВАННЫМИ КРУПНЫМИ БЛОКАМИ

*А.С. Соловьев, ген. директор ПАО «Выборгский судостроительный завод»,
контакт. тел. (81378) 264 32, 286 86*

промысла, выполнения определенных работ или операций на воде. Ценность судна как продукта производства определяется его мореходными и эксплуатационными качествами, заложенными в проект и подтвержденными на практике в период испытаний и эксплуатации. В конечном счете, оценка качества судна – процесс оценки точности исполнения проектных идей, подтверждения свойств судна, заложенных в проект, а также оценки отклонений от проектных характеристик в случае возникновения таких.

И мореходные и эксплуатационные качества судна или другой морской техники во многом зависят от качества изготовления корпуса судна. Значимость корпуса в обеспечении эффективной и безопасной эксплуатации судна в целом предъявляет высокие требования к качеству изготовления корпусных конструкций. Эти требования относятся как к качеству применяемых материалов, в аспекте прочности и долговечности, так и к геометрической точности самих конструкций.

На практике абсолютной точности не бывает. Качество корпуса можно оценить только по степени соответствия размеров и формы реального корпуса проектным требованиям в пределах допустимых величин погрешностей, неизбежно возникающих в процессе строительства. Отклонения формы и размеров корпусных конструкций от заданных являются следствием накопления систематических и случайных погрешностей, возникающих на всех этапах постройки судна.

Анализ всех процессов строительства судна показывает, что погрешности формы, размеров и взаимного расположения судовых конструкций обусловлены следующими основными причинами:

- неточностью исходной информации о форме и размерах конструкций корпуса судна: математической модели его корпуса, чертежей, эскизов, плазовых данных, управляющих программ и другой информации, являющейся следствием ошибок, допущенных при выпуске проектной документации или технологической подготовки производства;

- погрешностями по толщине или геометрии исходных материалов (ли-

стового и профильного металлопроката);

- погрешностью оборудования и оснастки при изготовлении деталей (резка, разметка, гибка);
- погрешностью оборудования и оснастки при сборке узлов, панелей, подсекций, секций и блоков;
- погрешностью средств измерений, являющейся следствием применения средств невысокой точности (рулеток, метров, шаблонов, отвесов и прочих устройств);
- погрешностями, связанными с выбором методов и баз измерений, часто приводящих к накоплению (суммированию) погрешностей измерений;
- погрешностями, вызываемыми сварочными деформациями;
- погрешностями, вызываемыми деформациями конструкций в процессе подъемов, кантовки или транспортировки.

Чаще всего устраняются погрешности при сборке секций в объем, при сборке блоков, а также при стапельной сборке корпуса. Для устранения погрешностей размеров и геометрии конструкций применяют подгоночные работы, включающие газовую и механическую резку, наплавку, приварку и прочие работы, которые выполняются чаще всего с использованием тяжелого ручного труда, в осложненных условиях расположения и лимитированного пространства, осложняющих использование механизации и автоматизации процессов.

Качество таких сборочных работ остается также невысоким, так как в процессе сборки стыкуемые части конструкций принудительно прижимаются или притягиваются для сведения к ответным частям конструкций, и с учетом дальнейших сварочных деформаций создаются значительные локальные напряжения в конструкциях, приводящие к искажению общей геометрии, а также локальных поворотов, требующих дальнейшей правки. Такие методы устранения погрешностей изготовления деталей, сборки узлов, подсекций и прочих предварительных сборок приводят к повышению трудоемкости стапельных работ и увеличению сроков сборки корпусов судов.

Снижение производственных издержек, сокращение сроков строительства

и повышение качества судов возможно, если вся система управления качеством на предприятии настроена на предупреждение возможных погрешностей и значительных отклонений от установленных требований или, по крайней мере, способна минимизировать количество систематических погрешностей на этапах выполнения работ в цехах. Для решения этих задач должны быть предусмотрены мероприятия технологического, конструкторского и организационного характера, выполнение которых обеспечит прогнозирование достижимых результатов работы на всех этапах строительства и позволит управлять качеством с наибольшей эффективностью.

Технологические и конструкторские методы управления качеством чаще всего рассматриваются совместно, как общая совокупность мероприятий, предназначенных для совершенствования технической подготовки производства. Правильные организация и проведение этих мероприятий являются одним из самых существенных резервов сокращения сроков постройки судов.

Все технологические операции строительства судна должны выполняться в соответствии с разработанными технологическими процессами, отраженными в отраслевых стандартах, стандартах предприятия или в технологических инструкциях. Условием достижения требуемого качества является обязательное соблюдение технологии производства как на заготовительных, так и на сборочных операциях. Наиболее эффективным способом управления качеством является прогнозирование изменений размеров и формы конструкций в процессе сварки на основе статистических данных, собранных при выполнении типовых технологических процессов, и внесение соответствующих корректировок.

Такие статистические данные систематизируются и учитываются при разработке конструкторской и плазовотехнологической документации. При высокой достоверности этих данных с высокой степенью вероятности можно прогнозировать точность размеров и формы сборочной единицы. В таких условиях возможна сборка узлов, подсекций и секций без дополнительной подгонки и исправлений, что значительно снижает трудоемкость и сокращает сроки сборки крупных блоков.

Сокращение сроков строительства можно достичь также тогда, когда принимаемые проектантом технические решения вписываются в принятые технологические ограничения верфи. Для этого верфь должна снабдить проектанта информацией обо всех технологических преимуществах и ограничениях, приня-

той стратегии строительства и применяемых типовых технологиях, ограничительных и предпочтительных перечнях материалов и комплектующих, привилегированных поставщиках. Применение в проекте типовых технических решений, максимально адаптированных к применению отработанных типовых технологий обеспечит максимальный уровень качества работ верфи. Все ограничительные и предпочтительные перечни, стратегия строительства и типовые технологии должны быть отражены в стандартах предприятия.

Самое существенное значение в системе управления качеством имеют организационные мероприятия, главным образом направленные на своевременное выявление ошибок в конструкторской и технологической документации или погрешностей изготовления деталей и сборки на всех стадиях производственного процесса. Во всех этих мероприятиях наиболее значимы достоверность и точность информации.

До недавнего времени на большинстве судостроительных предприятиях проверочные работы в цехах, на стапеле или в доке выполняли с помощью простейших мерительных и контрольных средств (металлические рулетки, грузовые отвесы, шланговые уровни (ватерпасы) и пр.). Точность таких измерений, конечно, не позволяла создать серьезную систему прогнозирования качества. Сбор статистических данных по точности изготовления деталей и выполнения сборочных работ путем пооперационного обмера деталей и секций с последующей обработкой этих данных и анализом полученных результатов имеет смысл только при высокой точности измерений.

Высокую точность проверочных работ обеспечивает использование оптических и оптико-электронных приборов, применение которых становится нормой. Применение этих приборов позволяет существенно повысить точность проверочных работ и, главное, создать на их основе целые оптико-электронные измерительные системы. Такие системы различаются аппаратными средствами и техническими характеристиками, областью применения, характером обработки данных с использованием специального программного обеспечения. Наиболее распространенная схема измерительной системы для судостроения имеет три модуля: конструкторско-технологический модуль, программно-измерительный модуль и модуль статистической обработки и архивирования.

Конструкторско-технологический модуль содержит исходную проектно-технологическую базу данных, обеспе-

чивающую получение всех необходимых сведений о корпусных конструкциях, а также информацию о допускаемых отклонениях и технологических процессах контроля размеров, формы и положения конструкций при их изготовлении и монтаже.

Программно-измерительный модуль объединяет в себе один или несколько измерительных приборов и компьютер. С помощью измерительных приборов можно выполнять комплекс измерений корпусных конструкций и далее на компьютере производить оценку полученных данных.

Модуль статистической обработки и архивирования полученных данных позволяет выявить и проанализировать закономерности отклонений размеров и формы корпусных конструкций и на этой основе вырабатывать мероприятия по сокращению пригоночных работ.

Современная измерительная система, созданная на базе оптико-электронных приборов, становится не только инструментом контроля качества, но и одной из основных составляющих системы управления качеством на нашем предприятии. На ПАО «Выборгский судостроительный завод» система управления качеством создавалась и развивается на основе глубокого изучения и полного понимания процессов достижения высокого качества продукции. Система основывается не только на контроле конечного качества, но и содержит детальный анализ процессов, прогнозирование и планирование качества на протяжении всего производственного цикла. При внедрении и развитии на заводе технологии строительства судов интегрированными крупными блоками нам не потребовалось вносить радикальные изменения в систему управления качеством. Проводимые мероприятия по систематизации и стандартизации ряда конструкций, процедур и технологических процессов позволяют достаточно уверенно прогнозировать и управлять качеством строящихся судов.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ Р ИСО 9000–2001 Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь.
2. Александров В. Л., Адлерштейн Л. Ц., Макаров В. В., Соколов В. Ф., Титов Н. Я. Точность в судовом корпусостроении. – СПб.: Судостроение, 1994. – 172 с.
3. Стогов И. Н. Влияние точности изготовления корпусных деталей на объем пригоночных работ при сборке узлов и секций корпусов надводных стальных судов: автореферат диссертации кандидата технических наук. – Л.: НПО «Ритм»; ЦНИИТС, 1984. – 21 с. ■

Эта статья будет интересна офицерскому составу и флагманским специалистам соединений кораблей ВМФ, поскольку в ней рассматриваются история создания, состав и порядок применения типовых ведомостей сервисного обслуживания и ремонта кораблей и судов ВМФ.

Планово-предупредительным осмотрам и планово-предупредительным ремонтам (далее – ППО и ППР) материальной части кораблей во все времена существования ВМФ уделялось большое внимание. Разными способами проектанты кораблей и разработчики корабельной техники старались облегчить как процесс проведения ППО и ППР, так и процесс его планирования и оформления результатов.

В 80-х гг. прошлого столетия на некоторые проекты кораблей, помимо технических описаний, разрабатывались инструкции (по проекту корабля) по проведению ППО технических средств (далее – ТС) корабля, которые долгое время служили офицерам хорошим подспорьем при осуществлении этих работ. В них сжато, в доступной форме изложены периодичность, последовательность и объем ППО ТС корабля. Таким образом, в этих документах была собрана воедино необходимая и достаточная на тот период информация о ППО и ППР, позволяющая:

- поддерживать ТС в постоянной готовности к действию;
- своевременно выявлять и устранять неисправности ТС;
- предупреждать преждевременный износ отдельных узлов и деталей механизмов;
- поддерживать параметры работы и характеристик ТС в установленных нормах;
- получать данные, необходимые для внесения в ведомость ремонтных работ (далее – ВРР).

Изменение структуры Минобороны и ВМФ, условий их существования, повлекло за собой разрыв ранее существовавших связей в сфере ремонта и технического обслуживания кораблей и судов. Изменился подход к проведению ППО и ППР, флот стал проводить сервисное обслуживание (далее – СО) и ремонт кораблей по техническому состоянию.

Для создания системы нормативно-правового регулирования СО и ремонта кораблей и судов ВМФ АО «51 ЦКТИС» предложило Положение о разработке, составлении и оформлении «Типовой ведомости сервисного обслуживания корабля (судна)» (далее – ТВСО) [3].

В ТВСО включались все виды ТО, проводимые в течение жизненного цикла корабля до заводского ремонта, если он предусмотрен в эксплуатационной

ИСТОРИЯ СОЗДАНИЯ, СОСТАВ И ПОРЯДОК ПРИМЕНЕНИЯ В ВМФ ТИПОВЫХ ВЕДОМОСТЕЙ СЕРВИСНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА КОРАБЛЕЙ И СУДОВ

*Е.В. Копылов, капитан 1 ранга запаса, гл. специалист АО «51 ЦКТИС»,
контакт. тел. (812) 571 3757*

документации (ЭД) и руководящих документах флота и промышленности, а также текущий ремонт, доковый осмотр и работы при очередном доковании, если они были предусмотрены в этой документации. Допускалось включение дополнительных работ по СО, не указанных в ЭД, с учетом рекомендаций руководящих документов флота и промышленности по СО.

Руководствуясь этим положением, АО «51ЦКТИС» в рамках госзаказа за 2012 – 2015 гг. разработал ТВСО для кораблей следующих проектов: 956, 11540, 11661к, 877, 20380, 677, 636, 22010 и передал их получателю – главному командованию ВМФ.

Это Положение являлось руководящим документом только для органов военного управления (ОВУ) и личного состава ВМФ, необходимо было создать документ, регламентирующий деятельность всей цепочки занятых в СО и ремонте предприятий и организаций.

Таким документом стал ОСТ-В5Р.0766–2015 «Корабли и суда ВМФ. ТВСО. Общие требования к построению, изложению, оформлению и содержанию» [4].

В 2013 г. АО «51 ЦКТИС» вошел в рабочую группу по разработке и переработке нормативно-правовых и нормативно-технических документов, содержащих требования к организации ТО, ремонта и испытания кораблей и судов ВМФ, в рамках федеральной целевой программы, входящей в состав государственного контракта № 12411.1400099.09.044 НИР «Безопасность-СРЗ». Результатом этой работы в 2015 г. и было появление ОСТ-В5Р.0766–2015.

Разработанные на основании этого ОСТ документы создаются с целью совершенствования организации СО кораблей и судов ВМФ, поддержания их в работоспособном состоянии и готовности к применению по прямому назначению. Они предназначены для следующих целей:

- обеспечение планирования работ по СО, поставок ЗИП и материалов для всех видов ТО установленного на корабле оборудования, корпусных конструкций и комплектующих изде-

лий на срок эксплуатации корабля в период всего жизненного цикла;

- организация учета и контроля работ по выполнению СО личным составом, ремонтными предприятиями флота и предприятиями промышленности;
- обеспечение проводимых работ по СО ЗИП и материалами;
- формирование личным составом кораблей ведомости работ по СО и ремонта ВВСТ и корабля в целом;
- определение затрат исполнителями работ по СО.

Взяв этот организационно-технический документ в руки и заполнив оставленные для заполнения личным составом графы, офицеры и старшины корабля (судна) увидят весь перечень работ по СО составных частей и комплектующих изделий корабля с указанием периодичности, видов ТО, рекомендуемого исполнителя работ, состава работ и их трудоемкости, потребного количества запасных частей, материалов, специального инструмента и приспособлений.

При определении состава оборудования, входящего в ТВСО, составляется перечень оборудования, где учтено все оборудование, имеющее формуляры (паспорта), установленное на каждом из заводских номеров данного проекта корабля, с учетом выполненных на момент разработки ТВСО модернизационных работ для каждого заводского номера корабля, при этом в графе «Примечание» делается соответствующая запись (только для кораблей с заводскими номерами и т. п.).

ТВСО разрабатывается по группам оборудования (частям), которые подразделяются в зависимости от объема на книги.

Группы оборудования (части) ТВСО имеют следующий состав:

Часть 1. Корпус, судовые устройства и дельные вещи. Включает все корпусные части, дельные вещи и механическое оборудование общесудовых устройств корабля (судна).

Часть 2. Общекорпусные (общесудовые) системы. Включает трубопроводы, арматуру общекорпусных систем и механическое оборудование, входящие в эти системы.

Часть 3. Главная и вспомогательная энергетические установки с обслуживающими системами. Включает трубопроводы, арматуру и механическое оборудование главной и вспомогательной энергетических установок.

Часть 4. Электрооборудование. Включает электрическое оборудование корабля и электрооборудование комплектующих изделий частей 1, 2 и 3 ТВСО.

Часть 5. Системы управления техническими средствами и системы измерения. Включает системы автоматики и их составные части с системами измерения, в том числе систем и оборудования частей 1, 2, 3 и 4 ТВСО.

Часть 6. Вооружение. Включает системы вооружения и технические средства всех боевых частей и служб корабля, за исключением оборудования электромеханической боевой части.

ТВСО на проект корабля – это основа для личного состава, ОВУ флотов, предприятий промышленности при разработке и уточнении ведомости работ по СО и ремонту конкретного корабля посредством дополнения или исключения конкретных видов работ из электронной копии ТВСО (в формате Excel). При этом в ведомости работ по СО дополнительно могут быть записаны мониторинг ТС, технический надзор, ремонт, в том числе сопутствующие работы, необходимые для обеспечения надежной эксплуатации корабля в период между заводскими ремонтами, а также другие

работы, предусмотренные нормативными документами системы ТО и ремонта.

Для разработки ТВСО кораблей конкретных проектов, а также электронного заполнения и корректировки личным составом кораблей, ОВУ флотов и предприятий промышленности Заявочных ведомостей СО и ремонта принята таблица по форме 1 к ст. 2.2.6 «Руководства по организации ремонта, переоборудования, модернизации и сервисного обслуживания боевых кораблей, боевых катеров, кораблей специального назначения, морских и рейдовых судов обеспечения ВМФ» [1], утвержденного приказом Министерства обороны РФ и Минпромторга РФ от 06.11.2014 г., заменившего приказ ГК ВМФ.

Образец формы таблицы ТВСО корабля (судна) по ОСТВ5Р.0766–2015 приведен ниже. Эта таблица служит основой для Заявочных ведомостей по СО и ремонту кораблей и судов ВМФ.

Ввиду того, что информация электронной версии ТВСО будет использована в ходе дальнейшей компьютерной обработки, не допускается электронное объединение ячеек. Наименование составных частей и комплектующих изделий повторяется в соответствующих ячейках и столбцах для каждого наименования ЗИП и материалов.

ТВСО строится по системному принципу, т. е. первой описывается составная часть корабля (система, корпус и т. д.), а затем ее комплектующие изде-

лия в соответствии с очередностью и содержанием выполняемых работ.

При разработке ТВСО графы 1–5, 9, 10, 13–18, 21–26, 32 перечня данных и работ заполняются разработчиком ТВСО.

При разработке ТВСО в перечисленных графах перечня данных и работ указывается следующая информация:

- в графе 1 – номера в порядке заполнения, с учетом того, что составные части корабля и комплектующие их изделия обозначаются разноуровневыми списками с повтором каждого номера при рассмотрении каждого элемента ЗИП и материалов, относящихся к одному комплектующему изделию;
- в графе 2 – наименование объекта ремонта (СО) – составной части корабля (система, корпусная конструкция и т. п.);
- в графе 3 – наименование комплектующего изделия объекта ремонта (СО), входящего в составную часть, а в скобках – количество этих изделий, установленных на корабле;
- в графе 4 – марка, индекс, обозначение по ГОСТ, ТУ комплектующего изделия объекта ремонта (СО);
- в графе 5 – обозначение технического документа, ГОСТ, ТУ и т. п., по которому полностью и однозначно определяются данное изделие и его состав;
- в графе 9 – код (при его наличии) ОКПД2 – код изделия из общероссийского классификатора продукции по видам экономической деятельности, предназначенный для информационной поддержки ведомости СО и ремонта;
- в графе 10 – код (при его наличии) НН – номенклатурный номер изделия по каталогу комплектующих, ЗИП и материалов ВМФ;
- в графе 13 – сокращенное наименование предприятия-изготовителя или проектан-та (разработчика) объекта ремонта, СО;

Перечень данных и работ

Форма А.2

№ п/п	Данные объекта ремонта (сервисного обслуживания)								
	Наименование объекта ремонта (СО) – составной части корабля	Наименование комплектующего изделия (количество установленных на корабле)	Марка, индекс, обозначение по ГОСТ, ТУ	Обозначение технического документа, ГОСТ, ТУ и т. п.	Наработка (час)	Год изготовления	Год ввода изделия в эксплуатацию	Код ОКПД2 изделия	НН (номенклатурный номер ВМФ) изделия
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Продолжение формы А.2

Заводской номер изделия	Судовой номер изделия	Предприятие-изготовитель объекта ремонта (СО) (сокращенное наименование)	Краткое описание дефекта (вид ТО)	Перечень работ, необходимых для устранения дефекта (выполнения ремонта. СО)	№ части и пунктов зависимых работ настоящей ТВСО	Исполнитель работ	Трудоемкость ремонта (СО) на 1 ед. изделия, н-ч	Заявлено в ремонт (СО), кол-во изделий	Трудоемкость работ по ремонту (СО) на заявленное кол-во, н-ч [18]* [19]
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20

Продолжение формы А.2

Расход комплектующих изделий, ЗИП и материалов						
Наименование комплектующих ЗИП и материалов	Обозначение (тип, марка, ГОСТ сорт, чертеж, артикул)	Единица измерения	Расход на 1 ед..	Предприятие-изготовитель комплектующего изделия. ЗИП и материалов (сокращенное наименование)	НН (номенклатурный номер ВМФ)	Потребность на заявленное количество в ед. измерения
21	22	23	24	25	26	27

Окончание формы А.2

с НДС, в тыс. руб.				Примечание
Цена за ед. комплектующего. ЗИП и материала	Цена комплектующих ЗИП и материалов [27]*[28]	Цена всего ремонта (СО) [20]*С1 н/ч	ИТОГО: [29] + [30]	
28	29	30	31	32

Образец формы таблицы ТВСО корабля (судна) по ОСТВ5Р.0766–2015

- в графе 14 – вид ТО, проводимого с объектом СО согласно ЭД, с учетом НД МО РФ (ВМФ) и промышленности по СО;
- в графе 15 – работы, проводимые исполнителями с объектом ремонта и СО по виду ТО, указанному в графе 14. Графу 15 заполняют, имея в виду, что каждый вид ТО проводится с предварительным проведением всех предыдущих видов ТО;
- в графе 16 – в виду того, что механические (гидравлические), электрические и автоматические составляющие одного и того же оборудования (изделия), рассматриваются в разных частях ТВСО, указываются номера частей и пункты ТВСО, где рассматриваются зависимые работы, проводимые на одном и том же оборудовании (изделии);
- в графе 17 – рекомендуемый разработчиком ТВСО исполнитель работ по СО (личный состав корабля либо предприятия МО РФ (ВМФ) или промышленности) с учетом требований приложения 4 Руководства [1];
- в графе 18 – трудоемкость ремонта (СО) на 1 ед. изделия без учета предыдущих этапов ТО;
- в графе 19 – количество заявленных в ремонт изделий;
- в графе 20 – трудоемкость работ по ремонту;
- в графе 21 – наименование комплектующих изделий, ЗИП и материалов, расходуемых в период проведения ремонта и СО;
- в графе 22 – обозначение (марка, тип, ГОСТ, сорт, чертеж, артикул и т. п.) комплектующих изделий, ЗИП и материалов, расходуемых в период проведения ремонта и СО;
- в графе 23 – единица измерения комп-

- лектующих изделий, ЗИП и материалов;
- в графе 24 – расход комплектующих изделий, ЗИП и материалов на 1 ед. измерения;
- в графе 25 – сокращенное наименование предприятия-изготовителя комплектующего изделия, ЗИП и материалов;
- в графе 26 – код (при его наличии) НН – номенклатурный номер комплектующих, ЗИП и материалов по каталогу ВМФ;
- в графе 32 «Примечание» – пояснения к заполняемым графам и соответствующие им записи, например: «Только для кораблей с заводскими номерами и т. п.».

При перенесении необходимых для выполнения работ данных в Заявочную ведомость СО и ремонта конкретного корабля графы 6, 7, 8, 11, 12, 19, 20, 27 заполняются личным составом корабля и (или) ОВУ, графы 28–31 – ОВУ и предприятием промышленности, выполняющим работы по СО и ремонту.

ТВСО предоставляется получателю в электронном виде на дисках в формате Excel для выборки необходимых работ в Заявочную ВРР и ее заполнения, в формате PDF – как контрольный экземпляр.

В 2016 г. в рамках госконтрактов на разработку ТВСО АО «51 ЦКТИС» выпустило ТВСО для кораблей пр. 19910, 12700, 22010, в 2017 г. – ТВСО для пр. 22350, 21630, в 2018 г. планируется к выпуску для корабля пр. 11356.

ТВСО на сегодняшний день является реально работающим документом, разработка которого проводится пос-

ледние пять лет в рамках госконтрактов. Отсутствие ТВСО на конкретных кораблях и судах ВМФ влечет за собой усложнение оформления и, как следствие, выполнения сервисного обслуживания и ремонта корабельной техники, усложнение планирования и обеспечения кораблей ЗИП и материалами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Руководство по организации ремонта, переоборудования, модернизации и сервисного обслуживания боевых кораблей, боевых катеров, кораблей специального назначения, морских и рейдовых судов обеспечения ВМФ. Утв. и введено в действие с 1 января 2015 г. приказом Министерства промышленности и торговли РФ и Министра обороны РФ от 6 ноября 2014 г.
2. Инструкция № 956 по планово-предупредительным осмотрам технических средств корабля. – М.: Воениздат, 1986.
3. АФВГ.360099.002 «Корабли и суда ВМФ. Положение о разработке, составлении и оформлении «Типовой ведомости сервисного обслуживания корабля (судна)». – Введено в действие начальником кораблестроения, вооружения и эксплуатации вооружения ВМФ – заместителем главнокомандующего ВМФ по вооружению 13 февраля 2013 г.
4. ОСТВ5Р.0766 –2015 Корабли и суда ВМФ. Типовая ведомость сервисного обслуживания. Общие требования к построению, изложению, оформлению и содержанию, 2015. ■

Сварка сегодня принадлежит к числу наиболее динамично развивающихся прикладных наук. Эта тенденция распространяется на сварочное производство АО «Армалит», где поступательное развитие определяется технологическим прогрессом на предприятии совместно с научным подходом.

В условиях современной экономики повышение эффективности функционирования сварочного производства – важная цель АО «Армалит». Для увеличения уровня производительности на предприятии идет освоение множества прогрессивных технологий, одной из которых на сегодняшний день является автоматическая наплавка уплотнительной износостойкой поверхности с применением новейших наплавочных материалов.

Наплавка – это процесс нанесения при помощи сварки слоя металла на поверхность изделия. Наплавка металла на поверхность детали дает возможность придать ей необходимые достаточные механические и физико-химические свойства и тем самым повысить надежность и долговечность работы.

Особенностью металлургических процессов при наплавке являются их весьма высокие температуры и кратков-

ременность, что приводит к изменению структуры металлов в зоне термического влияния.

Изменение температуры определяет, помимо явлений плавления и кристаллизации металла, прохождение целого ряда сопутствующих процессов в материале изделия – структурные превращения, объемные изменения, упруго-пластические деформации и т. д. Все они оказывают значительное влияние на качество наплавки и конструкции в целом. Наблюдается разнородность структуры основного наплавляемого металлов и зона их смешивания.

Также играет большую роль коэффициент теплового расширения основного и наплавляемого металлов в силу разницы их химического состава и, соответственно, структуры.

Как известно, коэффициент теплового расширения – это физическая вели-

чина, характеризующая относительное изменение объема или линейных размеров тела с увеличением температуры.

Следовательно, при наплавке необходимо обеспечить минимальную зону термического влияния и при этом качественное сцепление наплавленного слоя с основным металлом.

Кроме того, надо учитывать разницу химического состава основного и наплавляемого металлов, которая влияет на химический состав наплавленного слоя. При многослойной наплавке химический состав каждого слоя различен, так как различна доля участия основного металла в образовании наплавленного слоя. Если при наплавке первого слоя основной металл непосредственно участвует в формировании шва, то при наплавке второго и последующих слоев он участвует косвенно, определяя состав предыдущих слоев.

ВНЕДРЕНИЕ НОВЕЙШИХ НАПЛАВОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ В АО «АРМАЛИТ»

*И.А. Савицкая, зам. гл. сварщика АО «Армалит»,
контакт. тел. (812) 459 4500, доб. 214*

При наплавке большого числа слоев состав металла поверхностного слоя соответствует химическому составу наплавляемого металла и отличается от основного металла.

Иными словами, при многослойной наплавке влияние разбавления слоев основным металлом тем меньше, чем меньше доля основного металла в формировании слоя. В связи с этим, когда выполняется однослойная наплавка и при этом состав наплавленного слоя должен максимально приближаться к составу наплавляемого металла, необходимо стремиться к минимальному проплавлению основного металла, т. е. к уменьшению доли последнего в металле шва, однако она не может быть снижена менее чем до 0,2 мм без опасения получения непрочара. Доля участия основного металла в формировании наплавленного металла зависит как от принятого способа наплавки, так и от режима наплавки (силе тока, скорости наплавки).

При подборе режимов наплавки (силе тока, скорости наплавки) надо учитывать действие сварочной дуги, а именно, при дуге прямого действия, когда на основном металле располагается катодное или анодное пятно дуги, ограничить расплавление основного металла много труднее, особенно при значительном сосредоточении дугового разряда (уменьшении диаметра плавящегося электрода, увеличении плотности тока в электроде).

Естественно, что на долю основного металла в наплавленном слое влияет и интенсивность теплоотвода в наплавляемом изделии, который зависит от теплофизических свойств металла этого изделия, его геометрических размеров (в частности, толщины металла вблизи наплавляемой поверхности), а также наличия искусственного регулирования термического режима наплавляемой детали (сопутствующего подогрева или интенсификации охлаждения различными приемами). При увеличении толщины детали усиливается теплоотвод и уменьшается проплавление основного металла.

При наплавке мартенситных и аустенитных сталей на низкоуглеродистые или низколегированные возможно образование хрупких прослоек промежуточных составов, зон с выпадением твердых и малопластичных интерметаллидов, зон с ослабленными границами зерен в связи с прониканием жидкого наплавляемого металла, малорастворимого в основном металле – зоны охрупчивания. При наличии таких прослоек возможны хрупкие разрушения (образование трещин, отслаивание слоя от основного металла) еще при изготовлении изделия. В результате часто приходится отказываться от выполнения наплавки одним составом

наплавляемого материала (обеспечивающего требуемые свойства поверхности) и применять усложненную технологию: предварительно наплавлять подслои, т. е. промежуточный слой из другого наплавочного материала, который образует твердые растворы как с основным, так и с наплавляемыми металлами.

Иногда необходимость подслоя может вызываться и другими причинами. Например, при эксплуатации наплавленной детали в условиях частых теплосмен из-за неодинаковых коэффициентов линейного расширения основного и наплавленного металла в зоне сплавления могут возникать большие термические напряжения, вызывающие после воздействия определенного числа циклов разрушения в результате термической усталости. В этом случае целесообразно предварительно на основной металл наплавлять подслои с промежуточным коэффициентом линейного расширения. Такой подслои ограничивает развитие диффузионных прослоек (обезуглероживание в углеродистой стали и появление карбидной прослойки в более легированной аустенитной стали возле линии сплавления), которые после длительной работы наплавленной детали при высоких температурах или после термообработки изделия в некоторых случаях могут снижать его эксплуатационные характеристики.

Подслои выполняется также с целью предотвращения межкристаллитной коррозии в наплавленном слое – это касается в случае наплавки твердых сплавов на перлитные стали.

Качество самого наплавленного слоя и зоны его соединения с основным материалом в ряде случаев может быть повышено в результате термической обработки: предварительной, сопутствующей, последующей.

Предварительный или *сопутствующий нагрев* обычно применяют при наплавке сталей, склонных к закалке и образованию трещин; при этом снижается вероятность получения хрупких подкаленных зон в металле детали или в хрупком наплавленном слое.

Последующая термообработка применяется для выравнивания микроструктуры и снижения внутренних напряжений. Когда для металла или зоны соединения нежелательно длительное пребывание при высоких температурах, рекомендуется интенсифицировать охлаждение наплавляемой детали – применять принудительное охлаждение.

Таким образом, в различных случаях при наплавке необходимо комплексно решать ряд сложных задач:

– выбор основного и наплавляемого материалов, обеспечивающих соот-

ветствующие свойства условиям эксплуатации;

- возможность наплавки материала непосредственно на основной металл детали и подбор материала для наплавки подслоя;
- выбор режима наплавки;
- выбор термического режима для выполнения наплавки (сопутствующего подогрева для исключения получения хрупких подкаленных зон в металле детали или в хрупком наплавленном слое; интенсификации охлаждения наплавляемой детали, когда для металла нежелательно длительное пребывание при высоких температурах);
- установление необходимости последующей термической (общей или местной) обработки для получения требуемых эксплуатационных характеристик или возможности промежуточной механической обработки.

Следовательно, при разработке технологического процесса наплавки четко регламентируется следующий порядок операций:

1) подготовка основного металла – обработка поверхности под наплавку и обеспечение ее зачистки от ржавчины и пыли, обезжиривание, просушка;

2) подготовка наплавочных материалов – контроль их качества, при необходимости прокалка (эта мера позволяет уменьшить количество диффузионного водорода в наплавочном слое);

3) предварительный и сопутствующий подогрев;

4) сам процесс наплавки с обеспечением заданных режимов – скорость наплавки, сила тока;

5) термообработка после наплавки (отпуск или отжиг) для снятия напряжений (и/или проковка наплавленного слоя). Твердосплавную наплавку перед механической обработкой подвергают термообработке для достижения заданной твердости;

6) механическая обработка для достижения чистовых размеров, так как возникают поводки-деформации детали из-за неравномерности нагрева и утяжки наплавленного слоя;

7) контроль наплавленной поверхности.

Контроль качества наплавки выполняют следующими способами:

- внешним осмотром (выявление подрезов, напылов, поверхностных трещин),
- капиллярной дефектоскопией (люминесцентным или цветным пенетрантом),
- ультразвуковой или рентгенографической дефектоскопией,
- контроль твердости наплавленного слоя для износостойких наплавов. ■

Предприятия отечественной судостроительной промышленности вошли в рыночную экономику с накопленным в эпоху центрального планирования багажом административных активов. Распад этой системы привел к ориентации предприятий на максимально независимое функционирование, требующее замкнутых циклов производства и наличия резервных мощностей внутри каждого предприятия.

Появление отраслевых корпораций, в частности Объединенной судостроительной корпорации в 2007 г., создало условия для интеграции входящих в них промышленных предприятий в единую производственную базу [1]. Распределенные по оптимально выбранным предприятиям корпорации производственные циклы могут быть значительно эффективнее ограниченных рамками отдельных предприятий за счет специализации и сокращения резервных мощностей.

Однако внедрение такой интеграции не может быть сведено к простому восстановлению ранее действовавшей системы межзаводской кооперации, так как она не была ориентирована на рыночную экономику и условия острого дефицита спроса. География России и неравномерность существующей транспортной сети также не позволяют рассматривать предприятия в качестве укрупненных цехов из-за сложности учета влияния логистики на сроки производства. Сейчас интеграция происходит в основном в рамках региональных кластеров [2].

По мере развития отраслевых корпораций управление предприятиями постепенно интегрируется в единую систему. Общая финансовая база и централизация непроизводственных функций сокращают административные барьеры

ОПТИМИЗАЦИЯ РАСПРЕДЕЛЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА С ПРИМЕНЕНИЕМ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

*О.Ю. Аксенов, инженер-технолог,
П.А. Иванов, начальник инновационного отдела,
АО «Адмиралтейские верфи»,
контакт. тел. +7 (921) 644 4377, (812) 714 8802*

ры для совместного производства, но не устраняют проблему расстояний и не дают сами по себе оптимального решения проблемы оптимизации производственного цикла. Кооперация в рамках отдельных городов и регионов представляется ее предельно упрощенным и далеким от оптимальности решением.

ГЕОИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА РАСПРЕДЕЛЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

Первыми шагами для достижения оптимального решения в любом случае должны быть сбор исходных данных и их систематизация. Проводимая в последние годы программа паспортизации предприятий оборонно-промышленного комплекса позволила накопить необходимый для этого объем исходных данных об имеющихся производственных мощностях и их загрузке.

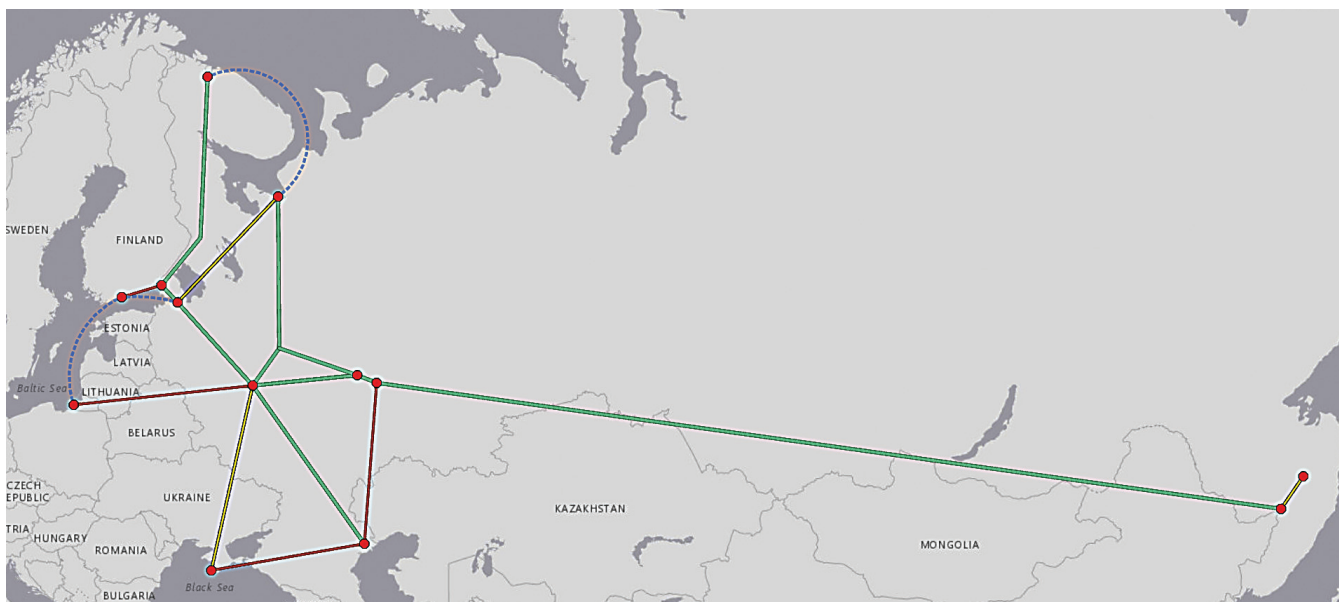
Для систематизации этих данных в едином информационном пространстве после первоначальной обработки хорошо подходят геоинформационные системы (ГИС). Внедрение промышленной ГИС в масштабах ОСК позволит одновременно анализировать доступность производственных мощностей, сроки и стоимость перевозок по реальной транспортной сети, решать задачи оптими-

зации. Такой подход эффективно выявляет и поддерживает цифрами возможности взаимовыгодной кооперации в интегрированной среде [3].

Разработанная и внедренная АО «Адмиралтейские верфи» промышленная ГИС может служить частичным прототипом рассматриваемого решения. Данная система разрабатывалась с применением информационного моделирования для задач управления инфраструктурой и производством внутри предприятия в соответствии с современными тенденциями интеграции информационных систем такого рода [4].

При этом опыт ее внедрения показал, что изначально выбранный подход построения сразу полной трехмерной модели сопряжен со значительными затратами времени и высокими требованиями к вычислительной технике. Кроме того, многие рабочие процессы, типичные для плоских ГИС, неприменимы или требуют принципиально другой реализации в трехмерных ГИС [5].

Поскольку для рассматриваемых задач востребованы преимущественно двумерные рабочие процессы, а построение плоской ГИС значительно проще и быстрее, чем трехмерной, именно такое решение наиболее целесообразно для поддержки распределенного произ-



Логическое отображение транспортных связей между предприятиями ОСК

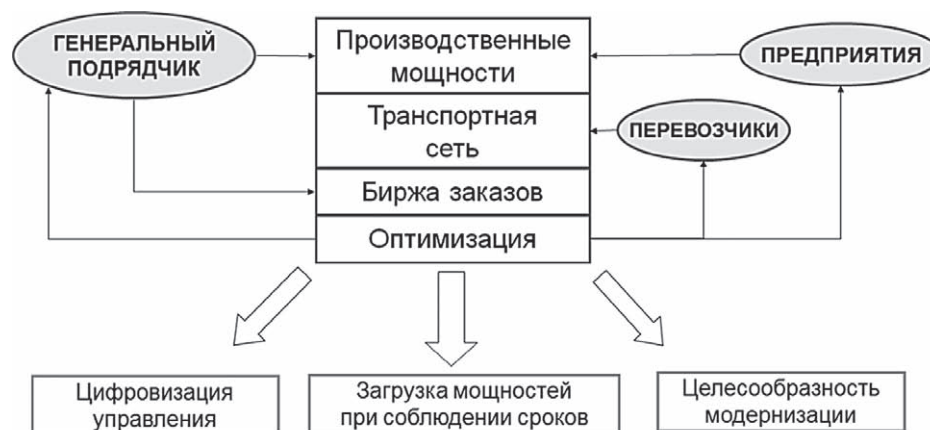


Схема взаимодействия исполнителей

водства. При этом для расчета сроков и стоимости транспортировки требуется интеграция такой системы с существующими транспортными ГИС, которые на данный момент внедрены в ОАО «РЖД» и в Федеральном дорожном агентстве.

ОПТИМИЗАЦИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ЗАДАЧ

Поскольку предложенная система – это не прямая замена применяемых в существующих рабочих процессах, одномоментный переход на нее нельзя рассматривать в качестве реалистичного пути внедрения. Возможность применить оптимизированное распределенное производство появится при запуске новых производственных проектов или программ (серий проектов) с применением проектного управления. При этом ответственный за реализацию таких проектов головной исполнитель должен иметь в их рамках достаточный административный ресурс для получения быстрого отклика других участников. Начальные данные для оценки стоимости и сроков выполнения каждой из задач могут быть получены статистической обработкой прошлых данных совместно с предложениями исполнителей.

Совместный расчет оценочных и обеспеченных на 99% сроков выполнения работ и сроков перевозки на основе ГИС позволит разработать критический и альтернативные пути выполнения проектов. При этом распределение задач может основываться на разработанном плане и электронной бирже работ для совместной оптимизации сроков и стоимости.

На этапе прототипирования экспериментальный расчет оптимизации проводился методом целочисленного программирования. Оценка вероятных сроков выполнения работ делалась на основе имеющихся мощностей и их загрузки с применением теории очередей, для оценки сроков транспортировки ис-

пользовались данные из ГИС. При этом входными данными были типы и объем выполняемых работ, габарит выходного груза, влияющий на скорость транспортировки, и выбор критериев оптимизации – стоимости, срока производства и равномерности загрузки оборудования между предприятиями.

При решении 20 условных задач полученные оптимальные решения по сравнению с выполнением всех работ в рамках одной площадки в среднем приводят к небольшому (менее 1%) повышению стоимости и одновременно к повышению вероятности соблюдения максимально допустимого срока от средних 96% до заданных 99% во всех случаях за счет использования менее загруженного оборудования. Это обусловлено начальными условиями: стоимость работ между предприятиями не варьируется в достаточных пределах для того, чтобы уверенно покрывать затраты на транспортировку. Ключевым эффектом следует считать не снижение стоимости, а возможность оптимизации по заданным критериям и обеспечения.

ВЫВОДЫ

Внедрение геоинформационной системы в качестве средства поддержки распределенного производства может стать логическим развитием текущих трендов отраслевых корпораций на кооперацию в рамках оптимизированных рабочих процессов.

При этом не следует ожидать быстрого и существенного сокращения временных затрат на производство при внедрении такой системы, поскольку стоимость работ сравнима для различных предприятий. Наиболее существенным эффектом является возможность обеспечить сроки с более высокой вероятностью даже при меньшем объеме оборудования, повышая отношение выручки к активам. Некоторый эффект также может быть получен при использовании ГИС для организации обслуживания по

состоянию внутри предприятий. [6] При этом сочетание ГИС с программой оптимизации хорошо выявляет необходимые и избыточные мощности.

Анализ данных за прошлые периоды показывает, что избыточные мощности не только не ликвидируются, но и регулярно модернизируются из соображений сохранения имеющихся возможностей. В сокращении этой избыточности лежит возможность более значительного повышения эффективности по простейшей по меньшей мере одного полного жизненного цикла оборудования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Указ Президента РФ «Об открытом акционерном обществе «Объединенная судостроительная корпорация», Москва, 2007. – <http://kremlin.ru/acts/bank/25217>
2. Промышленные предприятия стремятся к кооперации. Интервью с зам. министра промышленности и торговли В. Осмаковым // Российская газета. – 2017. – Спецвыпуск № 7366 (200).
3. Shah V., Varela M.L.R., Putnik G.D. Collaborative Portal for Supporting Manufacturing Resources Selection in a Global Market. – In: P. Garrido, F. Soares, A. Moreira (eds). CONTROL, 2016: Lecture Notes in Electrical Engineering. – Vol 402.
4. Liu X., Wang X., Wright G., Cheng J.C., Li X., Liu R. A State-of-the-Art Review on the Integration of Building Information Modeling (BIM) and Geographic Information System (GIS) // ISPRS International Journal of Geo-Information. – 2017. – Vol. 6. – № 2. – P. 53.
5. Аксенов О. Ю., Гулевитский А. Ю. Подходы к информационному моделированию в управлении существующей инфраструктурой // Вопросы радиоэлектроники (АО «ЦНИИ «Электроника»). – М., 2017. – № 10. – С. 86–88.
6. Kerkhof R. M., Akkermans H., Noorderhaven N. G. Knowledge Lost in Data: Organizational Impediments to Condition-Based Maintenance in the Process Industry. Logistics and Supply Chain Innovation. – Cham.: Springer, 2015, p. 223–237. ■

Лазерная резка по праву считается весьма продуктивным процессом, но гидроабразивная резка (ГАР) имеет целый ряд преимуществ перед лазером.

В их числе следующие:

- отсутствие ограничений по мощности;
- отсутствие проблем с отражающими материалами, например латунию и алюминием;
- отсутствие термического воздействия и, как следствие, отсутствие стораения и изменения свойств материала в результате чрезмерного нагревания;
- возможна резка термочувствительных материалов, таких как пластмасса, резина или комбинированные материалы, точно так же как стекло, камень или твердая керамика;
- при смене материалов резки следует изменить лишь скорость. Никакой смены газа или оптики не нужно;
- без труда могут быть установлены дополнительные режущие головки для расширения производства;
- не столь критичен зазор между форсункой и поверхностью материала;
- меньшая капиталоемкость в инсталляции, чем лазеру

Кроме того, обслуживание лазерных установок – более специфический и сложный процесс.

Электроэрозионные машины, применяемые для резки, весьма точны, но и весьма медленны. Они предполагают, к тому же, работу только с электропроводными материалами и вызывают изменение свойств материала из-за чрезмерного нагревания.

При обработке кромок, изготовлении сложных контуров и сверлении отверстий работа с гидроабразивной системой гораздо проще в программировании и дешевле. Следует обратить внимание также на то, что изготовление

ПРЕИМУЩЕСТВА ГИДРОАБРАЗИВНОЙ РЕЗКИ ПРИ РАСКРОЕ ЛИСТОВОГО МЕТАЛЛА

Д.В. Гарагуля, руководитель отдела ООО «Пумори-северо-запад», контакт. тел. (812) 670 7026

детали, т.е. прохождение всех операций, происходит за один заход и без образования стружки. Отходы в виде частей материала, а не в виде стружки ценятся выше на вторичном рынке.

ГАР система имеет преимущества и перед резкой плазмой или автогенной. Резка плазмой – это процесс нагревания, захватывающий большие площади заготовки, т.е. оставляет за собой зону, подвергшуюся перегреву. Поверхность материала после гидроабразивной обработки не оставляет на нижней стороне материала никакого грата, поэтому не требует постобработки. Гидроабразивная струя не имеет ограничений по толщине материала, и контуры реза струи могут находиться близко друг к другу.

Толщина материала и точность реза в зависимости от способа резки – лазер / плазма / ЭЭМ/ ГАР резка показана на рис. 1.

Точность реза при гидроабразивной резке составляет $\pm 0,1$ мм или меньше. Более 80% мировых пользователей этих систем режут с такой точностью.

Обычно интересуются, следует ли резать под слоем воды? Позитивная сторона этого способа в том, что уровень шума при этом падает ниже 75 дБА. Негативная сторона резки под водой заключается в том, что в ходе нее плохо (только если есть контроль уровня воды в ванне) или совсем не видна сама де-

таль. Следует отметить также понижение мощности на 5% при укрытии детали водой на 1 мм.

При использовании ГАР систем можно резать даже сталь и титан толщиной до 200 мм, причем в обычном производственном режиме. Известны случаи резки материалов толщинами до 300 и 400 мм. В большинстве же случаев резке подвергаются материалы толщиной от 10 до 60 мм.

Максимальное давление мультипликатора при этом – 420 МПа. Доказано, что наиболее быстрый и продуктивный рез реализуется при давлении в 380 МПа. Более высокое давление приводит лишь к более частым заменам запасных частей.

Объем воды, расходуемой при резке под давлением в 400 МПа рассчитывают в зависимости от параметров форсунок (рис. 2).

Ширина реза примерно на 15% шире диаметра фокусирующей трубки. При диаметре 0,8 мм ширина реза составляет 1,0 мм. С растущим диаметром фокусирующей трубки растет и ширина реза.

Возникающая при резке струей конусность зависит от скорости резки, материала, давления, качества и фракции абразива. При уменьшении скорости уменьшается и конусность до тех пор, пока не образуются параллельные

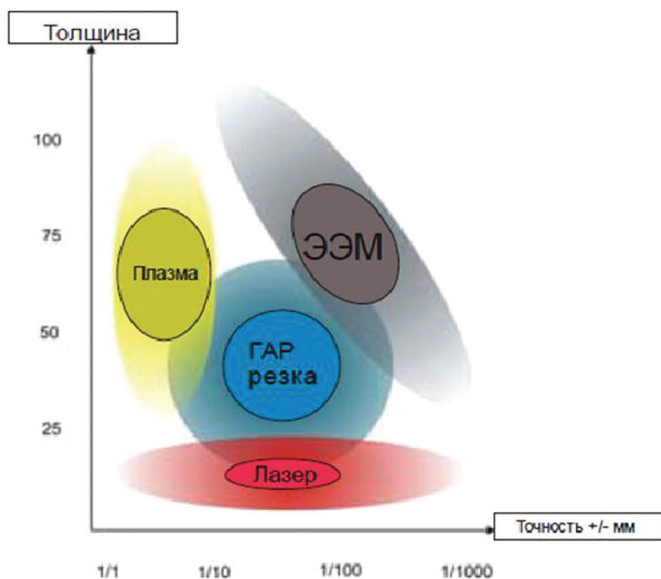


Рис. 1. Толщина материала к точности реза в зависимости от способа резки: лазером, плазмой, ЭЭМ, ГАР

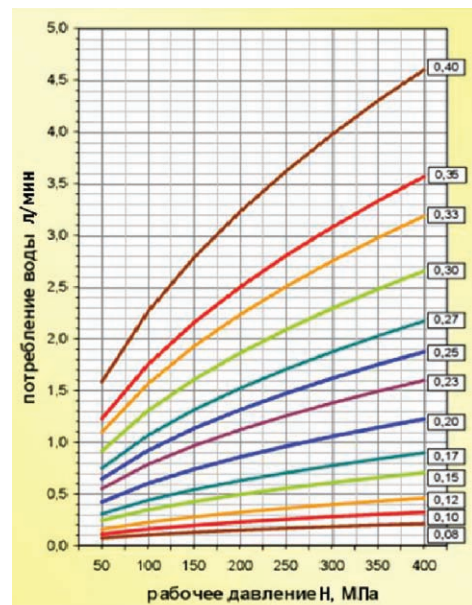


Рис. 2. Параметры форсунок

кромки. Обычная конусность на прецизионных резах составляет от 0,05 до 0,10 мм.

Стартовое отверстие специально сверлить, как правило, не следует. В подавляющем большинстве случаев гидроабразивная установка сама засверливает стартовое отверстие. Лишь при работе с некоторыми комбинированными материалами необходимо уменьшить давление и использовать вакуумное засверливающее устройство.

Энергия струи гасится 700-мм слоем воды в ванной.

Качество воды должно отвечать следующим минимальным параметрам:

- величина pH – 7,0 – 8,5;
- жесткость – 20–60 ppm, соответствующая 2–6 ° dH;
- содержание карбоната кальция – около 35 – 107 ppm;
- содержание хлорида – 100 мг/л;
- температура подаваемой воды – 10–25 °C;
- электропроводимость при +25 °C – 450 µS/cm;
- сухой остаток фильтрата – 350 мг/л;
- содержание свободного хлора – 1 мг/л;
- предварительное давление – 0,2–2,5 МПа.

Расхождение с данными параметрами ведет к уменьшению срока службы прокладок высокого давления и режущих форсунок. В связи с этим рекомендуется провести предварительный химический анализ воды и в случае необходимости включить систему ее подготовки.

Большинство использует обычную водопроводную воду. Перед насосом высокого давления вода должны быть профильтрована до 0,5 мкм. Деионизацию, а также осмотические системы не рекомендуется использовать, поскольку они, очищая воду, делают ее сверхагрессивной, что приводит к повышенному износу компонентов высоконапорной системы.

Использовать воду вторично нецелесообразно вследствие ее низкого расхода – около 200 л/ч.

При подключении электричества следует иметь в виду, что на каждую режущую головку потребуется минимум 45 кВт.

Несколько режущих головок используются в случае массового изготовления одинаковых деталей. В этом случае устанавливается или вторая режущая головка на вертикальной оси, или

вторая вертикальная ось, на которой закрепляются дополнительные режущие головки. При этом важно, чтобы каждая отдельная режущая головка была снабжена одинаковым давлением и количеством воды для реализации одинакового качества резки.

При обслуживании насоса высокого давления следует заменять все прокладки при их изнашивании. При постоянном рабочем давлении в 400 МПа прокладки меняются после 400–1200 часов резки.

В качестве абразива используют гранатовый песок. Он оптимален по стоимости, скорости резки, сроку службы смешивающей головки и безвредности для здоровья.

Количество абразива рассчитывают в зависимости от толщины форсунки и величины фокуса. При рабочем давлении в 400 МПа оптимальны следующие параметры:

- форсунка 0,15 мм, фокус 0,6 мм – 150 г/мин;
- форсунка 0,25 мм, фокус 0,8 мм – 350 г/мин;
- форсунка 0,35 мм, фокус 1,0 мм – 450 г/мин.

Срок службы фокусирующей трубки (фокуса) из качественного керамокарбида – около 100 часов, что примерно на 30% дольше, чем фокусы из других материалов. Такая фокусирующая трубка при увеличении диаметра на 0,5 мм может служить до 150 рабочих часов. Многие наши клиенты используют немного изношенные фокусы для изготовления деталей, где не так важна точность резки.

Несущие решетки служат длительное время в том случае, если резка не происходит все время в одном и том же месте. Решетки можно передвигать, менять местами, переворачивать, также как и на лазерных или плазменных станках.

Срок службы сапфировой форсунки составляет 25 рабочих часов. Алмазная форсунка (наивысшее качество форсунки) служит гораздо дольше, но стоит она в 30 раз дороже и используется в режиме работы «только вода».

Еще одно преимущество ГАР систем – в простоте программирования. Гидроабразивные установки со стандартным цифровым управлением также просты в программировании, как любой другой процесс резки. Стандартное программное обеспечение конвертирует файлы DXF в программу резки, остается

только подогнать скорость резки под меняющийся материал. Основанная на Windows программа TECNOCAM значительно упрощает процесс программирования. Мудреная умственная работа при этом полностью отпадает. Таким образом, проекты быстро и прецизионно программируются.

Так как на обрабатываемую деталь оказывается минимальное механическое давление (менее 1 кг при прецизионных резах и менее 5 кг при обычных резах) не требуются сложные крепежные устройства. Многие пользователи используют лишь какие-либо веса, для того чтобы удержать деталь в неподвижности.

В заключение надо сказать о безопасности работы и влиянии на окружающую среду. Что случится, если палец попадет под струю? Он будет отрезан! Поэтому безопасность вокруг машины очень четко продумана и отвечает повышенным требованиям.

Уровень шума при резке зависит от расстояния от фокусирующей трубки до поверхности материала, т.е. от пути, в котором струя движется по воздуху со сверхзвуковой скоростью. При резке под водой уровень шума падает ниже 75 дБА. При резке над водой в зависимости от расстояния до поверхности материала уровень может доходить до 105 дБА. В экстремальных случаях вся рабочая поверхность должна быть укрыта.

Окружающей среде при использовании ГАР систем не наносится вреда. Ни сама вода, ни гранатовый песок не содержат ядовитых веществ. Таким образом, после фильтрации или оседания взвесей отработанная вода может спокойно сливаться в канализацию. Абразив может быть утилизирован, как строительный мусор. Только если обрабатываемый материал является ядовитым или вредным для здоровья, отработанная вода и абразив должны быть утилизированы соответствующим образом.

Теперь надо сказать о затратах. Исходя из расчетов стоимости и замены расходных материалов и абразива, стоимость одного рабочего часа резки составляет примерно 17–20 евро. Дополнительно должны рассчитываться зарплата, лизинг, аренда и т.д.

ООО «Пумори-северо-запад» является эксклюзивным дистрибьютором установок гидроабразивной резки итальянской компании CMS Tecnocut («Корпорация «Пумори»). ■

В настоящее время вопросы разработки, исследования и создания специальных статических преобразователей (СП), работающих в составе электроэнергетической системы (ЭЭС) корабля, предназначенной для питания потребителей и изделий специального назначения, выполненных на основе цифровой техники, являются весьма актуальными. Использование приборов, построенных на основе сложной цифровой техники, на судах ставит перед пользователями задачу обеспечения их надежным и качественным питанием во избежание отказов и сбоев в работе потребителей, а иногда и к выходу их из строя.

Современный этап технического развития характеризуется бурным ростом не только управляющей, но и силовой электроники, успехи которой позволяют по-новому взглянуть на ряд проблем, которые раньше не решались ввиду непомерной стоимости проекта либо сложности его реализации на имеющейся элементной базе. Совершенствование силовых полупроводниковых приборов и оптимальное сочетание их параметров с режимами работы специальных источников при их проектировании, использование эффективных методов исследования способствуют разработке таких устройств с высокими технико-экономическими показателями. В последние 10–15 лет наиболее быстро развивается силовая преобразовательная техника. Увеличивается мощность преобразовательных устройств, расширяются их функциональные возможности, расширяется сфера их применения, изменяются свойства систем с преобразователями, устраняются их недостатки. Это развитие обусловлено не только существующими потребностями промышленности, но и значительными изменениями элементной базы преобразователей. Существенное влияние на этот процесс оказывает появление новых мощных полупроводниковых приборов. В диапазоне напряжений от 600 до 1700 В лучшими ключевыми элементами последнего десятилетия считаются транзисторные модули IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor – биполярные транзисторы с изолированным затвором). Однако в последние годы серьезную конкуренцию им в данном диапазоне напряжений составляют MOSFET (полевые) транзисторы.

СП могут быть выполнены в различных видах и исполнениях, являться связующим звеном в различных энергетических системах постоянного и переменного тока. Классификацию СП можно провести по многим параметрам и вариантам исполнения. Один из ва-

СТАТИЧЕСКИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ В КОРАБЛЕСТРОЕНИИ

А.С. Петрушенко, зам. генерального директора – технический директор АО «Системы управления и приборы», контакт. тел. +7 (921) 849 2761

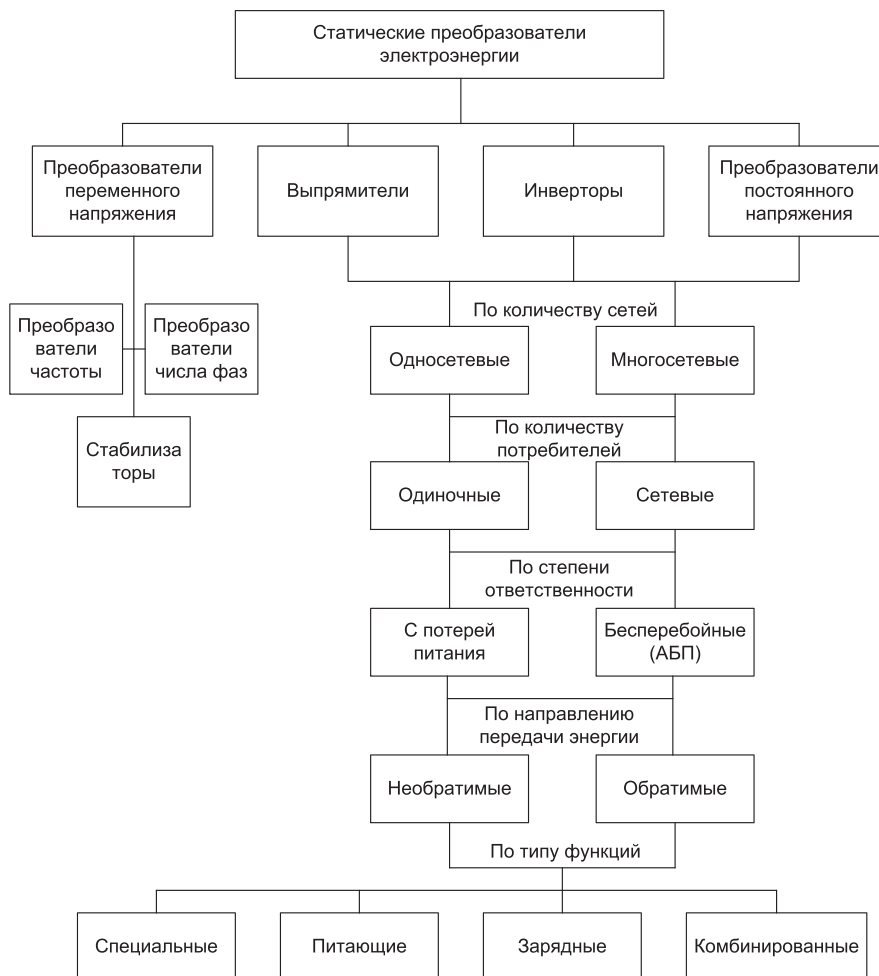


Рис. 1. Классификация преобразователей энергии

риантов классификации приведен на рис. 1. Также стоит отметить, что требования, предъявляемые к корабельным статическим преобразователям, сильно отличаются от требований, предъявляемых к общепромышленной аппаратуре. Корабельные СП отличаются более широким диапазоном входных напряжений, устойчивостью к воздействиям импульсных коммутационных перенапряжений с гораздо большей энергией и временем воздействия, большой перегрузочной способностью и высокой точностью поддержания выходных параметров. Современные корабельные СП имеют современные методы управления и связи с системами верхнего уровня по цифровым каналам (интерфейсам). В последние годы в функциональную схему указанных модулей обязательно входит устройство контроля сопротивления изоляции выходных фидеров. Жесткие требования предъявляются к габаритным

размерам, допустимому тепловыделению, способу охлаждения, механической прочности. Так в большинстве случаев для выполнения требований объекта по уровню шумов, надежности и санитарных норм, корабельные СП должны иметь естественное воздушное охлаждение. Зачастую корабельные СП выполняются в водозащищенном исполнении.

Возможность применения СП настолько велика, что, наверное, нет ни одной корабельной системы, где бы они не были применены. Проведем краткий анализ применения СП на кораблях.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СП В КАЧЕСТВЕ АЛЬТЕРНАТИВЫ ЭЛЕКТРОМАШИНЫМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯМ ДЛЯ СОЗДАНИЯ СЕТИ

Большинство потребителей электрической энергии на морских судах

имеют другой диапазон входного напряжения и род тока, нежели существующая бортовая сеть. Так, например, в качестве конечных потребителей электрической энергии могут использоваться приборы и устройства, предназначенные для питания от промышленной сети переменного тока (50, 400 Гц), а в качестве питающей сети – сеть постоянного тока с аккумуляторной батареей или 3-фазная сеть переменного тока. В подавляющем большинстве случаев бортовая сеть имеет значительный диапазон отклонения напряжения и частоты, перенапряжения и провалы, возникающие при работе мощных приемников и отключения токов короткого замыкания и т.д. Все вышеизложенное приводит к необходимости организации на борту этих объектов локальных сетей с требуемым видом и качеством напряжения с помощью установок преобразовательных устройств. Как правило, эти преобразовательные устройства электромашиного типа.

При этом использование преобразовательных электромашиного типа не всегда оправданно ввиду того, что при использовании в локальных системах остро встает вопрос о массогабаритных параметрах преобразователя. Как раз в таких условиях применение СП наиболее целесообразно, так как при аналогичных электрических характеристиках они имеют лучшие массогабаритные показатели и могут быть установлены в труднодоступных местах.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЫСОКОТОЧНЫХ СП В СОСТАВЕ СИСТЕМ КОМПЕНСАЦИИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ

Система компенсации магнитного поля (СКМП) предназначена, как следует из ее названия, для компенсации до минимально возможного уровня магнитного поля, создаваемого ферромагнитными массами корабля, и автоматического поддержания достигнутого уровня в процессе плавания, когда под влиянием внешних факторов происходят достаточно значительные изменения поля. Достижимый уровень компенсации (погрешность компенсации) служит критерием оценки качества СКМП.

Основными элементами системы компенсации являются аппаратура управления и исполнительная часть, включающая средства создания компенсирующего поля и источники питания этих средств постоянным током. В качестве источника питания используются источник тока, при этом его пульсация не должна быть более 0,1%.

Обеспечение высокой эффективности СКМП морского судна зависит

от преобразователей питания обмоток. Разработчики преобразователей питания добиваются более высоких результатов в вопросе точности обработки управляющего сигнала, повышения КПД, улучшения массогабаритных показателей.

В современных СП использование DSP технологий и современных схемотехнических решений и управления позволяют достичь пульсации тока в 0,01%, и погрешности удержания тока в 0,25%, что позволяет использовать СП в качестве источника тока для СКМП.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СП ВО ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ ОБОГРЕВА СУДОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ И ПОМЕЩЕНИЙ

Задачей любой системы обогрева является поддержание заданной температуры внутри помещения в то время, когда температура окружающей среды может значительно изменяться в зависимости от сезона и географического расположения. Для обеспечения заданного режима необходимо компенсировать потери тепла, возникающие вследствие разности температур, за счет подвода тепловой энергии.

СП – наверное, единственно возможный вариант для использования в системах обогрева ввиду массогабаритных и экономических характеристик. Принцип работы в таких системах достаточно прост: происходит преобразование электрической энергии в тепловую, выделяющейся на резистивной нагрузке в виде кабелей, панелей, подложек и пр. При этом особо важный фактор работы является полное регулирование энергетических характеристик в нагрузке, что обеспечивает стабильное поддержание заданных режимов работы всей системы в целом.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СП В КАЧЕСТВЕ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯМИ

При работе с электрооборудованием нередко возникает необходимость управления частотой вращения асинхронного (синхронного) электродвигателя. Для этого могут использоваться гидравлические муфты, дополнительные резисторы в цепи роторных и статорных обмоток, механические вариаторы, электромеханические преобразователи частоты и, наконец, статические преобразователи. Первые четыре способа регулирования недостаточно экономичны, трудоемки при их реализации и малоэффективны.

При использовании СП получаем неоспоримые преимущества при работе с электродвигателями и механизмами, в чей состав они входят:

- обеспечивается плавное регулирование скорости вращения в широком диапазоне при сохранении достаточно жестких механических характеристик;
- регулирование скорости, кроме того, не вызывает увеличения коэффициента скольжения асинхронного двигателя, поэтому потери мощности при регулировании малы.

Но для того, чтобы обеспечить высокие показатели экономичности электродвигателя – коэффициент полезного действия, способность к перегрузкам – одновременно с частотой должно меняться и подводимое напряжение.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СП В КАЧЕСТВЕ ЗАРЯДНОГО И СОГЛАСУЮЩЕГО УСТРОЙСТВА

При работе с аккумуляторной батареей и ее заряде, как правило, используются следующие методы:

- заряд постоянным током или постоянным напряжением. Этот метод реализуется с помощью стабилизированного источника тока или напряжения. Величина зарядного тока или напряжения поддерживается постоянной во всем диапазоне заряда;
- заряд реверсивным током. Эксплуатационные характеристики аккумуляторов улучшаются при их заряде реверсивным током, т.е. переменным током с различными амплитудами и длительностями импульсов обоих направлений на каждом периоде их следования. В каждом периоде аккумулятор заряжается и частично разряжается. При определенном соотношении амплитуд и длительности импульсов прямого и обратного тока снижается газовыделение и температура электролита, что увеличивает срок службы аккумуляторной батареи и предотвращает ее сульфатацию.

Принимая во внимание условия заряда-разряда аккумуляторных батарей, можно сделать вывод, что обеспечить данные характеристики работы могут только СП.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СП В КАЧЕСТВЕ АКТИВНЫХ ФИЛЬТРОВ ВЫСШИХ ГАРМОНИК

В энергосистемах, содержащих мощные потребители энергии с полупроводниковыми преобразователями, обычно существенно искажаются напряжения и токи электросетей. Особенно велики искажения при наличии в системах мощных преобразователей на однооперационных тиристорах и

диолах. Коммутационные процессы в этих устройствах также приводят к возникновению в сетях резонансных явлений.

Гармоники, протекающие по распределительным сетям, вызывают снижение качества электрической энергии, что может иметь ряд негативных последствий:

- перегрузки в распределительных сетях из-за увеличения действующего значения тока;
- перегрузки в нулевых (нейтральных) проводниках из-за суммирования токов высших гармоник, кратных трем, которые генерируются однофазными нелинейными нагрузками;
- перегрузки, вибрация и преждевременное старение генераторов, трансформаторов и электродвигателей, а также повышенный шум трансформаторов;
- перегрузки и преждевременное старение конденсаторов для повышения коэффициента мощности;
- искажение формы питающего напряжения, которое может повлиять на «чувствительные» нагрузки.

В большинстве случаев для снижения искажений напряжения сети применяют резонансные LC-фильтры, а также RC-цепи. Вместе с тем современное состояние силовых полупроводниковых систем позволяет для улучшения качества электроэнергии использовать активные фильтры, построенные, например, на модулях IGBT (биполярный транзистор с изолированным затвором) или MOSFET (полевые транзисторы). Эти устройства могут выполнять и другие задачи: компенсировать реактивную мощность электросетей, восстанавливать симметрию напряжений. В качестве мощных активных фильтров рассматривается применение многоуровневых, многотактных и каскадных полупроводниковых преобразователей.

Проанализируем более подробно принцип работы активных фильтров гармонических составляющих.

Одним из координатных направлений снижения гармонического воздействия преобразователей на питающую сеть и нагрузку является переход к повышенной фазности преобразователя. С целью снижения потребляемой реактивной мощности целесообразно применение преобразователей с опережающей искусственной коммутацией вентилей (компенсированных преобразователей). С этой же целью и с целью улучшения спектров токов и напряжений могут быть использованы комбинированные способы регулирования выпрямленного напряжения. Проблема снижения потребления реактивной мощности и нормализации качественных показателей

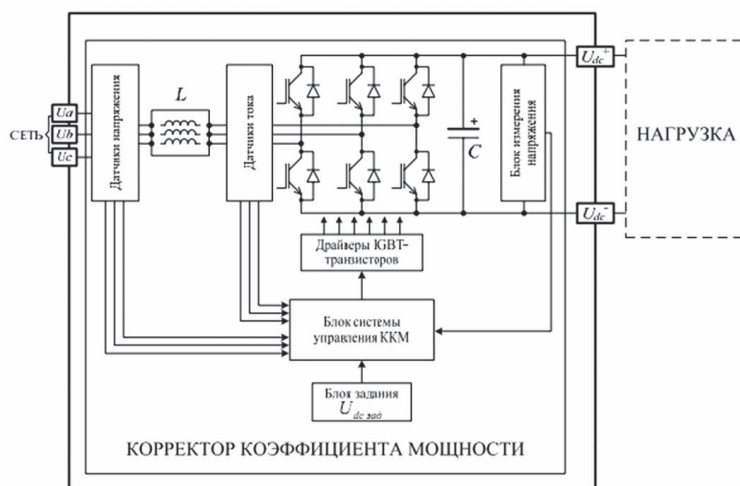


Рис. 2. Структурная схема активного ККМ

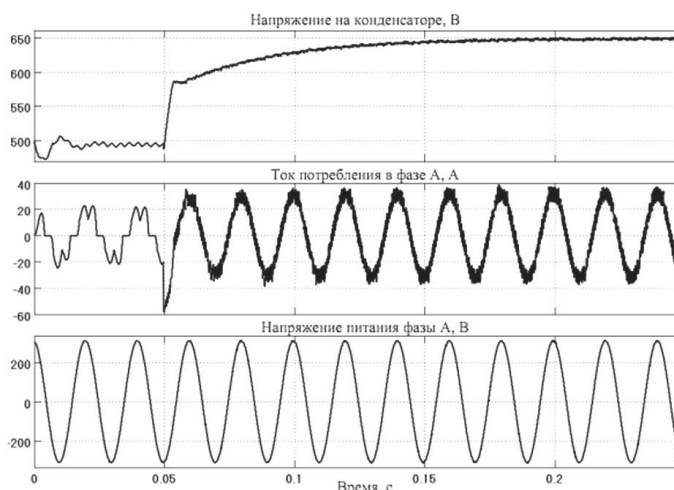


Рис. 3. Результаты моделирования работы ККМ

электрической энергии может решаться и с применением внешних для преобразователей корректирующих устройств – пассивных и активных фильтров. В ряде случаев отмеченные проблемы решаются активным выпрямителем или корректором коэффициента мощности (ККМ), являющим внутренним узлом СП (элемента нелинейной нагрузки), либо использованием активного фильтра гармоник (АФГ).

Активные ККМ применяются как в однофазных, так и в многофазных сетях. Для каждого отдельного случая ККМ имеет особенную структуру. Структурная схема активного ККМ для трехфазных цепей приведена на рис. 2. Она содержит дроссель L, инвертор с IGBT-модулем, конденсатор C, блок системы управления ключами инвертора, датчики напряжений и токов. Система управления по сигналам с датчиков (напряжение в фазах, ток потребления в фазах на входе ККМ, напряжение на конденсаторе, уровень заданного напряжения) формирует сигнал управления ключами инвертора. Управление осуществляется таким образом, чтобы организовать синусоидальную форму потребляемого нагрузки тока сети, совпадающий по фазе с напряжением, а так же обеспечить уро-

вень напряжения на конденсаторе вблизи заданного значения. Путем оценки мгновенных показателей тока и напряжения сети, вычисления и установления необходимой частоты и фазового сдвига.

Моделирование работы ККМ (рис. 3) проводилось при амплитуде фазного питающего напряжения 311 В частотой 50 Гц. Дроссель на входе ККМ имеет индуктивность 3 мГн; конденсатор в цепи постоянного напряжения – 1000 мкФ. Размер зоны гистерезиса реле системы управления (разница между верхней и нижней границами) был установлен в 10 А, коэффициенты усиления ПИ-регулятора: пропорциональный – 5 А/В, интегральный – 30 А/В. Резистор как элемент, выбранный в качестве активной нагрузки, имеет номинал 25 Ом.

Как видно из результатов моделирования, форма тока и напряжения совпадают по фазе и имеют одинаковую синусоидальную форму. Расчетные данные показывают, что коэффициент мощности $\cos\phi$ без ККМ составляют 0,75, когда при использовании ККМ близки к 1 и составляют 0,99.

Проанализируем принцип действия АФГ. Рассматривая инвертор напряжения как реверсивный широтно-импульсный

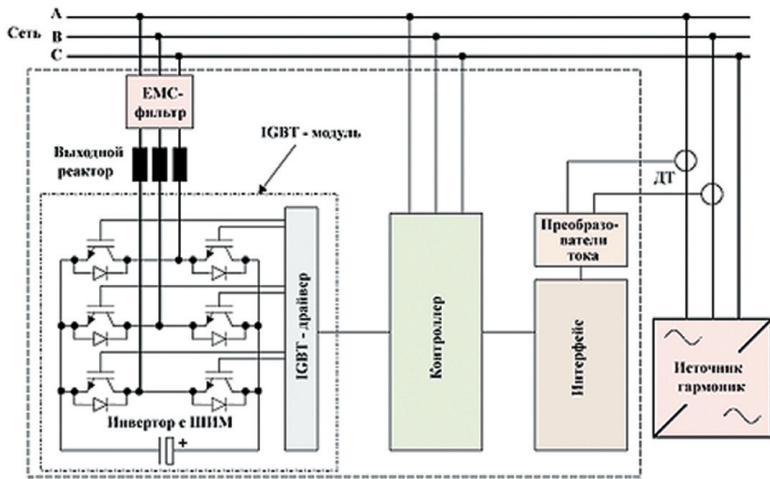


Рис. 4. Типовая блок-схема АПФ параллельного типа

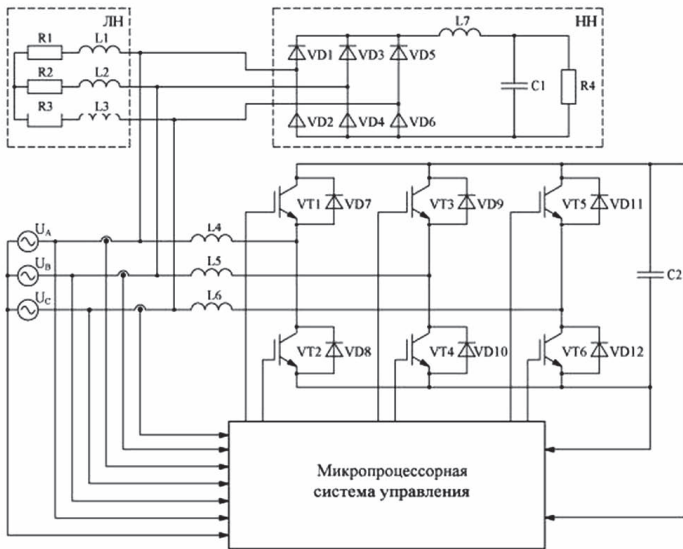


Рис. 5. Имитационная модель с нелинейной выпрямительной нагрузкой. ЛН – линейная нагрузка

преобразователь (ШИП), работающий в режиме периодического реверса, и учитывающая линейность регулировочной характеристики ШИП, можно воспроизвести на выходе инвертора любую кривую задания тока (напряжения). На рис. 4 показана типовая, блок-схема наиболее часто применяемого АПФ параллельного типа:

Для компенсации токов, искаженных нелинейными элементами выпрямителей с реактивной нагрузкой, на АПФ возлагаются функции генерации синусоидальных токов в тех интервалах времени, когда нагрузка питается энергией накопителей, и функции поглощения мощности искажений в интервалах проводимости диодов выпрямителя. Рассмотрим процесс компенсации мощности искажений на примере имитационной модели нелинейной нагрузки, представленной на рис. 5, где нелинейная нагрузка (НН) представлена выпрямителем VD1–VD6 с LC-фильтром, преимущественно емкостного характера. Моделирование реализовано при следующих допущениях:

- питающая сеть представлена идеальным источником трехфазного напряжения;
- силовая часть выпрямителя и компенсатора выполнена на идеальных ключах без потерь.

На рис. 6 приведены результаты моделирования электромагнитных процессов работы АПФ, где представлены мгновенные значения напряжений сети и потребляемых из этой сети токов. Механизм компенсации мощности искажений каждой фазы иллюстрируются рис. 7.

ВЫВОДЫ

Современные тенденции развития управляющей и силовой электроники позволяют говорить о том, что задачи, встающие перед разработчиками преобразовательной техники, будут обязательно решены, позволяя при этом говорить об улучшении массогабаритных показателей изделий. Статическое преобразование энергии является основным путем достижения минимальных

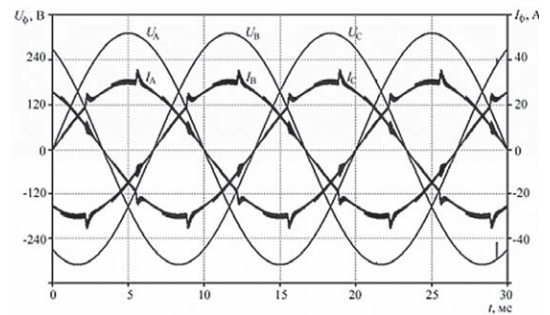


Рис. 6. Напряжения U_{ϕ} и токи I_{ϕ} трех фаз распределительной сети

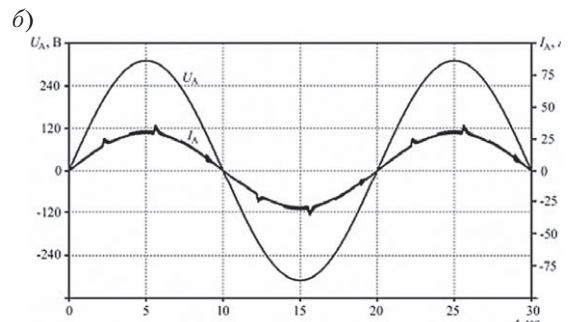
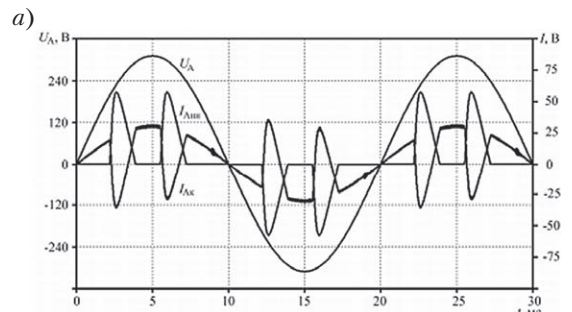


Рис. 7. Диаграммы напряжений и токов АПФ: а – напряжение фазы А – U_A , токи фазы А – нелинейной нагрузки $I_{Aнн}$, АПФ – I_{AK} ; б – напряжение фазы А – U_A и ток распределительной сети фазы А – I_A

виброшумовых характеристик корабля.

В заключение необходимо отметить, что создание на предприятии новой аппаратуры сопряжено с рядом проблем, которые, впрочем, известны и другим разработчикам электронной техники специального назначения. Главная проблема заключается в отсутствии современной отечественной элементной базы, на основе которой можно создавать эту технику для ВМФ. Традиционно такого рода техника строилась с применением самых передовых технологий, самых свежих технических решений. Сегодня создатели вынуждены ориентироваться либо на разрешенные к применению, но устаревшие электронные компоненты, либо испытывать колоссальные трудности с согласованием импортной элементной базы, так как аналогичные разработки в стране отсутствуют или находятся в зачаточном состоянии. Главные потребности – это мощные вычислительные устройства и компоненты силовой электроники. ■

НАДЕЖНОСТЬ ИЗДЕЛИЙ СУДОВОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ

М.А. Александров, канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник, директор,
А.Г. Богданов, зам. директора, ЗАО «ЦНИИ СМ»,
В.Ю. Каминский, канд. техн. наук, доцент, зав. лабораторией,
Д.А. Скорородов, д-р техн. наук, проф., гл. науч. сотрудник,
Институт проблем транспорта им. Н. С. Соломенко РАН,
контакт. тел. (812) 640 1051, 321 9568

Теория надежности рекомендует следующие основные критерии для оценки надежности технических устройств и систем [1]:

- вероятность безотказной работы $P(t)$;
- наработка до первого отказа T_1 ;
- интенсивность отказов $\lambda(t)$;
- частота отказов (плотность распределения времени до первого отказа) $f(t)$;
- наработка на отказ T ;
- параметр потока отказов (средняя частота отказов) $\omega(t)$;
- функция готовности $K_r(t)$;
- коэффициент готовности K_r .

Показатели $P(t)$, T_1 , $\lambda(t)$, $f(t)$ позволяют оценить надежность изделия в работе до его первого отказа, являясь критериями надежности невосстанавливаемых элементов судовых устройств. Элемент или узел (объект) считается невосстанавливаемым, если не подлежит ремонту или не может быть отремонтирован во время выполнения задания. Указанные критерии могут использоваться также для оценки надежности восстанавливаемых объектов, которые работают в условиях, не допускающих возникновения отказа.

Критерии T , $\omega(t)$, $K_r(t)$, K_r позволяют оценить надежность элементов, допускающих отказы, т.е. восстанавливаемых (ремонтируемых). Эти критерии не применяются для оценки надежности невосстанавливаемых устройств независимо от условий их использования.

Надежность – внутреннее физическое свойство изделия. Как всякое физическое свойство, оно значительно шире и глубже, чем любой численный показатель надежности. Поэтому для достаточно полной оценки надежности объекта необходимо использовать совокупность критериев. Выбор критериев зависит от множества факторов, основными из которых являются: ремонтоспособность объекта, наличие резервирования, условия эксплуатации.

Выше перечислены критерии надежности ремонтируемых и неремонтируемых изделий. Рассмотрим влияние остальных факторов на выбор определенных критериев.

Резервированный объект может быть как ремонтируемым, так и неремонтируемым. Если резервированный объект неремонтируемый, то критериями его надежности по-прежнему являются $P(t)$, T_1 , $\lambda(t)$, $f(t)$. Однако наработка до первого отказа T_1 в этом случае становится критерием неудовлетворительным. Покажем это на примерах.

Допустим нерезервированный и невосстанавливаемый объект имеет наработку до первого отказа 300 ч, т.е. $T_1 = 300$ ч. Решено повысить его надежность путем мажоритарного резервирования «два из трех». Выясним, во сколько

раз повысится при этом надежность объекта. Вероятность безотказной работы при мажоритарном резервировании «два из трех» выражается формулой [2]

$$P_p(t) = P^3(t), \quad (1)$$

где $P(t)$ – вероятность безотказной работы в течение времени t нерезервированного устройства.

Вычислим наработку до первого отказа и вероятность безотказной работы объекта в зависимости от наличия резервирования, предполагая, что интенсивность отказов нерезервированного устройства $\lambda = \text{const}$.

Вероятность безотказной работы нерезервированного устройства – $P(t) = e^{-\lambda t}$, а наработка до первого отказа – $T_1 = 1/\lambda$. Тогда вероятность безотказной работы $P_p(t)$ и наработку до первого отказа T_p резервированного устройства можно вычислить по формулам

$$P_p(t) = 3e^{-2\lambda t} - e^{-3\lambda t}; \quad (2)$$

$$T_p = \int_0^{\infty} P_p(t) dt. \quad (3)$$

Выигрыш надежности в результате резервирования

$$G_T = \frac{T_p}{T_1} = \frac{5/6 T_1}{T_1} = 5/6.$$

Следовательно, если оценивать надежность резервированного объекта наработкой на отказ, то мажоритарное резервирование не приводит к повышению его надежности.

Определим выигрыш надежности резервированного устройства, опираясь на вероятность безотказной работы (или на вероятность отказа).

Пусть время непрерывной работы устройства $t = 30$ ч. Тогда

$$P(30) = e^{-\lambda t} = e^{-\frac{30}{300}} = 0,9,$$

а вероятность безотказной работы резервированного устройства будет:

$$P_p(30) = 3P^2(30) - 2P^3(30) = 0,97.$$

Качество дублированного объекта будет определяться величиной выигрыша надежности от резервирования по вероятности отказов

$$K_p = \frac{Q_1}{Q_p} = \frac{1-0,9}{1-0,97} = \frac{0,1}{0,03} = 3,3,$$

где Q_1 – вероятность отказа нерезервированного изделия; Q_p – вероятность отказа резервированного изделия.

Итак, мажоритарное резервирование «два из трех» повышает надежность объекта более чем в три раза.

Как известно, в большинстве случаев судовые устройства не могут быть продублированы или иметь резерв ввиду сложности и дороговизны, поэтому целесообразно резервировать или дублировать отдельные структурные элементы устройства. Надежность элемента с учетом дублирования или резервирования будет иметь вид [3, 4]

$$P_{op} = [1 - (1 - P_o)(1 - P_p)],$$

где P_{op} – суммарная надежность основного и резервного элемента объекта; P_o – надежность основного элемента; P_p – надежность резервного элемента.

Например, при условии, что резервный структурный элемент имеет такую же надежность, как и основной ($P = 0,9$), получим величину надежности основного элемента с учетом резервного

$$P_{op} = [1 - (1 - 0,9)(1 - 0,9)] = 0,99$$

т.е. величина надежности элемента существенно возрастает. Следовательно, отдельные структурные элементы, которые могут быть зарезервированы, в значительной степени повышают надежность объекта.

Приведем еще один пример. В соответствии с техническими условиями необходимо спроектировать объект с наработкой до первого отказа $T_1 = 300$ ч. В процессе проектирования специальные методы повышения надежности не применялись. Поэтому после анализа надежности оказалось, что наработка до первого отказа объекта не превышает 150 ч. Принято решение: для обеспечения надежности применить резервирование с постоянно включенным резервом. Нарботка до первого отказа резервированного устройства T_p определяется выражением

$$T_p = T_1 \left(1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{2} + \dots + \frac{1}{m+1} \right), \quad (4)$$

где T_1 – наработка до первого отказа нерезервированного устройства; m – кратность резервирования.

Из формулы (4) видно, что при $T_1 = 150$ ч требуемая наработка на отказ ($T_p = 300$ ч) достигается при кратности резервирования $m = 3$, т.е. для повышения надежности вдвое необходимо в четыре раза увеличить объем оборудования объекта.

Оценим теперь надежность изделия вероятностью безотказной работы. Пусть время непрерывной работы изделия $t_1 = 50$ ч. Тогда вероятность без-

отказной работы нерезервированного устройства будет:

$$P(50) = e^{-\frac{t}{T_1}} = e^{-\frac{50}{150}} \approx 0,72.$$

При дублировании устройства (при $m=1$) получим

$$P(50) = 1 - [1 - P(50)]^2 \approx 0,97.$$

Из приведенного примера видно, что при проектировании практически отсутствовала возможность применить резервирование для обеспечения требуемой наработки до первого отказа ($T_1 = 300$ ч). При этом простое дублирование обеспечивает создание высоконадежного объекта ($P(t) = 0,97$).

Эффекты резервирования в рассмотренных примерах легко объяснимы. Нарботка до первого отказа является интегральным критерием и выражается через вероятность безотказной работы следующей зависимостью [5]:

$$T_1 = \int_0^{\infty} P(t) dt. \quad (5)$$

Из этого выражения видно, что при определении наработки до первого отказа вероятность $P(t)$ интегрируется по всей временной оси (время работы бесконечно), в то время как устройство работает ограниченное время t . По этой причине наработка до первого отказа является неудовлетворительным критерием надежности с коротким временем непрерывной работы. Так как невосстанавливаемые объекты всегда работают ограниченное время, определяемое временем до первого отказа, то сделанный вывод справедлив для всего класса резервированных невосстанавливаемых устройств.

В тех случаях, когда закон распределения времени до первого отказа отличен от экспоненциального, наработка до первого отказа является неудовлетворительным критерием надежности технических устройств и систем, для которых характерно непродолжительное время непрерывной работы. Это объясняется тем, что наработка до первого отказа, являясь математическим ожиданием случайной величины – времени до первого отказа, далеко не полно характеризует эту величину при многопараметрических законах распределения. В этих случаях необходимо знать хотя бы второй центральный момент распределения – дисперсию наработки до первого отказа.

Нарботку до первого отказа как критерий надежности можно применять лишь в том случае, когда изделие не резервировано и справедлив экспоненциальный закон распределения отказов.

В случае восстанавливаемых резервированных систем критериями надежности могут быть T , $\omega(t)$, $K_r(t)$, K_r . Если восстанавливаемый элемент функционирует достаточно долго, могут при-

меняться приведенные критерии [6, 7]. При малом времени функционирования такие критерии, как наработка на отказ и коэффициент готовности, могут оказаться неудовлетворительными. Рассмотрим это положение более подробно.

Функция готовности нерезервированного восстанавливаемого объекта определяется формулой:

$$K_r(t) = K_r + (1 - K_r) e^{-(\lambda + \mu)t}, \quad (6)$$

где $K_r(t) = \lim_{t \rightarrow \infty} K_r(t)$ – коэффициент готовности; λ , μ – коэффициенты интенсивности отказов и восстановления изделия соответственно.

Допустим время функционирования системы равно наработке на отказ, то есть $t = T$, тогда из формулы (6) имеем

$$K_r(T) = K_r + (1 - K_r) e^{-\frac{T}{T_1}}. \quad (7)$$

Из этого выражения получаем: при $K_r = 0,5$ $K_r(T) = 0,57$, при $K_r = 0,65$ $K_r(T) = 0,6357$, а при $K_r = 0,9$ и выше $K_r(t)$ и K_r практически совпадают.

Поскольку $\frac{T}{T_1} = \frac{K_r}{1 - K_r}$, тогда при $K_r = 0,9$ $T = 9T_1$.

Из приведенных соотношений следует, что, если наработка на отказ восстанавливаемой резервированной системы примерно на порядок и более выше среднего времени восстановления то наступает практически установившийся режим в течение времени эксплуатации, равном наработке на отказ. Если время эксплуатации существенно меньше наработки на отказ, то такие критерии, как K_r и T , являются неудовлетворительными. В подобных случаях критериями надежности восстанавливаемого объекта могут быть лишь средняя частота отказов $\omega(t)$ и функция готовности $K_r(t)$. Все сказанное справедливо также для резервированных восстанавливаемых устройств.

Объекты могут находиться в двух состояниях – рабочем и на хранении. В рабочем состоянии возможны три основных режима: длительный, повторно-кратковременный и кратковременный. Все сказанное выше о критериях надежности относится к объектам длительного использования. При повторно-кратковременном режиме выбор критериев надежности зависит от состояния устройств в режиме ожидания очередного сеанса работы. Если в режиме ожидания объект находится во включенном состоянии, то при выборе критериев надежности его следует рассматривать как устройство длительного режима работы. Если в режиме ожидания объект находится в выключенном состоянии, то выбор критериев надежности зависит от его ремонтпригодности. Если в режиме ожидания ремонт устройства не допускается, то критериями надежности будут те же, что и для объектов длительного режима работы. Если в режиме ожида-

ния допускается ремонт, то критериями надежности могут быть вероятность безотказной работы в течение времени одного сеанса $P(t)$, интенсивность $\lambda(t)$ и частота $f(t)$ отказов (при условии, что устройство в течение работы ремонту не подлежит), средняя частота отказов $\omega(t)$, функция готовности $K_r(t)$ (если допускается ремонт объекта в течение сеанса работы). Такие критерии, как T , T_1 , K_r применять нецелесообразно.

Выше показано, что при кратковременном режиме работы устройства критерии T , T_1 , K_r также являются неудовлетворительными.

Выбор критериев надежности судовых элементов и устройств для оценки их надежности в процессе хранения зависит от вида контроля их состояния при хранении. Для неконтролируемых объектов критериями надежности могут быть те, что позволяют оценить его надежность до первого отказа: $P(t)$, T_1 , $\lambda(t)$, $f(t)$. В случае периодического контроля состояния и восстановления отказавших элементов и узлов их надежность следует оценивать по тем же критериям, что и надежность неконтролируемых объектов, но в межконтрольный период. Если состояние устройства контролируется непрерывно, то его надежность следует оценивать по тем же критериям, что и надежность непрерывно работающих восстанавливаемых систем.

ВЫВОДЫ

Качество дублированного объекта определяется величиной выигрыша надежности от резервирования, оцениваемого вероятностью отказов. Как правило, судовые структурные узлы не могут быть зарезервированы ввиду сложности и дороговизны, поэтому целесообразно резервировать отдельные элементы структуры, что обеспечивает требуемые показатели надежности судовых узлов.

Нарботку до первого отказа как критерий надежности, можно применять лишь в том случае, когда изделие не резервировано и справедлив экспоненциальный закон распределения отказов.

Если наработка на отказ восстанавливаемого резервированного судового узла примерно на порядок и более выше среднего времени восстановления, то практически наступает установившийся режим в течение времени эксплуатации, равном наработке на отказ.

Если время эксплуатации существенно меньше наработки на отказ, то такие критерии, как коэффициент готовности и время до отказа системы, являются неудовлетворительными. В подобных случаях критериями надежности восстанавливаемого объекта могут быть лишь средняя частота отказов и функция готовности.

Выбор критериев для оценки надежности объекта в процессе хранения зависит от вида контроля его состояния при хранении. Для неконтролируемых устройств критериями надежности могут быть те критерии, которые позволяют оценить надежность до первого отказа.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Ивченко Б. П., Мартыщенко Л. А., Монастырский М. Л.* Теоретические основы информационно-статистического анализа сложных систем. – СПб.: Лань. – 1997, с. 319.

2. Справочник по надежности технических систем / Под ред. И. А. Ушакова. – М.: Радио и связь. 1985, с. 606.
3. Интегрированные системы управления кораблем. Методические указания / Сост. Д. А. Скороходов – СПб: Изд. СПбГЭТУ. 2010, с. 49.
4. *Амбросовский В.М., Белый О.В., Скороходов Д.А., Турусов С.Н.* Интегрированные системы управления техническими средствами транспорта: Учеб. пособие. – СПб.: ЭЛ-МОР. 2001, с. 288.
5. *Артамонов В. С., Звонов В. С., Поляков А. С. и др.* Проблемы безопасности водного транспорта при чрезвычайных ситуаци-

6. *Артамонов В. С., Поляков А. С., Скороходов Д. А.* Экспертный метод прогноза надежности и безопасности железнодорожного транспорта // Науч. электронный журнал «Вестник СПбГУПС». – 2013. – №2. – С. 36 – 42.
7. *Александров М. А., Скороходов Д. А., Стариченков А. Л.* Методика оценки надежности объектов транспорта при произвольных законах распределения. – Международная научно-практ. конф. «Транспорт России: проблемы и перспективы», СПб. 29–30 октября. 2013, с 28 – 33. ■

К числу основных задач, решаемых на борту морских и речных судов, относятся задачи автоматизации технологических процессов, управления судном как морским подвижным объектом, судовыми энергетическими установками и элементами энергетического комплекса. Усилия специалистов АО «НПФ «Меридиан», занимающихся разработкой, созданием и производством интегрированной мостиковой системы (ИМС), были направлены, в первую очередь, на решение именно этих задач. С этой целью, начиная с 1965 г., НПФ «Меридиан» разработала три поколения пультов, которыми были оборудованы атомные ледоколы «Арктика», «Россия», «Сибирь», «Ямал», «Советский Союз», «50 лет Победы»; научно-исследовательские суда «Космонавт Ю. Гагарин», «Космонавт Г. Добровольский», «Академик С. Королев», «Профессор Ю. Визе»; супертанкер «Крым»; танкеры «Победа» и «Б. Бутوما»; контейнеровозы типа «Сестрорецк»; плавкраны «Богатырь» и «Витязь»; сухогрузы различных проектов; портовые буксиры; судно специального назначения «Россия» и многие другие суда.

Предприятие и сегодня продолжает модернизировать ИМС, разрабатывая и внедряя новые программные модули, предназначенные для автоматизации технологических процессов и оптимизации затрат, в том числе за счет обеспечения энергосбережения, экономии топлива и электроэнергии на судне. Расширение класса практически решаемых задач методами математического программирования способствует повышению эффективности использования ресурсов и ресурсосбережению не только на судах, но и других объектах водного транспорта [1]. К таким задачам можно отнести алгоритмические решения оптимальной загрузки системы электроснабжения портов, оборудования судостроительных и судоремонтных заводов и др. С помощью квадратичного программирования можно исследовать вопросы чувствительности функции цели к

вариации элементов производственной матрицы, получать решения типовых задач линейного программирования и исследования операций.

Рассмотрим алгоритм расчета экономичных режимов работы судовых генераторных агрегатов (ГА) с различными расходными характеристиками. Определим экономичные режимы по критерию расхода топлива, необходимого для получения 1 кВт·ч генерируемой в сеть электроэнергии, с помощью процедуры квадратичного программирования.

Современные судовые электроэнергетические системы содержат в своем составе, как правило, несколько ГА с различными расходными характеристиками первичных двигателей, суммарная мощность которых сопоставима с мощностью главных двигателей судна. Это позволяет обеспечить высокую энерговооруженность и надежность судовой энергетической установки, создать комфортные условия для отдыха пассажиров, работы обслуживающего персонала и судовых команд, значительно повысить конкурентоспособность отечественного флота на мировом рынке при оказании транспортных услуг. Вместе с тем эксплуатация судовых энергетических установок и судовых электростанций в условиях высокой энерговооруженности требует принятия комплекса мер, направленных на экономии ресурсов судна. Характерным эксплуатационным ре-

жимом судовой электростанции следует считать режим с изменяющейся во времени потребляемой мощностью. В зависимости от времени суток, температуры окружающей среды, погодных условий, местоположения судна и других факторов суммарная мощность потребителей электроэнергии различного назначения может изменяться в широких пределах. Однако время, в течение которого в рейсе электростанция работает на максимальной мощности, значительно меньше времени работы на частичных режимах. Следовательно, в процессе работы судовой электростанции на долевых нагрузках возможно повысить ее экономичность за счет такого распределения мощности генераторов, при котором стоимость вырабатываемой электроэнергии достигает минимальных значений.

Если потребляемая мощность не превышает мощности, развиваемой одним генератором, то оптимальным является режим, соответствующий работе одного генератора на судовую сеть. При параллельной работе однотипных генераторных агрегатов с идентичными расходными характеристиками потребляемая мощность должна равномерно распределяться между генераторами. Опыт эксплуатации показывает, что при неполном подобии внешних характеристик агрегатов, различных статических характеристиках регуляторов частоты вращения дизель-генераторов, а

также по ряду других причин активная нагрузка между параллельно работающими ГА распределяется с неравномерностью, достигающей 20–30% и более по отношению к номинальной мощности генераторов [2,3]. ГА с различными расходными характеристиками должны эксплуатироваться на наиболее экономичных режимах, при которых обеспечивается уменьшение затрат на топливо, потребление первичными двигателями, и снижение потерь электроэнергии в электрических сетях [4, 5].

Предлагается алгоритм оптимального распределения активной нагрузки при параллельной работе судовых генераторных агрегатов и программа для его реализации, составленная на базе функции quadprog вычислительной среды MatLAB.

Судовые ГА относятся к обширному классу объектов, расходные характеристики которых с высокой точностью допускают аппроксимацию квадратичными полиномами. Характеристики представляют собой аналитические зависимости расхода топлива от генерируемой ГА мощности (его нагрузки).

Расход топлива i -го объекта (ГА) данного класса является нелинейной функцией нагрузки, аппроксимируемой квадратичным полиномом

$$F_i = a_i L_i^2 + b_i L_i + c_i, \quad (1)$$

$i=1, 2, \dots, n,$

где a_i, b_i, c_i – постоянные коэффициенты полинома, оцениваемые по эксперименту методом наименьших квадратов;

L_i – нагрузка i -го технологического объекта (ГА); F_i – количество топлива, потребляемого i -м объектом (ГА) в режиме, соответствующем генерированию i -м агрегатом мощности L_i, n – число технологических объектов (ГА), установленных на судне.

При параллельной работе ГА осуществляется подключение всех либо отдельных групп ГА к судовой сети и обеспечивается питание потребителей электроэнергии. Спрос потребителей электроэнергии на судне удовлетворяется в любой момент и в полном объеме. Поэтому в аналитическом виде данное условие работы судовой электростанции можно записать

$$L = \sum_{i=1}^k L_i, \quad i=1, 2, \dots, k, \quad (2)$$

где k – число параллельно работающих объектов в текущий момент, $k \leq n$; L – спрос (нагрузка судовой сети), реализуемый с помощью судовой электростанции.

Рассмотрим случай, когда в составе группы ГА находятся объекты с различными расходными характеристиками. Задачу экономии топлива при переменных нагрузках F судовой сети сформу-

лируем следующим образом: минимизировать

$$F = \sum_{i=1}^k F_i(L_i), \quad (3)$$

путем вариации L_i при соблюдении ограничения – равенства (2) и системы ограничений на вектор переменных состояния с элементами L_i

$$L_{i\min} \leq L_i \leq L_{i\max}, \quad (4)$$

где $L_{i\min}, L_{i\max}$ – минимальное и максимальное предельные значения генерируемой мощности i -м ГА.

Для решения приведенной выше задачи экономии топливно-энергетических ресурсов можно использовать различные методы и алгоритмы оптимизации [6]. Вместе с тем, учитывая вид полинома (1), для группы параллельно работающих судовых ГА можно предложить простой алгоритм поиска оптимальных решений, основанный на применении решателей задач квадратичного программирования.

Предположим, что $k=n$. Тогда задачу (1)–(4) можно представить в терминах синтаксиса функции quadprog. Записанные в матричной форме уравнения имеют вид

$$J = \frac{1}{2} x^T \cdot H \cdot x + f^T. \quad (5)$$

Здесь вектор состояния $x^T = [L_1 \ L_2 \ L_3 \ \dots \ L_n]$; вектор f^T , согласно уравнению (1), содержит элементы $b_i, i=1, 2, \dots, n$:

$$f^T = [b_1 \ b_2 \ b_3 \ \dots \ b_n]. \quad (6)$$

Матрица H составляется из элементов a_i и является диагональной размерности $(n \times n)$:

$$H = \text{diag} (a_1 \ a_2 \ a_3 \ \dots \ a_n). \quad (7)$$

Исходя из условий реализации технологического процесса, следует ввести систему ограничений, определяемых соотношениями

$$A \cdot x \leq b; \quad (8)$$

$$A_{eq} \cdot x = b_{eq}. \quad (9)$$

Согласно (2), матрица A_{eq} вырождается в вектор-строку, состоящую из n единиц, а вектор b_{eq} представляет собой мощность L , потребляемую сетью, т. е. скалярную величину. Ограничения – неравенства в модели отсутствуют. При записи функции quadprog их можно задать «пустыми» составляющими $A = []$ и $b = []$.

Перегрузка ГА исключается введением ограничения (4).

Таким образом, для определения экономичных режимов работы судовых генераторных агрегатов на конкретном судне, следует получить исходные данные и воспользоваться алгоритмом, представленным соотношениями (4)–(9). При этом экономичные режимы во всем допустимом диапазоне изменения нагрузки

$L \leq \text{sum}(UB) = \text{sum}([L_{1\max} \ L_{2\max} \ \dots \ L_{n\max}]^T)$ могут быть определены только численными методами оптимизации и, в част-

ности, методом квадратичного программирования.

Применение алгоритма поясним на примере параллельной работы трех генераторных агрегатов электроэнергетики. Расходные характеристики генераторов (1) заданы в виде трех полиномов:

$$F_1 = 0,030L_1^2 + 2L_1 + 40;$$

$$F_2 = 0,015L_2^2 + 1,45L_2 + 30;$$

$$F_3 = 0,010L_3^2 + 0,95L_3 + 70.$$

Согласно (4), определены граничные условия (максимальные и минимальные мощности генераторных агрегатов):

$$L_{1\min} = 0, \ L_{1\max} = 50 \text{ кВт},$$

$$L_{2\min} = 0, \ L_{2\max} = 70 \text{ кВт},$$

$$L_{3\min} = 0, \ L_{3\max} = 80 \text{ кВт}.$$

Матрица H и вектор f^T имеют вид

$$H = \begin{bmatrix} 0,030 & 0 & 0 \\ 0 & 0,015 & 0 \\ 0 & 0 & 0,010 \end{bmatrix};$$

$$f^T = [2 \ 1,45 \ 0,95].$$

Для выполнения расчетов используется программная среда MatLAB.

При записи матрицы H в файле элементы увеличены вдвое, поскольку в критерии (5) квадратичная составляющая умножается на коэффициент $1/2$, что позволило привести расчеты к формулам (1). Из приведенного текста файла следует, что с помощью функции quadprog получены экономичные режимы во всем рабочем диапазоне изменения потребляемой сетью мощности от судовых ГА:

$$0 \leq L \leq 200$$

с шагом дискретности, равным единице. Размерность вектора Y экономичных режимов – (3×201) . Решения в графической форме представлены на рис. 1.

Последовательность изменения нагрузки группы объектов в зависимости от спроса определяется элементами вектора L . Согласно рис. 1 и полученным режимам с помощью матрицы Y при изменении L от 0 до 25 кВт работает только генератор № 3. В диапазоне нагрузки 26–70 кВт работают третий и второй генераторы. В диапазоне 71–125 кВт изменяется мощность на трех генераторах. В рабочем диапазоне 126–175 кВт третий генератор полностью загружен (80 кВт), а на генераторах № 2 и № 3 происходит изменение мощности. Начиная с нагрузки $L=176$ кВт и выше, поддерживаются максимальные мощности генераторов № 3 и № 2 (80 кВт и 70 кВт), а изменяется мощность только генератора № 1 (см. рис. 1). В момент, когда $L=200$, достигается также максимум мощности генератора № 1 (50 кВт), и в этой рабочей точке вариация переменных состояния теряет смысл.

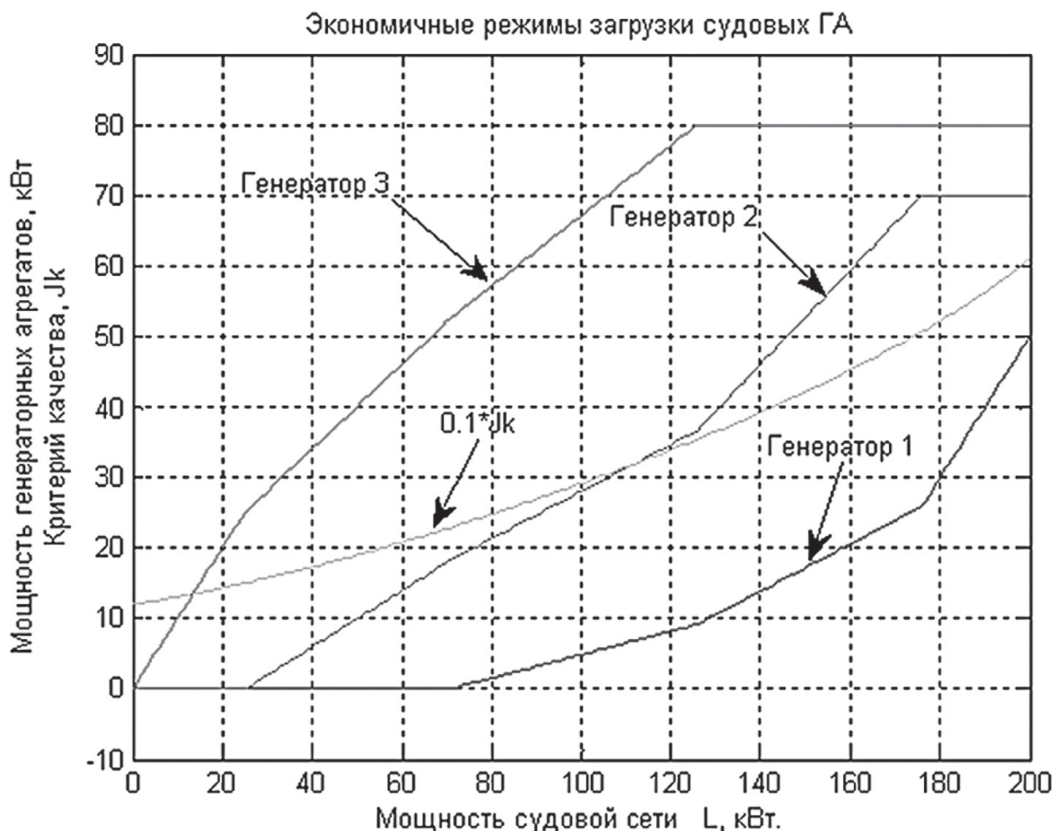


Рис. 1. Оптимизация режимов работы судовых ГА методом квадратичного программирования

Критерий качества в рабочем диапазоне нагрузки от нуля до 200 кВт претерпевает существенные изменения. В рассмотренных контрольных точках он равен:

- $L=0, Jk=120;$
- $L=25, Jk=150;$
- $L=70, Jk=227,4;$
- $L=125, Jk=352,0660;$
- $L=175, Jk=503,7361;$
- $L=200, Jk=610.$

Эффективность предложенного алгоритма особенно высока при наличии большого числа ГА или других объектов, для работы которых могут использоваться различные виды топлива. Работа дизель-генераторов на топливе тяжелых сортов приводит к снижению общих расходов дизельного топлива, которое оценивается с позиций экономии светлых нефтепродуктов. Сокращение расхода дизельного топлива обеспечивается за счет применения, например, газотурбинного топлива, стоимость которого меньше дизельного. Применение двухтопливных систем и средств топливоподготовки дает возможность использовать на судах моторное топливо, а также различные топливные смеси. В этих

условиях коэффициенты уравнений (1) и (4) должны изменяться в зависимости от конкретной ситуации использования топлива. Следовательно, оперативно должны корректироваться оптимальные режимы объектов-преобразователей энергии топлива в электроэнергию и другие виды и энергии. Эти операции можно выполнять в режиме online с помощью рассмотренного алгоритма и реализованного в кодах MatLAB численного метода оптимизации.

В заключение отметим, что при распределении активной мощности между синхронными генераторами следует воздействовать на органы подачи топлива первичных двигателей. Чтобы обеспечить высокие динамические свойства энергетической системы, целесообразно при скачкообразных изменениях нагрузки использовать PID – регуляторы напряжения, а в квазиустановившихся режимах вводить в действие контур настройки оптимальных рабочих параметров нагрузки генераторных агрегатов, согласно алгоритму.

ЛИТЕРАТУРА

1. Wang Y. T., Wilson D. R. Heat-Pump control // IEE Proc.-D. Control Theory

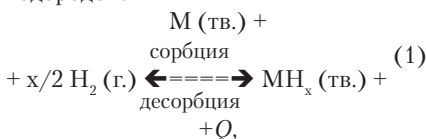
and Applications. –1983. –Vol. 130. – Part D. – №6 (November). – P. 328–332.

2. Голубев П. В., Куликов С. А., Шергина О. В. Распределение ресурсов методом квадратичного программирования. –Интеграционная стратегия становления профессионала в условиях многоуровневого образования: Сб. ст. Международ. науч.-практич. конфер. – Котлас, 22–24 июня 2007 г. – В 2-х т. – Т. 2. – С. 296–302.
3. Колесников А. А. Последовательная оптимизация нелинейных агрегированных систем управления. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 160 с.
4. Голубев П. В., Лебедев С. И., Старостин А. В. Экономия электроэнергии навигационного оборудования с автономными источниками электроэнергии // Межвузов. сб. науч. тр. «Технические средства судовождения и связи на морских и внутренних водных путях». – СПб.: СПГУВК. –2005. – Вып. 6. – С. 58–62.
5. Кулибанов Ю. М., Малый П. А., Сахаров В. В. Экономичные режимы работы судовых энергетических установок. – М.: Транспорт, 1987. – 205 с.
6. Голубев П. В., Севрюков А. С. Конструирование регуляторов судовых автоматических систем средствами символической математики. – Межвузов. сб. науч. тр. «Информационные технологии и системы (Управление, экономика, транспорт)». – СПб.: ООО «Андреевский ИД», 2005, с. 35–40. ■

Перспективной альтернативой механическим компрессорам водорода является металлгидридный компрессор. Его преимуществами являются практически неограниченное давление нагнетания (до килобар), масштабируемость (от нескольких литров до нескольких кубометров водорода в час), простота в ремонте и обслуживании, а также возможность утилизировать низкопотенциальное тепло [1]. В металлгидридном компрессоре отсутствуют движущиеся части, такие как поршни или мембраны, что упрощает конструкцию и повышает ее надежность. Кроме того, работа металлгидридного компрессора водорода характеризуется отсутствием шума и вибрации, что важно при эксплуатации компрессоров водорода на объектах специального назначения.

ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ И ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТАЛЛОГИДРИДНОГО КОМПРЕССОРА

В основе металлгидридного компримирования водорода лежит обратимое гидрирование металлов или сплавов водородом:



где M – металл или сплав, $M H_x$ – металлгидрид, (г.) – газ, (тв.) – твердая фаза, Q – тепловой эффект реакции.

Процесс поглощения водорода, сопровождаемый образованием металлгидрида, происходит с выделением тепла Q (экзотермическая реакция). При разложении гидрида с выделением водорода происходит поглощение тепла Q (процесс эндотермический) [2–3].

Принцип действия одноступенчатого металлгидридного термокомпрессора проиллюстрирован на рис. 1.

Процесс компримирования водорода включает в себя четыре стадии:

- DA: сорбция водорода металлической фазой при низкой температуре T_l и низком давлении P_l ;

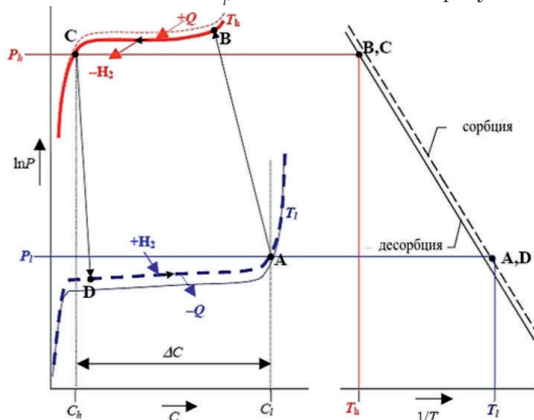


Рис. 1. Принцип действия одноступенчатого металлгидридного компрессора [4]

МЕТАЛЛОГИДРИДНЫЕ КОМПРЕССОРЫ ВОДОРОДА

М.С. Бочарников, начальник отдела – зам. гл. конструктора,
Ю.Б. Яненко, канд. техн. наук, зам. ген. директора – гл. конструктор,
АО «Специальное конструкторско-технологическое бюро по электрохимии с опытными заводом»,

Б.П. Тарасов, канд. хим. наук, зав. лабораторией Института проблем химической физики РАН,
контакт. тел. (495) 662 7116, (496) 522 1743

- АВ: нагрев металлгидрида с низкой температуры T_l до высокой температуры T_h , сопровождаемый компримированием водорода от низкого P_l до высокого P_h давления;
- ВС: десорбция водорода из металлгидрида при высокой температуре T_h с отбором водорода высокого давления P_h ;
- охлаждение металлической фазы до первоначально низкой температуры T_l .

В настоящее время существует несколько направлений практического применения металлгидридных компрессоров водорода: например, в атомной промышленности для хранения и компримирования изотопов водорода [5], в космической отрасли в качестве криогенных охладителей [6]. Также одним из интересных направлений использования металлгидридных компрессоров является термически управляемый привод [7]. Указанные выше металлгидридные компрессоры являются достаточно узкоспециализированными и имеют низкую производительность.

Наиболее перспективным направлением считается интегрирование металлгидридных компрессоров в инфраструктуру производства водорода, в частности, заправка компримированным особым чистым водородом композитных (до 700 атм) и стальных (до 150 атм) баллонов с производительностью до 20 м³/ч.

Создание металлгидридных термокомпрессоров включает в себя решение ряда научно-технических задач, в частности, выбор и исследование гидридообразующих материалов, разработка

конструкции металлгидридных модулей, оптимизация режимов работы и т.д.

Для решения этих задач, а также определения возможности компримирования электролизного водорода от 2–5 до 150–160 атм с производительностью до 15 м³/ч АО «СКТБЭ» совместно с лабораторией водород-аккумулирующих материалов ИПХФ РАН разработали, изготовили и исследовали два типа двухступенчатых металлгидридных компрессоров водорода ТСК1-3,5/150 и ТСК2-3,5/150.

МЕТАЛЛОГИДРИДНЫЙ КОМПРЕССОР ВОДОРОДА ТСК1-3,5/150

В ходе анализа данных литературных источников и результатов предварительных экспериментальных исследований было установлено, что для компримирования водорода до 150 атм в температурном диапазоне 15–150 °С перспективна двухступенчатая схема сжатия водорода, при этом наиболее подходящим материалом для первой ступени является гидридообразующий сплав $LaNi_5$, для второй ступени – $La_{0,5}Ce_{0,5}Ni_5$. Эти сплавы легко активируются, имеют высокую скорость обратимой сорбции водорода и узкий гистерезис, циклически стабильны, не отравляются примесями в электролизном водороде, образуют только одну гидридную фазу. Зависимости равновесного давления фазообразования от температуры при гидрировании и дегидрировании рабочих материалов I и II ступеней представлены на рис. 2.

Основной элемент компрессора ТСК1-3,5/150 – металлгидридный

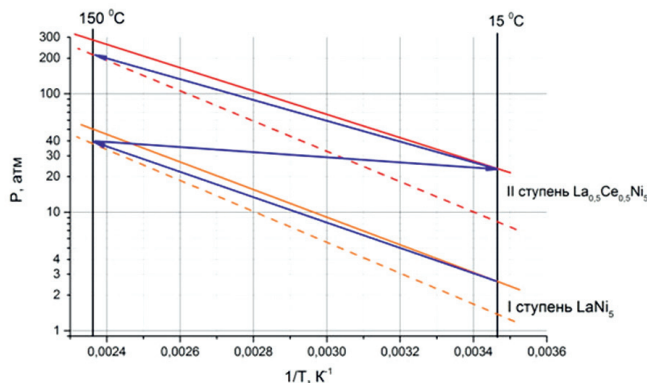


Рис. 2. Зависимости равновесного давления фазообразования от температуры при гидрировании и дегидрировании рабочих материалов I и II ступеней

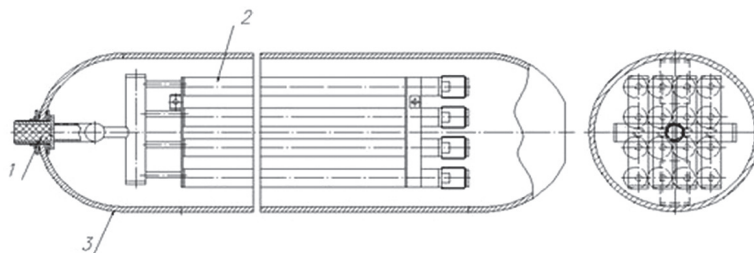


Рис. 3. Модуль металлгидридного компрессора в корпусе

модуль, представляющий собой шестнадцать трубок, внутренним диаметром 22 мм, соединенных общим коллектором (рис. 3). В каждую трубку засыпан порошок гидридообразующего сплава. Для предотвращения уноса порошка в газопровод на выходе из модуля вставлен фильтр 1.

Общий вид и схема компрессора ТСК1-3,5/150 показаны на рис. 4. Компрессор состоит из 12 модулей (шесть

гидридный компрессор состоит из трех секций, что позволяет реализовать непрерывное компримирование водорода.

За год эксплуатации компрессора суммарное время наработки составило около 6000 часов. При этом средняя производительность компрессора постепенно снизилась с $10 \text{ м}^3/\text{ч}$ до $7\text{--}8 \text{ м}^3/\text{ч}$. В ходе испытаний выяснилось, что для улучшения технико-эксплуатационных характеристик компрессора необходимо

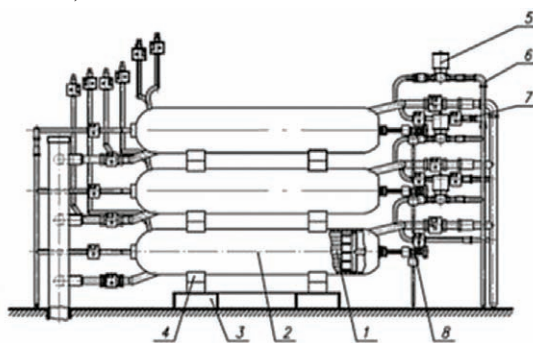


Рис. 4. Общий вид (а) и схема (б) компрессора ТСК1-3,5/150

1 – модуль с металлгидридом, 2 – корпус, 3 – рама, 4 – опора, 5 – электромагнитный клапан, 6 – линии подачи и отвода теплоносителя, 7 – шаровой кран с электроприводом, 8 – вентиль

модулей I ступени и шесть модулей II ступени) с металлгидридом 1, герметично вмонтированных в корпус 2 на раме 3. Корпуса соединены с системой подачи и отвода теплоносителей 6. Модули с помощью вентилей 8 соединены с газопроводом. В качестве теплоносителя для охлаждения используется вода при температуре 15°C , для нагрева – перегретый водяной пар при температуре 150°C и давлении 5 атм.

На начальной стадии электролизный водород поступает в модуль I ступени со сплавом LaNi_5 (30 кг) и гидрирует его до состава LaNi_5H_6 при 15°C (температура поддерживается холодной водой) за 10 мин, затем модуль I ступени с гидридом нагревается до 150°C перегретым водяным паром в течение 10 мин. Выделяющийся из модуля I ступени десорбируемый водород под давлением 30–40 атм поступает в охлаждаемый водой модуль II ступени со сплавом $\text{La}_{0,5}\text{Ce}_{0,5}\text{Ni}_5$ (24 кг) и гидрирует его до состава $\text{La}_{0,5}\text{Ce}_{0,5}\text{Ni}_5\text{H}_6$ за 10 мин, при последующем нагревании модуля II ступени водяным паром до температуры 150°C в течение 10 мин давление десорбируемого водорода достигает 150 атм. Металло-

повысить коэффициент теплопередачи между порошком и стенкой модуля, понизить энергетические затраты на производство пара, организовать замкнутый цикл для теплоносителя, заменить пар на масло для уменьшения коррозионной активности теплоносителя. Для интенсификации теплообмена в термосорбционном металлгидридном компрессоре проведены работы по моделированию [8–9], которые были использованы для усовершенствования конструкции ТСК.

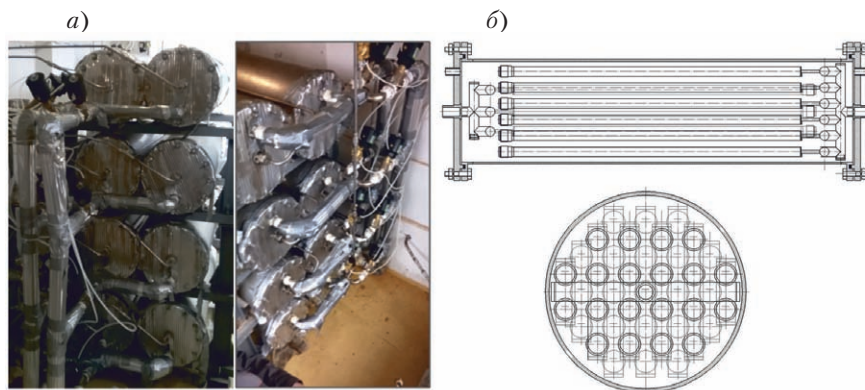


Рис. 5. Общий вид компрессора ТСК2-3,5/150 (а) и схема его металлгидридного модуля (б)

МЕТАЛЛОГИДРИДНЫЙ КОМПРЕССОР ВОДОРОДА ТСК2-3,5/150

На рис. 5 представлены общий вид компрессора ТСК2-3,5/150 и схема его металлгидридного модуля [10].

Металлогидридный модуль состоит из 41 трубки внутренним диаметром 22 мм, соединенных общими коллекторами. Для улучшения теплопередачи между порошком и стенкой трубки, а также для повышения эффективной теплопроводности порошка гидридообразующего сплава внутрь каждой трубки помещена матрица из высокопористой пенемеди.

Металлогидридный компрессор ТСК2-3,5/150 составлен из восьми металлгидридных модулей (четыре модуля I ступени и четыре модуля II ступени), соединенных с газопроводом и линиями подачи и отвода теплоносителя.

Нагрев и охлаждение металлгидридных модулей компрессора ТСК2-3,5/150 осуществляются с помощью синтетического органического теплоносителя Magtherm N, который циркулирует по двум замкнутым контурам, представленным на гидравлической схеме (рис. 6).

На начальной стадии электролизный водород поступает в модуль I ступени со сплавом LaNi_5 (40 кг) и гидрирует его до состава LaNi_5H_6 при 15°C за 15–20 мин, затем модуль I ступени с гидридом нагревается до 150°C в течение 15–20 мин. Выделяющийся из модуля I ступени десорбируемый водород под давлением 30–40 атм поступает в охлаждаемый модуль II ступени со сплавом $\text{La}_{0,5}\text{Ce}_{0,5}\text{Ni}_5$ (34 кг) и гидрирует его до состава $\text{La}_{0,5}\text{Ce}_{0,5}\text{Ni}_5\text{H}_6$ за 15–20 мин, при последующем нагревании модуля II ступени до температуры 150°C в течение 15–20 мин давление десорбируемого водорода достигает 150 атм. Металлогидридный компрессор состоит из четырех секций, что позволяет реализовать непрерывное компримирование водорода.

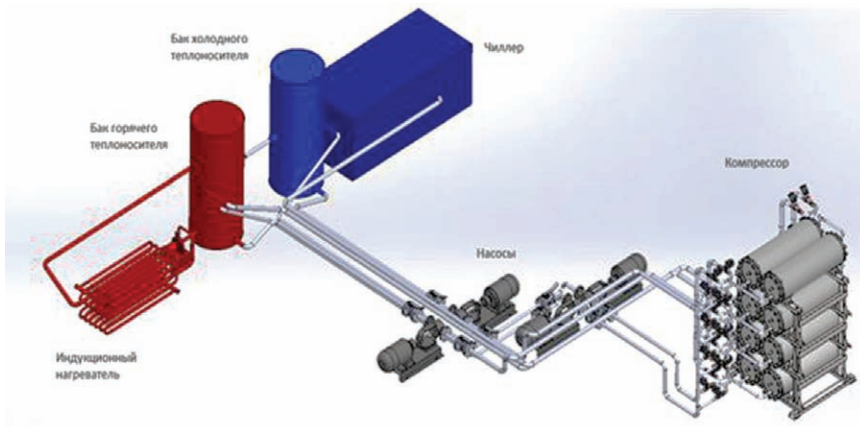


Рис. 6. Гидравлическая схема компрессора ТСК2-3,5/150

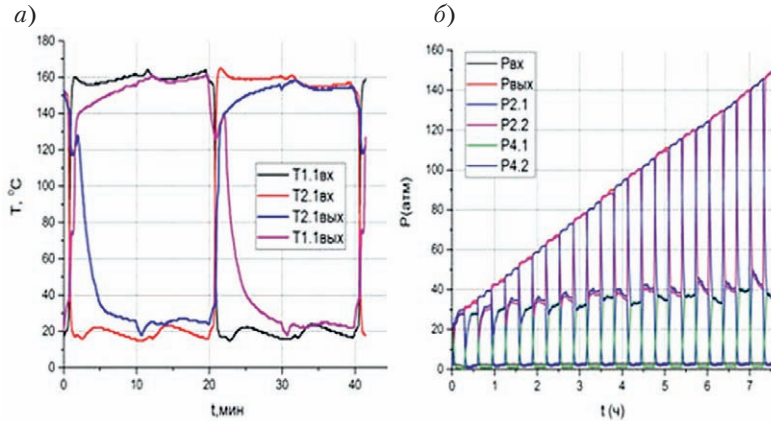


Рис. 7. Изменение температур первой и второй ступеней металлгидридного компрессора ТСК2-3,5/150 (а) и изменение давления в процессе работы компрессора при заполнении контейнера из 12 баллонов (б)

Основные характеристики металлгидридного компрессора ТСК2-3,5/150 представлены на рис. 7.

В АО «СКТБЭ» разработана и создана опытно-экспериментальная линия производства водорода чистотой 99,995% об. (рис. 8) с компримировани-

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для создания металлгидридных компрессоров, повышающих давление водорода от 3 до 150 атм, предложены и исследованы сплавы $La_x Ce_{1-x} Ni_3 H_{6,5}$. На основе этих сплавов в АО «СКТ-



Рис. 8. Опытно-экспериментальная линия производства водорода

ем электролизного водорода от 4 до 150 атм с использованием металлгидридного компрессора ТСК2-3,5/150.

За 12 месяцев эксплуатации металлгидридного компрессора ТСК2-3,5/150 в составе опытно-экспериментальной линии производства водорода общий объем сжатого водорода составил 40 000 м³, количество отработанных циклов 10 000, средняя производительность по водороду – 12–13 м³/ч.

БЭ» сконструированы и изготовлены два типа оригинальных двухступенчатых металлгидридных компрессоров водорода ТСК1-3,5/150 и ТСК2-3,5/150. Проведены испытания компрессора ТСК1-3,5/150 в течение 12 месяцев и установлена средняя производительность по водороду 7–8 м³/ч.

Проведены испытания компрессора ТСК2-3,5/150 в течение 12 месяцев и установлены следующие характерис-

тики: средняя производительность по водороду – 12–13 м³/ч, объем сжатого водорода – 40 000 м³.

Показано, что компрессоры данного типа могут быть альтернативой механическому компрессору для наполнения стальных и композитных водородных баллонов.

Научно-технические результаты исследования металлгидридных компрессоров позволяют рассматривать их в качестве прототипов компрессоров водорода для перспективных систем электрохимической регенерации воздуха АПЛ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Lototskiy M., Satya Sekhar B., Muthukumar P., Linkov V., Pollet B.G. Niche applications of metal hydrides and related thermal management issues // Journal of Alloys and Compounds. – 2015. – Vol. 645. – P. s117–s122.
2. Бочарников М.С., Яненко Ю.Б., Тарасов Б.П. Металлогидридный термосорбционный компрессор водорода высокого давления // Альтернативная энергетика и экология. – 2012. – № 12. – С. 18–23.
3. Lototskiy M.V., Yartys V.A., Pollet B.G., Bowman Jr. R.C. Metal hydride hydrogen compressors: a review // Intern. J. of Hydrogen Energy. – 2014. – Vol. 39. – Iss. 11. – P. 5818–5851.
4. Lototskiy M., Klochko Ye., Linkov V., Lawrie P., Pollet B.G. Thermally Driven Metal Hydride Hydrogen Compressor for Medium-Scale Applications // Energy Procedia. – 2012. – Vol. 29. – P. 347–356.
5. Golubkov A.N., Grisechkin S.K., Yulchichuk A.A. System for investigation of hydrogen isotopes–solid body interaction at 500 MPa // International J. of Hydrogen Energy. – 2011. – Vol. 26. – P. 465–468.
6. Wade L.A., Bowman Jr R.C., Gilkinson D.R., Sywulka P.H. Development of sorbent bed assembly for a periodic 10 Ksolid hydrogen cryocooler // Advances in Cryogenic Engineering. – 1994. – Vol. 39. – P. 1491–1498.
7. Lloyd G.M., Kim K.J. Smart hydrogen/metal hydride actuator // International J. of Hydrogen Energy. – 2007. – Vol. 32. – P. 247–255.
8. Минко К.Б., Артемов В.И., Бочарников М.С., Яненко Ю.Б., Тарасов Б.П. Моделирование работы термосорбционного металлгидридного компрессора с интенсификацией теплообмена // Альтернативная энергетика и экология. – 2013. – № 10. – С. 15–22.
9. Satya Sekhar B., Lototskiy M., Kolesnikov A., Moropeng M.L., Tarasov B.P., Pollet B.G. Performance analysis of cylindrical metal hydride beds with various heat exchange options // J. of Alloys and Compounds. – 2015. – Vol. 645. – P. S89–S95.
10. Патент 14739 РФ, С01В 3/00 (2006.01). Модуль термосорбционного компрессора на основе интерметаллидов для получения водорода высокого давления/ Г.В. Сорокин, Ю.Б. Яненко, М.С. Бочарников, Н.С. Стерхов, Н.Н. Куртина, И.С. Литвинов, И. Ипаткина (Россия). – № 2014108732/05; Заяв. 07.03.2014. Опубл. 10.11.2014 // Бюл.–2014.– № 31. ■

АО «Компрессор» имеет богатый научно-технический потенциал, опыт разработки, изготовления, поставок, сервисного обслуживания и эксплуатации компрессорного оборудования для Министерства обороны РФ, и ПАО «Газпром» и ГК «Росатом».

Компрессорное оборудование АО «Компрессор» надежно работает на всех кораблях ВМФ, гражданских судах с приемкой РМРС, а также в составе наземных сооружений ВМФ и Министерства обороны РФ – базы в п. Гаджиево. и г.Вилючинске. Оборудование АО «Компрессор» применяется на космодромах Байконур, Плесецк. атомных электростанциях, в том числе зарубежных «Бушер» и «Куданкулам».

АО «Компрессор» разрабатывало изготавливало и поставляло компрессорное оборудование и системы сжатого воздуха для сооружений стартового комплекса РН «Союз-2» для строительства космодрома «Восточный».

Предприятие выпускает широкий ассортимент следующей серийной продукции:

- компрессоры (винтовые, поршневые, мембранные) и компрессорные станции с конечным давлением от 0,7 до 42,0 МПа для сжатия различных газов (воздух, азот, кислород, водород, CO₂, аргон, природный газ и т.д.)
- азотные установки;
- установки подготовки топливного и импульсного газа;
- газораспределительные станции;
- блочные дожимные компрессорные станции;
- блочные воздушные компрессорные станции;
- блоки фильтров топливного газа;
- блоки очистки и осушки воздуха и других газов с давлением до 42,0 МПа.

АО «Компрессор» проектирует и производит блочное компрессорное оборудование большой номенклатуры для ПАО «Газпром», поршневые и винтовые компрессоры, установки подготовки топливного, пускового и импульсного газа оборудование установлено и надежно работает на компрессорных станциях магистральных газопроводов Ухта–Торжок, Бованенково–Ухта, Североевропейский газопровод, «Южный поток».

Для нужд ВМФ и нефтегазового сектора и энергетики АО «Компрессор» разработало и готово поставлять азотные установки со следующими диапазонами рабочих параметров:

- чистота получаемого азота до 99,8 % (об.);
- производительность по продуктовому азоту от 0,3 до 15 нм³/мин;
- конечное давление от 0,8 до 40,0 МПа.

Для ВМФ азотные установки применяются для надува баков и с авиационным топливом и продувки топливного

МЕМБРАННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В УСТАНОВКАХ ПОЛУЧЕНИЯ АЗОТА ИЗ ВОЗДУХА ДЛЯ ВМФ, НЕФТЕГАЗОВОГО СЕКТОРА И ЭНЕРГЕТИКИ

Л.Г. Кузнецов, д-р техн. наук, проф., заслуженный машиностроитель РФ, председатель Совета директоров,

Ю.Л. Кузнецов, канд. техн. наук, зам. ген. директора,

А.В. Бураков, начальник центрального конструкторского бюро,

А.С. Перминов, начальник отдела,

С.Н. Серебренников, вед. инженер, АО «Компрессор»,

контакт. тел. (812) 295 8090, 295 2715

трубопровода в процессе заполнения авиационных баков на кораблях и судах, содержащих вертолетную площадку, в частности, АО «Компрессор» поставляет азотную установку МАУК20/99/250 на ледокол пр. 23550 (ледокол-разведчик).

Требуемые параметры: чистота азота – 99%, давление – 25 МПа, производительность – 20 нм³/ч.

Для тяжелых авианесущих крейсеров (например, пр. 11435) и больших десантных кораблей (пр. 11711) для корабельной газовой системы заполнения баков летательных аппаратов азотом высокой чистоты с низким влагосодержанием.

Требуемые параметры: чистота азота – 99%, давление – 35 МПа, производительность – 20–25 нм³/ч, точка росы ниже –80 °С.

Для берегового обеспечения баз подводных лодок перспективным может стать применение азотных установок для пополнения запасов азота, проведения пневматических испытаний, наддув для вытеснения горючих жидкостей, продувка емкостей перед сварочными работами. Чистота азота – 95–98%, давление –0,8–20 МПа, производительность – не менее 25–100 нм³/ч.

Для ремонтных плавучих баз, плавучих доков, судоремонтных предприятий для обеспечения безопасности газоопасных, сварочных работ, продувки и испытания, наддува емкостей, топлив-

ных баков можно использовать азотные установки для получения азота с необходимыми параметрами на борту.

Вероятные сферы применения азотных установок не ограничиваются указанными областями и могут адаптироваться и интегрироваться в другие системы, применяемые в Вооруженных силах РФ.

В настоящее время для снижения выбросов загрязняющих веществ в атмосферу в промышленности и обеспечения безопасности газоопасных и огневых работ на промышленных объектах, магистральных и технологических трубопроводах и в других промышленности всё чаще применяют азотные технологии. Азот используется для заполнения и вытеснения газа из технологического оборудования и участков трубопроводов для снижения взрыво- и пожароопасности огневых работ.

У предприятий, потребляющих азот, существует две принципиальные возможности его получения: производство с помощью собственной воздухо-разделительной установки и приобретение в жидком или газообразном виде у предприятия-поставщика.

В зависимости от чистоты газа и объема его потребления условно можно выделить шесть областей экономической целесообразности приобретения азота либо производства его своими силами (рис. 1).

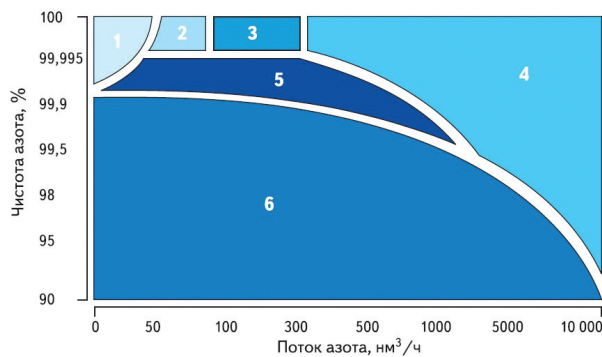


Рис. 1. Экономическая целесообразность различных способов доставки и производства азота

■ – доставка в баллонах; ■ – доставка в баллонах или жидким; ■ – доставка жидким; ■ – криогенные установки; ■ – адсорбционные установки; ■ – мембранные установки

На данный момент в мире применяется три основных способа генерации азота: криогенный, метод короткоциклового адсорбции и мембранный.

Метод криогенного разделения базируется на тепломассообменных процессах, в частности, процессе низкотемпературной ректификации, базирующейся на разности температур кипения компонентов воздуха и различии составов находящихся в равновесии жидких и паровых смесей. В процессе разделения воздуха при криогенных температурах между находящимися в контакте жидкой и паровой фазами, состоящими из компонентов воздуха, осуществляется массо- и теплообмен. В результате паровая фаза обогащается низкокипящим компонентом (компонентом, имеющим более низкую температуру кипения), а жидкая высококипящим компонентом. Таким образом, поднимаясь по ректификационной колонне вверх, пар обогащается низкокипящим компонентом – азотом, а стекающая вниз жидкость насыщается высококипящим компонентом – кислородом.

Адсорбционный метод разделения воздуха опирается на принцип селективного поглощения компонентов газовой смеси. Поглощение осуществляется специальными молекулярными ситами (МС) в условиях короткоциклового адсорбции. В основе процесса лежит зависимость поглощения газа адсорбентом от давления: способность адсорбента поглощать газ прямо пропорциональна давлению. Таким образом, адсорбция идёт при повышенном давлении, а процесс десорбции осуществляется путём сброса давления.

Мембранный метод разделения воздуха основан на принципе избирательной проницаемости мембран. Принцип действия мембранных газоразделительных установок заключается в различной скорости проникания газов через полимерную мембрану под действием перепада парциальных давлений на мембране. В мембранную установку подается предварительно очищенный сжатый воздух, и движущей силой разделения является разность парциальных

давлений каждого компонента воздуха по обе стороны мембраны, обуславливающая различную скорость проникания. В соответствии с этим компоненты воздуха можно условно разделить на два класса: легкопроницающие (ЛПК) или «быстрые газы»; труднопроницающие (ТПК) или «медленные газы». При попадании сжатого воздуха в надмембранное пространство «быстрые газы» проникают через мембрану в зону низкого давления, таким образом, газ на выходе из мембраны обогащается легкопроницающим компонентом. Непроницаемая часть воздуха обогащается труднопроницающим компонентом и выводится из надмембранного пространства.

Из табл. 1 видно, что *криогенные установки* представляют собой самое сложное в обслуживании и управлении оборудование. В силу того, что в системе имеются сосуды, работающие под давлением, а также вследствие того, что установка генерирует кислород и накапливает ацетилен, это оборудование является взрывоопасным и требует высококвалифицированного обслуживания. Криогенные блоки требуют полной разморозки после полугодовой или годовой эксплуатации и последующего комплекса сервисных работ, а также периодических ремонтных работ. Монтаж криогенного блока представляет собой сложный комплекс строительных и инженерных работ, производимых высококвалифицированными специалистами. Эти работы составляют заметную часть от общей стоимости установки.

Мембранный способ генерации азота является наиболее простым, но он не дает высокой степени чистоты азота. Процесс эксплуатации мембранной установки безопасен, он полностью автоматизирован и не требует присутствия человека ни на одном из этапов работы. Мембрана нечувствительна к влаге и не требует высокой очистки воздуха, что позволяет работать оборудованию в условиях высокозагрязненного воздуха промышленных районов без снижения производительности (при круглосуточной загрузке 7 дней в неделю). Мембранная установка в силу отсутствия

движущихся частей является высоконадежным оборудованием и не требует сервисных и ремонтных работ в течение всего периода эксплуатации. Обслуживание заключается в замене воздушных фильтров (2 раза в год при круглосуточной загрузке).

Адсорбционные генераторы азота – несколько более сложное в управлении и обслуживании оборудование по сравнению с мембранным. Приблизительно через каждые 10 лет (в зависимости от типа установки) требуется замена адсорбента. Данные установки генерируют азот высокой чистоты – до 99,995%.

Таким образом, с целью выполнения технологических операций в промышленных установках для Министерства обороны и ВМФ для получения азота целесообразно применять мембранные технологии.

В качестве источников азота на промышленных объектах на сегодняшний день успешно применяются стационарные и передвижные азотные установки, основанные на технологии мембранного выделения азота из воздуха.

Сепарация в мембранной системе базируется на принципе селективной проницаемости, когда каждый компонент газа имеет характерную скорость проникновения через мембрану. Мембранные модули представляют собой цилиндрические пучки половолоконных мембран (рис. 2 и рис. 3). Каждый пучок содержит несколько сот тысяч полых волокон, каждое размером с человеческий волос (рис. 4 и рис. 5). Газ под давлением входит в мембранный модуль, содержащий полые волокна, где продуктовый газ и пермеат текут противотоком. Продуктовый газ содержит «медленные» газы, такие как азот N_2 , которые не проходят так быстро через полые волокна и выходят на стороне модуля, где собирается непроницающий газ. Пермеат содержит «быстрые» газы, такие как кислород (O_2), диоксид углерода (CO_2) и водяной пар (H_2O), которые быстро проникают через полые стенки волокон и выходят на другой стороне модуля (сторона пермеата). Разделение проходит за

Таблица 1

Сравнение основных методов генерации азота

Показатель	Метод генерации азота		
	криогенный	адсорбционный	мембранный
Состояние продукта	Газообразное и / или жидкое	Газообразное	Газообразное
Диапазон чистоты получаемого продукта, %	99,9–99,999	95,0–99,995	90,0–99,5
Расход продукта, $nm^3/ч$	300–30 000	5–3000	5–6000
Принцип работы	Глубокое охлаждение воздуха с низкотемпературной ректификацией	Поглощение компонентов воздуха адсорбентом	Разделение компонентов воздуха с помощью мембраны при нормальных температурах
Расходные материалы	Модули системы предварительной очистки, обратная вода	Фильтры предварительной очистки	Фильтры предварительной очистки
Эксплуатационные затраты	Значительные	Средние	Минимальные

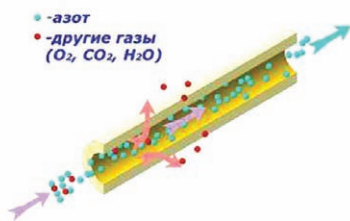


Рис. 2. Принцип мембранного воздухоразделения

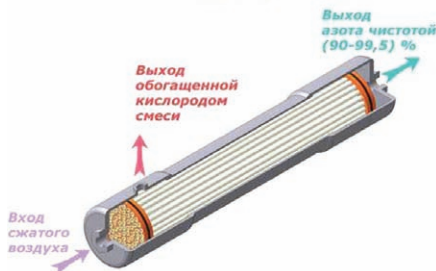


Рис. 3. Схема работы мембранно-го модуля

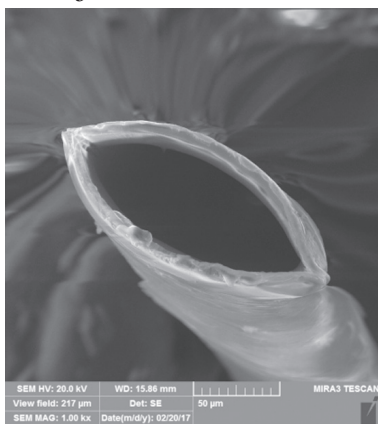


Рис. 4. Фото мембранного волокна (диаметр – порядка 150 мкм)

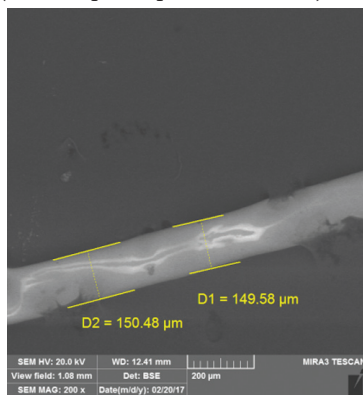


Рис. 5. Фото стенки мембранного волокна (толщина стенки – порядка 7 мкм)

счет разности давлений между стороной подачи и стороной пермеата. Чем выше эта разница, тем более эффективной и компактной является система.

Воздухоразделительная эффективность мембраны определяется параметрами трансмембранного газопереноса материала рабочего селективного слоя (0,1–0,01 мкм) мембраны: газопроницаемостью и селективностью. В зависимости от соотношения газопроницаемости и селективности полимера, использованного при получении мембраны, а также от наличия мембран разной конфигурации (плоская, половолоконная), можно подобрать инженерное решение при выборе схемы воздухоразделительного процесса.

Основные материалы, применяемые для изготовления воздухоразделительных мембран, и компании, производящие мембраны в промышленном масштабе, приведены в табл. 2.

На молекулярном уровне на процесс мембранного разделения газа существенно влияет величина удельной поверхности мембраны, в связи с чем в промышленности применяются преимущественно полые волокна, поскольку полые волокна имеют более высокую эффективную площадь поверхности на единицу объема мембранного модуля по сравнению с другими.

Плотность упаковки волокон (удельная площадь на единицу объема) для половолоконных мембранных модулей – более 10 000 м²/м³. Площадь мембраны в каждом модуле ориентировочно составляет – 300–600 м².

Из материалов, указанных в табл. 1, формируются полые волокна, на внутренней либо наружной поверхности которых нанесен селективный слой. Схема работы мембранного модуля приведена на рис. 2.

Внешний диаметр полых волокон может изменяться в зависимости от применения и варьироваться от 50 до 3000 мкм. Волокна могут быть изготовлены из одного или двух материалов. Два слоя используются для внешней или внутренней поверхности. Селективный слой может быть интегрирован с волокном или выполнен отдельным (покрытием) нанесенным на пористую

подложку (волоконно). Внешний диаметр от 50 до 200 мкм обычно называют тонкими полыми волокнами. Это волокна высокого давления сепарации газа, так как могут противостоять внешнему гидростатическому давлению до 1000 кПа.

В зависимости от требуемых эксплуатационных характеристик, а также конечных потребителей азота (продувка оборудования и трубопроводов, питание импульсным газом запорно-регулирующей арматурой (ЗРА) и т.п., к установкам предъявляются следующие основные требования: чистота азота от 95 до 99,5%; давление азота от 1,0 до 2,5 МПа, а также до 15,0 МПа для систем высокого давления; точка росы не более минус 70 °С при использовании в качестве импульсного газа в системах ЗРА. При этом производительность установок по азоту может варьироваться от 100 до 1000 м³/ч и выше. На рис. 6 показана мембранная азотная установка производительностью 20 м³/ч, чистотой азота 99% с рабочим давлением от 1,0 до 25 МПа.



Рис. 6. Мембранная азотная установка МАУК20/99/250

На рис. 7 и рис. 8 показана блочная контейнерная мембранная азотная установка производительностью 600 м³/ч, рабочим давлением от 1,0 до 2,5 МПа.

В качестве основного оборудования, входящего в мембранную азотную установку, можно выделить компрессорные агрегаты, системы подготовки воздуха и воздухоразделительные блоки (мембранные модули), взаимодействие которых по установленному алгоритму

Таблица 2

Материалы и изготовители половолоконных мембранных модулей

Полимер, из которого сделано мембрана	Газопроницаемость по кислороду P(O ₂), Баррер	Селективность α (O ₂ /N ₂)	Изготовители мембранных модулей
Полиимид (ПИ), Polyimide, polyaramide	0,27	6,9	Air Liquide medal (Франция)
Полисulfон, Polysulfone	1,4	5,6	Airproducts (США)
Полиимид (ПИ), Polyimide	0,27	6,9	Evonik (Германия)
Тетрабром-поликарбонат (ТБПК), Tetrabromepolycarbonate	1,4	7,6	IGS Generon membrane technology (США)
Полифениленоксид (ППО), Polyphenylene oxide	0,4	3,9	Parker (США)
Полиимид/Polyimide (ПИ), Upilex	0,27	6,9	UBE membranes (Япония)
Ацетат целлюлозы (АЦ), Separex	1,1	4,5	UOP LLC, A Honeywell Company (США)



Рис. 7. Мембранная азотная установка для Заполярного НГКМ

ритму позволяет обеспечить требуемые параметры выдачи азота потребителю. С точки зрения энергоэффективности целесообразно размещение модулей в отдельном отсеке с автоматизированным поддержанием необходимой температуры. Пример подобного размещения мембранных модулей показан на рис. 8.

Опыт разработок и поставок мембранных азотных установок позволяет АО «Компрессор» изготавливать установки с оптимальным набором технологического оборудования для надежной эксплуатации и подтверждения заявленных характеристик. В процессе отработки технологической схемы и алгоритмов работы установок были получены практические результаты и зависимости, позволяющие моделировать оптимальные условия ведения процесса получения азота с минимальным набором необходимого оборудования, высокой эффективностью и оптимальными энергозатратами. Выявлено, что главными факторами, влияющими на процесс мембранного воздухоразделения, являются параметры рабочей среды, а именно давление и температура воздуха на входе в мембранные модули.

В соответствии с конструктивными особенностями и физико-химическими процессами, проходящими в мембранных модулях, известно, что удельная

производительность единичной мембраны имеет прямо пропорциональную зависимость от давления протекания процесса. При этом в настоящее время на рынке серийных мембранных модулей существует ограничение по максимальному рабочему давлению (2,5 МПа).

Выбор величины давления, при котором протекает процесс воздухоразделения, определяется на этапе проектирования установок в соответствии с технологическими и эксплуатационными потребностями конечного потребителя азота, а именно мобильностью, массогабаритными характеристиками установок, допустимыми энергозатратами и т.п.

В большинстве случаев для стационарных азотных установок целесообразно применение стандартных винтовых компрессоров, обеспечивающих максимальное давление нагнетания 1,3 МПа, а также применение стандартной запорно-регулирующей арматуры. При этом, учитывая потери давления в системах воздухоподготовки, давление процесса варьируется в диапазоне от 1,1 до 1,2 МПа. Данная величина давления в общих случаях удовлетворяет технологическим потребностям промышленных объектов.

Как отмечалось выше, температура процесса воздухоразделения также оказывает влияние на эффективность протекания процесса следующим обра-

зом: чем ниже температура процесса, тем выше отношение производительности азота к потребляемому воздуху, однако при этом снижается общая производительность мембраны (выход азота); чем выше температура, тем выше производительность, однако конструктивные особенности мембран допускают протекание процесса при температуре в диапазоне от 5 до 80 °С. Условная эффективность процесса воздухоразделения в зависимости от температуры протекания процесса представлена на графике рис. 9 (зависимость получена при давлении процесса 1,15 МПа).

Условная эффективность – это произведение отношения потребляемого воздуха к продуктовому азоту на относительную производительность мембраны (производительность мембраны при температуре процесса 80 °С принята за единицу, производительности при других температурах – как доли от единицы).

Из графика рис. 9 видно, что, несмотря на повышение производительности мембраны при повышении температуры среды, эффективность, при необходимости получения азота чистой 98 % и выше, падает после определенного значения температуры, либо растёт незначительно. К примеру, оптимальная температура получения азота чистой



Рис. 8. Мембранная азотная установка Заполярного НГКМ (отсек с воздухоразделительными мембранными модулями)

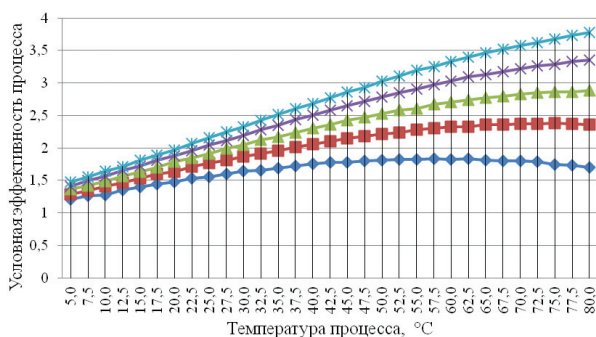


Рис. 9. График зависимости эффективности от температуры
 — 99%, — 98%, — 97%, — 96%, — 96%

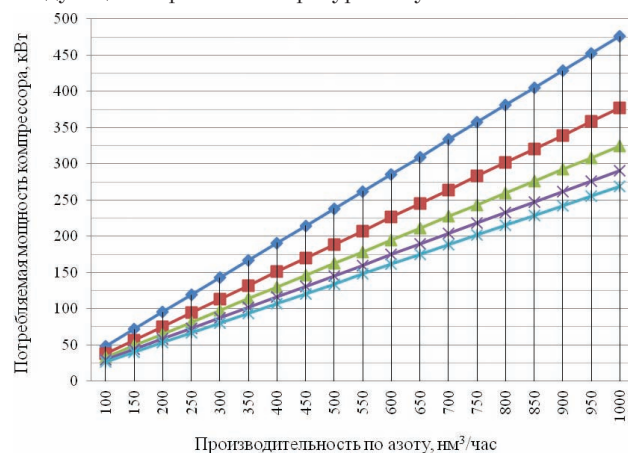


Рис. 10. График зависимости потребляемой компрессором мощности от производительности установки
 — 99%, — 98%, — 97%, — 96%, — 96%

99% – 45–50 °С и дальнейшее повышение температуры процесса воздухо-разделения не дает существенных преимуществ, повышая при этом общие энергозатраты установки.

На рис. 10 представлен график зависимости потребляемой компрессором установки мощности от требуемой производительности при давлении процесса 1,15 МПа и температуре 42,5 °С. График позволяет оценить уровень энергозатрат на производство азота различной чистоты.

В заключение стоит отметить, что производство азота методом мембранного разделения воздуха имеет свои особенности и преимущества, для снижения инвестиционных и эксплуатационных затрат необходимо обеспечивать оптимальные технологические параметры мембранной азотной установки. Давление, температуру, состав и тип применяемого оборудования следует выбирать на этапе проектирования и учитывать весь спектр требований конечного потребителя азота.

Дальнейшее направление научных исследований для развития мембран-

ных технологий разделения газа связано с получением новых материалов или синтезом материалов мембран с более высокой эффективностью (высокой селективностью и проницаемостью), обеспечивающих повышение механических свойств мембраны, улучшение временной стабильности, стойкость к загрязняющим факторам, увеличение сроков службы мембраны, инертность по отношению к агрессивным примесям.

Перед предприятиями отечественной промышленности стоит сложная задача – создание опережающих технологий и материалов с качественно новыми свойствами для производства конкурентоспособной на мировом рынке продукции. Решение задач необходимо осуществлять совместно с ведущими научными организациями, имеющими опыт, специализированные лаборатории и специальное исследовательское оборудование. Это в первую очередь относится к области мембранного воздухо-разделения.

Для развития отечественных мембранных технологий и обеспечения пос-

тавок газового и компрессорного оборудования с применением современных технологий АО «Компрессор» совместно с Санкт-Петербургским политехническим университетом им. Петра Великого и «Российским научным центром «Прикладная химия» (ранее – «ГИПХ») основал консорциум, базирующийся на опыте фундаментальных научных школ, имеющий собственную промышленную площадку, современную научно-исследовательскую и испытательную базы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сравнительный анализ мембранных модулей различного типа для получения азотсодержащих газовых смесей из воздуха: Метод. руководство. – М.: Изд. МГУ им. М.В. Ломоносова, 2007.
2. Progress in Filtration and Separation, Steve Tarleton. – Academic Press, 2014.
3. Membrane gas separation technologies for biogas upgrading // RSC Advances. – 2015. – Febr.
4. Липкин Е. Пайка в среде азота. Азотные генераторы // Технологии в электронной промышленности. – 2006. – №2. ■

ВАО «СПМБМ «Малахит» находят-ся в процессе разработки и внедрения новые полимерные композиты для усовершенствования биологической защиты на проектах 4-го и последующих поколений.

Опыт проектирования показал, что материалы биологической защиты, применяемые на АПЛ 2-го–4-го поколений, к сожалению, при всех своих достоинствах, обладают и рядом существенных недостатков.

Важным этапом в создании перспективных корабельных ЯЭУ является обеспечение эффективной защиты от ионизирующих излучений, состоящее в выборе материалов защиты, размещении и габаритов, определении толщины защиты, а также принципов оптимального с точки зрения массогабаритных характеристик способов ее монтажа, обеспечивающих необходимую кратность ослабления излучения до уровней допустимого радиационного воздействия.

Основной путь совершенствования биологической защиты – это выбор материала, который наряду с необходимыми ослабляющими свойствами обладает также свойствами, позволяющими избежать сложных и трудоемких процессов при монтаже защиты, зачастую приводящих к тому, что ее реальные характеристики могут отличаться от проектных, вследствие чего будет снижена эффективность ослабления излучений.

В данной статье предлагаются перспективные полимерные композиты для внедрения их на корабли новых проектов. Также рассмотрены перспективы

применения этих композитов в качестве материалов периферийной защиты транспортных реакторных установок, предназначенной для ослабления нейтронного излучения и поэтому требующей использования водородсодержащих материалов. Это обусловлено необходимостью создания замкнутой по внешнему периметру эффективной защиты от нейтронного излучения.

РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОРАБОТОК ПРИМЕНЕНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Одним из перспективных путей решения данной задачи является создание полимерных композиционных материалов (ПКМ), которые открывают широкие возможности для создания материалов биологической защиты различного назначения.

На настоящий момент разработаны органопластики на основе полимерных связующих (эпоксидных и полиимидных) и стекло- и органических армирующих тканей (СВМ, виоловой) марок ОРЭТ-А, ОРЭТ-В и НОРТ-1-А.

РАЗРАБОТКА ПРЕДЛОЖЕНИЙ ПО ПЕРСПЕКТИВНЫМ МАТЕРИАЛАМ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ ПАРПРОИЗВОДЯЩЕЙ УСТАНОВКИ

*А.С. Соболева, инженер-конструктор 3-й категории
АО «СПМБМ «Малахит»,
контакт. тел. (812) 242 1503*

С целью оценки возможности применения ПКМ в качестве защитных материалов были проведены расчетные оценки и испытания этих органо-пластиков, проанализирована их эффективность.

Основные данные, характеризующие свойства этих материалов как материалов защиты от нейтронов, приведены в табл. 1.

Анализ приведенных в табл. 1 сведений показывает, что по концентрации водорода наиболее предпочтителен для нейтронной защиты органо-пластик марки ОРЭТ-В на основе эпоксидной полимерной матрицы и органической (виоловой) армирующей ткани, однако предельное значение рабочей температуры 140 °С ограничивает возможности его применения периферийными слоями биологической защиты, а содержание хлора в молекулярном составе этого материала влияет на коррозионную стойкость материала трубопроводов 1-го контура.

Материал марки НОРТ-1-А на основе термостойкого полиимидного связующего при меньшей концентрации водоро-

Таблица 1
Плотность и состав полимерных композитов

Характеристика	ОРЭТ-А	НОРТ-1-А	ОРЭТ-В
Плотность, кг/м ³	1350	1300	1300
Рабочая температура, °С	190	250	140
Состав, яд/см ³ ·10 ⁻²² :			
водород	3,7	3,37	5,15
углерод	4,5	4,47	4,0
кислород	0,5	0,74	1,1
азот	0,8	0,67	0,2
хлор	0,2	-	0,2

Таблица 2
Состав НОРТ-1-А-Н

Элемент	Содержание	
	%вес.	яд/см ³ ·10 ⁻²²
Водород	2,3	2,90
Углерод	35,5	3,49
Кислород	8,7	0,688
Азот	6,5	0,587
Железо	45	1,01
Карбид бора	2,0	0,0458

да имеет заметно более высокую рабочую температуру – до 250 °С.

Проведенные расчетные оценки показали, что эффективность ослабления мощности дозы нейтронов ПКМ выше эффективности серпентинитового бетона. По эффективности ослабления мощности дозы проникающего гамма-излучения композиты близки между собой и значительно уступают серпентинитовому бетону вследствие меньшей плотности. Поэтому потребуется увеличение толщины слоев тяжелого компонента в составе защиты (стали или свинца). Результирующее влияние такой замены на массогабаритные показатели защиты требует отдельного рассмотрения для конкретных композиций с учетом вкладов нейтронного и гамма-излучения в суммарную мощность за защитой.

Улучшения защитных свойств композитов для периферийной защиты можно достигнуть добавкой в их состав металлических наполнителей. При этом удается не только улучшить защитных свойств от гамма-излучения, но и ослабление быстрых нейтронов в результате неупругого рассеяния на ядрах железа. Негативным эффектом присутствия железа в составе биологической защиты является выход при поглощении нейтронов высокоэнергетического гамма-излучения, вследствие чего возникает необходимость вторичной защиты. Снижение выхода захватного гамма-излучения достигается добавлением в железосодержащие композиции бора как эффективного поглотителя тепловых нейтронов.

Для расширения области применения композитных материалов был предложен материал НОРТ-1-А-Н с добавлением металлического наполнителя и карбида бора, имеющий максимальную рабочую температуру 250 °С. Количество наполнителя определялось из усло-

вия получения плотности 2100 кг/м³, практически равной плотности серпентинитового бетона, и составило 45%вес. Содержание карбида бора было принято оптимальным и равным 2%вес.

Состав материала НОРТ-1-А с наполнителем (НОРТ-1-А-Н) приведен в табл. 2.

Для возможности сравнительной оценки эффективности рассматриваемых материалов и традиционного материала биологической защиты – серпентинитового бетона – были проведены расчеты наиболее представительного критерия эффективности материалов биологической защиты – длины релаксации мощности дозы излучения.

По определению, длина релаксации есть толщина материала, на которой рассматриваемый функционал излучения (в данном случае мощность дозы) снижается в $e = 2,78$ раз. Полученные значения длины релаксации мощности дозы нейтронов и гамма-излучения в рассматриваемых материалах на толщине 0–100 см приведены в табл. 3.

Согласно приведенным в табл. 2 данным, в качестве материала для замены серпентинитового бетона в области рабочих температур до 250°С без дополнительной компенсации снижения эффективности защитных свойств по гамма-излучению может рассматриваться НОРТ-1-А – Н (НОРТ-1-А с добавкой железа в количестве 45%вес.).

Сравнительные оценки толщин слоев этих материалов, обеспечивающих равную эффективность защиты по нейтронам и гамма-квантам для заданной кратности ослабления нейтронного излучения приведены в табл. 4.

Как видно из табл. 4, снижение толщины (а при равной плотности и массе) слоя периферийной защиты, необходимой для заданного ослабления мощнос-

Таблица 3
Длины релаксации мощности дозы излучения, см

Материал	Нейтроны	Гамма-кванты
Бетон, $\gamma=2,1$ (г/см ³)	11,3	14,2
НОРТ-1-А	9,9	22,2
ОРЭТ-В	8,2	21,2
НОРТ-1-А - Н	9,2	13,8

Таблица 4
Толщины материалов для заданной кратности ослабления мощности дозы нейтронов

Кратность ослабления мощности дозы нейтронов	Толщина материала, см		Снижение толщины биологической защиты, %
	Серпентинитовый бетон	НОРТ-1-А-Н	
2	7,8	6,4	17,95
5	18,2	14,8	18,68
10	26	21,2	18,46
20	33,8	27,6	18,34
50	44,2	36,0	18,55
100	52	42,4	18,46

ти дозы нейтронов при замене серпентинитового бетона на материал НОРТ-1-А-Н, составляет примерно 18%.

ВЫВОДЫ

Таким образом, композитные материалы ОРЭТ-А, НОРТ-1-А и прежде всего ОРЭТ-В эффективнее при нейтронной защите, чем серпентинитовых бетонов.

При замене бетона рассматриваемыми композитными материалами требуется увеличение толщины слоев тяжелого компонента в составе защиты (стали или свинца).

В качестве материала для замены серпентинитового бетона без дополнительной компенсации снижения эффективности защитных свойств по гамма-излучению может рассматриваться НОРТ-1-А-Н (НОРТ-1-А с добавкой железа в количестве 45%вес.).

ЛИТЕРАТУРА

- Карнаухов А. В., Ястребинский Р. Н., Ястребинская А. В. Композиционные материалы для биологической защиты транспортных ядерных энергетических установок от нейтронного излучения. – Сб. мат-лов Международ. науч.-практич. конф. «Радиоэкология XXI века» [Электронный ресурс]. – Красноярск: Сибирский федеральный ун-т, 2011. – http://conf.sfu-kras.ru/conf/radioecology-XXI/report?memb_id=1526, свободный.
- Матюхин П.В., Павленко В.И., Ястребинский Р.Н., Бондаренко Ю.М. Перспективы создания современных высококонструкционных радиационно-защитных металлокомпозитов. // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2011. – №2. – С. 97–100.
- Машкович В.П., Кудрявцева А.В. Защита от ионизирующих излучений: Справ.–4-е изд., перераб. и дополненное. – М.: Энергоатомиздат, 1995. – 496 с.
- Михайлин Ю.А. Термоустойчивые полимеры и полимерные материалы. – СПб.: Профессия, 2006. – 480 с. ■

Для механизмов, срабатывающих от постоянного тока (мощностью не более нескольких киловатт), могут быть использованы однофазные мостовые выпрямители с выходным Г-образным фильтром, схема которого изображена на рис. 1, где напряжение на входе фильтра обозначено как $\sqrt{2}U \sin \omega t$, мгновенное значение выпрямленного тока через i_d . $L_{др}$ – индуктивность дросселя, C – емкость, R_b – балластное сопротивление, R_n – сопротивление нагрузки, i_c – ток через емкость, i_b и i_n – токи, протекающие в балластном сопротивлении и при включенной нагрузке. U_{dx} – постоянная составляющая напряжения на балластном сопротивлении без нагрузки, u_d – напряжение на нагрузке после ее подключения и U_d – ее постоянная составляющая, $R_{др}$ – активное сопротивление дросселя.

Такого рода устройства используются на практике, когда в результате кратковременного воздействия приводится в действие соответствующий механизм с последующим запуском всей цепочки движения.

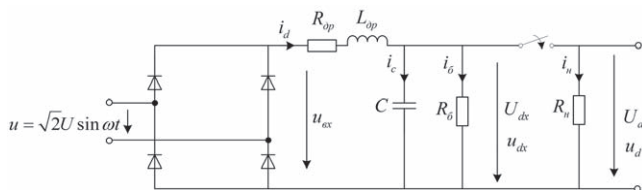


Рис. 1. Схема мостового выпрямителя с Г-образным фильтром

Ток i_d без нагрузки будем обозначать как i_{dx} . Отталкиваясь от работы [1], будем считать, что при холостом ходе, с учетом только балластного сопротивления, на 1–1,5 порядка больше, чем сопротивление нагрузки (рис. 1), для мостового выпрямителя имеет место режим «прерывной моды» с током i_{dx} , равным нулю вне углового промежутка $\omega t = \gamma$, показанного на рис. 2 с изображением кривых u_{dx} и i_{dx} от ωt .

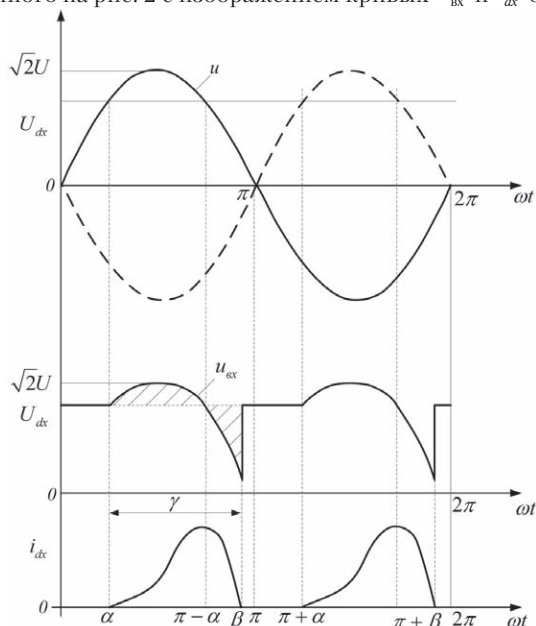


Рис. 2. Графическое изображение напряжений и токов при «прерывной моде»

Исходя из равенности площадей, заштрихованных на рис. 2, обусловленной тем, что в установившемся режиме получаемый емкостью избыточный заряд равен отдаваемо-

ОБ ОСНОВАХ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ОПЕД-12,5-115 ЭКСПОРТНОГО ИСПОЛНЕНИЯ

Г.Н. Цицикян, д-р техн. наук, проф., зам. начальника отдела, ученый секретарь НТС,

Ю.Д. Баранов, инженер,

А.И. Сенченко, инженер-конструктор 2-й категории, филиал «ЦНИИ СЭТ» ФГУП «Крыловский государственный научный центр»,

контакт. тел. (812) 369 9491, +7 (981) 725 7008

му в пределах периода, уравнение, связывающее углы α и γ , имеет вид [1]

$$\cos \alpha - \cos(\alpha + \gamma) - m\gamma = 0, \quad (1)$$

где $m = \frac{U_{dx}}{\sqrt{2}U}$ и $\alpha = \arcsin m$. (2)

Величина $\sqrt{2}U$ является амплитудой напряжения вторичной обмотки трансформатора (при его наличии), и для рассматриваемого выпрямителя (см. рис. 1) положим $U = 115$ В, а U_{dx} ограничим значением 130 В. Тогда $m = 0,799$, $\alpha = \arcsin 0,799 = 0,925$ рад. Учитывая, что $\cos 0,925 = 0,602$, имеем для нахождения γ трансцендентное уравнение

$$0,602 = \cos(0,925 + \gamma) + 0,799\gamma,$$

решением которого будет $\gamma = 1,96$, легко проверяемого подстановкой.

Ток i_{dx} в течение углового промежутка γ при пренебрежении $R_{др}$ (см. рис. 1) определяется из уравнения

$$\sqrt{2}U \sin \omega t - U_{dx} = L_{др} \frac{di_{dx}}{dt},$$

где $\alpha \leq \omega t \leq \pi$, $i_{dx} = 0$ при $\omega t = \alpha$.

Для i_{dx} находим

$$\begin{aligned} i_{dx} &= \frac{1}{\omega L_{др}} \int_{\alpha}^{\omega t} (\sqrt{2}U \sin \omega t - U_{dx}) d\omega t = \\ &= \frac{1}{\omega L_{др}} \left[\sqrt{2}U (-\cos \omega t) \Big|_{\alpha}^{\omega t} - U_{dx} (\omega t - \alpha) \right] = \\ &= \frac{\sqrt{2}U}{\omega L_{др}} (\cos \alpha - \cos \omega t) - \frac{U_{dx}}{\omega L_{др}} (\omega t - \alpha), \alpha \leq \omega t \leq \pi. \end{aligned}$$

Среднее значение i_{dx} равно

$$\begin{aligned} I_{dx} &= \frac{1}{\pi} \left\{ \frac{\sqrt{2}U}{\omega L_{др}} \int_{\alpha}^{\alpha+\gamma} (\cos \alpha - \cos \omega t) d\omega t - \frac{U_{dx}}{\omega L_{др}} \int_{\alpha}^{\alpha+\gamma} (\omega t - \alpha) d\omega t \right\} = \\ &= \frac{1}{\pi} \left\{ \frac{\sqrt{2}U}{\omega L_{др}} \left[\gamma \cos \alpha - \sin \omega t \Big|_{\alpha}^{\alpha+\gamma} \right] - \frac{U_{dx}}{\omega L_{др}} \left[\frac{(\omega t)^2}{2} \Big|_{\alpha}^{\alpha+\gamma} - \alpha \gamma \right] \right\} = \\ &= \frac{1}{\pi} \frac{\sqrt{2}U}{\omega L_{др}} \left\{ \gamma \cos \alpha - \sin(\alpha + \gamma) + \sin \alpha - \right. \\ &\left. - \frac{U_{dx}}{\sqrt{2}U} \left[\frac{(\alpha + \gamma)^2}{2} - \frac{\alpha^2}{2} - \alpha \gamma \right] \right\} = \\ &= \frac{1}{\pi} \frac{\sqrt{2}U}{\omega L_{др}} \left\{ \gamma \cos \alpha + \sin \alpha - \sin(\alpha + \gamma) - m \frac{\gamma^2}{2} \right\}, \end{aligned} \quad (3)$$

где, как и ранее, $m = \frac{U_{dx}}{\sqrt{2}U}$.

Умножая полученное выражение на $R_{бал}$, найдем U_{dx} , а разделив на $\sqrt{2}U$, запишем

$$m = \frac{R_{бал}}{\omega L_{др}} \frac{1}{\pi} \left\{ \gamma \cos \alpha + \sin \alpha - \sin(\alpha + \gamma) - m \frac{\gamma^2}{2} \right\}.$$

Отсюда

$$L_{др} = \frac{R_{бал}}{\omega m} \frac{1}{\pi} \left\{ \gamma \cos \alpha + \sin \alpha - \sin(\alpha + \gamma) - m \frac{\gamma^2}{2} \right\}. \quad (4)$$

Подставляя записанные ранее значения m, γ, α и полагая $\omega = 2\pi \cdot 400 \text{ рад} \cdot \text{с}^{-1}$, находим

$$L_{\text{др}} = \frac{R_{\text{вх}}}{2\pi \cdot 400 \cdot 0,799} \frac{1}{\pi} \begin{bmatrix} 1,18 + 0,799 - 0,254 - \\ -0,799 - \frac{1,96^2}{2} \end{bmatrix} = \\ \cong R_{\text{вх}} \cdot 3 \cdot 10^{-5} \text{ Гн}.$$

Для примера рассмотрим два значения для балластного сопротивления: 150 Ом и 330 Ом. Соответственно, для $L_{\text{др}}$ получим $4,5 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}$ и $9,9 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}$.

Перейдем к анализу работы схемы после подключения нагрузки. Считаем, что при этом имеет место непрерывный режим, токи и напряжения которой изображены на рис. 3. Кривые для тока не имеют угловых интервалов с током, равным нулю.

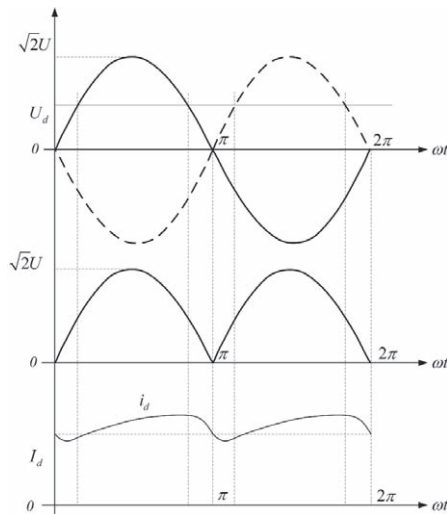


Рис. 3. Графическое изображение токов и напряжений при непрерывном режиме

Как показано в [1, 2], напряжение (см. рис. 1) на входе фильтра $u_{\text{вх}}$ можно разложить в ряд, в котором будут иметь место только четные гармоники $n = 2, 4, 6, \dots$. Постоянная составляющая, равная $U_{\text{двх}} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} U$, входит в разложение $u_{\text{вх}}$ в ряд в виде

$$u_{\text{вх}} = U_{\text{двх}} - U_{\text{двх}} \sum_{n=2,4,6,\dots} \frac{2}{(n-1)(n+1)} \cos n\omega t \quad (5)$$

или

$$u_{\text{вх}} = U_{\text{двх}} \left(1 - \frac{2}{3} \cos 2\omega t - \frac{2}{15} \cos 4\omega t \dots \right) \quad (5a)$$

Здесь $U_{\text{двх}} \approx 0,9U$ и в пренебрежении $R_{\text{др}}$ имеем $m = \frac{2}{\pi} = 0,637$ [3].

Если учитывать сопротивление $R_{\text{др}}$, то $U_{\text{двх}} = U_d + I_d R_{\text{др}}$, $I_d = U_d (g_6 + g_n)$ и $U_{\text{двх}} = U_d [1 + R_{\text{др}} (g_6 + g_n)]$, где

$$g_6 = R_6^{-1} \text{ и } g_n = R_n^{-1}. \quad (6)$$

Таким образом

$$U_d = \frac{U_{\text{двх}}}{1 + R_{\text{др}} (g_6 + g_n)} = \frac{2\sqrt{2}U}{\pi [1 + R_{\text{др}} (g_6 + g_n)]}. \quad (7)$$

Действующее значение n -й гармоники запишем в комплексной форме:

$$\dot{U}_{\text{вх}}(n\omega) = \dot{I}(n\omega) \left(R_{\text{др}} + jn\omega L_{\text{др}} + \frac{1}{jn\omega C + g_6 + g_n} \right) = \\ = \dot{I}(n\omega) \frac{(R_{\text{др}} + jn\omega L_{\text{др}})(jn\omega C + g_6 + g_n) + 1}{jn\omega C + g_6 + g_n} = \\ = \dot{U}_d(n\omega) [(R_{\text{др}} + jn\omega L_{\text{др}})(jn\omega C + g_6 + g_n) + 1] \quad (8)$$

и, следовательно, комплекс n -й гармоники $\dot{U}_d(n\omega)$ можно выразить через комплекс $\dot{U}_{\text{вх}}(n\omega)$ в виде

$$\dot{U}_d(n\omega) = \frac{\dot{U}_{\text{вх}}(n\omega)}{(R_{\text{др}} + jn\omega L_{\text{др}})(jn\omega C + g_6 + g_n) + 1}. \quad (9)$$

Для оценки уровня пульсаций рассмотрим максимальное значение напряжения наиболее выраженной второй гармоники на основе (5a) (без учета знака «минус») и (9):

$$U_{\text{дм}}(2\omega) = \frac{\frac{2}{3} U_{\text{двх}}}{\sqrt{[1 + R_{\text{др}}(g_6 + g_n) - 4\omega^2 L_{\text{др}} C]^2 + [R_{\text{др}} 2\omega C + (g_6 + g_n) 2\omega L_{\text{др}}]^2}}.$$

В приближении $R_{\text{др}} = 0$ и $g_6 = 0$ соотнесем предыдущее выражение с $U_{\text{двх}}$. Используя (7) для оценки коэффициента пульсаций, запишем

$$K_{\text{п}} \approx \frac{2/3}{\sqrt{(1 - 4\omega^2 L_{\text{др}} C)^2 + (g_n 2\omega L_{\text{др}})^2}}. \quad (10)$$

Емкость C подберем с учетом требования, чтобы $4\omega^2 L_{\text{др}} C$ было значительно больше единицы. Тогда при $\omega = 2\pi f$ и $f = 400 \text{ Гц}$, $g_n = \frac{1}{8,5 \text{ Ом}}$, $L_{\text{др}} = 9,9 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}$, $C = 10^{-4} \text{ Ф}$ для $K_{\text{п}}$ получим численное значение 0,027, или 2,7%.

Таким образом, наиболее выраженная вторая гармоника напряжения вносит вклад в пульсации на уровне, не превосходящем 2,7%. Выбранное численное значение для емкости дает основание предполагать, что уровень пульсаций будет меньше 5%. Уровнем в 5%, как правило, ограничивают коэффициент пульсаций для преобразователя.

Не менее важным вопросом при проектировании ОПЕД является выбор действующего значения напряжения U (см. рис. 1), связанного с постоянной составляющей на входе $U_{\text{двх}}$

соотношением $U_{\text{двх}} = \frac{2\sqrt{2}U}{\pi}$. При значении $U = 115 \text{ В}$ имеем $U_{\text{двх}} = 0,9 \cdot 115 = 103,5 \text{ В}$. При $U = 120 \text{ В}$ и $U = 123 \text{ В}$ значения $U_{\text{двх}}$ будут равны 108 В и 110,7 В соответственно. С учетом связи между U_d и $U_{\text{двх}}$ по формуле (7) $U_{\text{двх}} = U_d [1 + R_{\text{др}} (g_6 + g_n)]$, в которой ток $U_d (g_6 + g_n) \approx U_d g_n$ принимается равным 12,5 А, рассчитаем значения U_d при $R_{\text{др}} = 0,2; 0,3$ и 0,4 Ома для $U_{\text{двх}} = 103,5; 108$ и 110,7 В, и рассчитанные значения сведем в табл. 1.

Таблица 1.

Значения U_d в зависимости от $U_{\text{двх}}$ и $R_{\text{др}}$

$U_{\text{двх}}$ (В)	U_d (В)		
	0,2 Ом	0,3 Ом	0,4 Ом
103,5	101	99,7	98,5
108	105,5	104,2	103
110,7	108,2	106,9	105,7

Таким образом, чем ниже сопротивление $R_{\text{др}}$, тем выше U_d . Остановимся на анализе нелинейных искажений в сети повышенной частоты (400 Гц) от выпрямителя.

При определении коэффициента нелинейных искажений, выпрямитель в электрической системе рассматривается как источник тока различных гармоник [3]. На рис. 4 $I(\omega)$ означает ток с частотой ω эквивалентного источника тока, от выпрямителя как нелинейной нагрузки, $L_{\text{Ф}}, C_{\text{Ф}}, R_{\text{Ф}}$ – параметры пассивного фильтра на входе выпрямителя с током $\dot{I}_{\text{Ф}}(\omega)$, $L_{\text{Г}}$ и $R_{\text{Г}}$ – индуктивность и активное сопротивление эквивалентного генератора системы с током $\dot{I}_{\text{Г}}(\omega)$, $R_{\text{н}}$ – эквивалентное активное сопротивление нагрузки системы с током $\dot{I}_{\text{н}}(\omega)$ и $\dot{U}_{\text{ГФ}}(\omega)$ – общее напряжение.

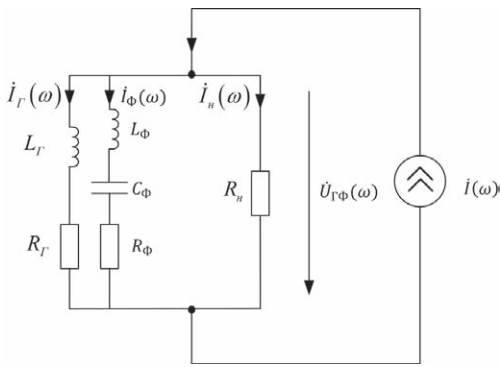


Рис. 4. К вопросу о влиянии гармоник тока выпрямителя на искажения в системе

Исходя из рис. 4, имеем

$$\begin{aligned} \dot{I}_T(\omega)(j\omega L_T + R_T) &= \dot{U}_{TF}(\omega), \\ \dot{I}_F(\omega) \left[R_F + j \left(\omega L_F - \frac{1}{\omega C_F} \right) \right] &= \dot{U}_{TF}(\omega); \\ \dot{I}(\omega) R_n &= \dot{U}_{TF}(\omega). \end{aligned}$$

Ввиду того, что $\dot{I}(\omega) = \dot{I}_T(\omega) + \dot{I}_F(\omega) + \dot{I}_n(\omega)$ и

$$\dot{I}(\omega) = \dot{U}_{TF}(\omega) \left\{ \left[(R_T + j\omega L_T)^{-1} + \left[R_F + j\omega L_F \left(1 - \frac{\omega_{рез}^2}{\omega^2} \right) \right]^{-1} + R_n^{-1} \right] \right\},$$

запишем напряжение $\dot{U}_{TF}(\omega)$ из предыдущего выражения

$$\dot{U}_{TF}(\omega) = \frac{\dot{I}(\omega)}{\left[(R_T + j\omega L_T)^{-1} + \left[R_F + j\omega L_F \left(1 - \frac{\omega_{рез}^2}{\omega^2} \right) \right]^{-1} + R_n^{-1} \right]}, \quad (11)$$

где $\omega_{рез}^2 = \frac{1}{L_F C_F}$.

Теперь сопоставим комплексы $\dot{U}_{TF}(\omega)$, когда $R_n = \frac{1}{g_n} > 0$ и когда $R_n \rightarrow \infty$. Отношение $\dot{U}_{TF}(\omega)|_{R_n > 0, (g_n > 0)}$ и $\dot{U}_{TF}(\omega)|_{R_n \rightarrow \infty, (g_n \rightarrow 0)}$ не зависит от тока $\dot{I}(\omega)$ и равно

$$\begin{aligned} \frac{\dot{U}_{TF}(\omega)|_{R_n > 0, (g_n > 0)}}{\dot{U}_{TF}(\omega)|_{R_n \rightarrow \infty, (g_n \rightarrow 0)}} &= \\ &= \frac{\left[(R_T + j\omega L_T)^{-1} + \left[R_F + j\omega L_F \left(1 - \frac{\omega_{рез}^2}{\omega^2} \right) \right]^{-1} \right]}{\left[(R_T + j\omega L_T)^{-1} + \left[R_F + j\omega L_F \left(1 - \frac{\omega_{рез}^2}{\omega^2} \right) \right]^{-1} + g_n \right]}. \end{aligned} \quad (12)$$

Зная параметры, входящие в выражение (12), можно оценить ослабление гармоник напряжения при $g_n > 0$ и $g_n = 0$.

Далее видоизменим выражение (12), введя обозначение для коэффициента ослабления в виде $K_{осл}$:

$$K_{осл} = \frac{1 + (R_T + j\omega L_T) \left[R_F + j\omega L_F \left(1 - \frac{\omega_{рез}^2}{\omega^2} \right) \right]^{-1}}{1 + (R_T + j\omega L_T) \left[R_F + j\omega L_F \left(1 - \frac{\omega_{рез}^2}{\omega^2} \right) \right]^{-1} + g_n (R_T + j\omega L_T)} \quad (12a)$$

Введем некоторые упрощающие предположения. Примем во внимание повышенную частоту системы (400 Гц) и будем предполагать, что R_T и R_F достаточно малы. Тогда при $R_T \approx 0$ и $R_F \approx 0$ выражение (12a) несколько упростится, а именно:

$$\begin{aligned} K_{осл} &= \frac{L_T + L_F \left(1 - \frac{\omega_{рез}^2}{\omega^2} \right)}{L_T + L_F \left(1 - \frac{\omega_{рез}^2}{\omega^2} \right) + g_n j\omega L_T \left[L_F \left(1 - \frac{\omega_{рез}^2}{\omega^2} \right) \right]^{-1}} = \\ &= \left\{ 1 + \frac{j\omega L_T g_n \left[L_F \left(1 - \frac{\omega_{рез}^2}{\omega^2} \right) \right]^{-1}}{L_T + L_F \left(1 - \frac{\omega_{рез}^2}{\omega^2} \right)} \right\}^{-1}. \end{aligned} \quad (12b)$$

Переходя к модулю, получаем

$$K_{осл} = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{(\omega L_T g_n)^2}{\left[1 + \frac{L_T}{L_F} \left(1 - \frac{\omega_{рез}^2}{\omega^2} \right) \right]^{-2}}}}. \quad (13)$$

Из выражения (13) следует, что $K_{осл}$ равно 1 при $g_n = 0$, а также при $\omega_{рез} = \omega$.

Примем $L_T = 0,2 L_F$, $\omega = 2\pi \cdot 1200 \text{ рад} \cdot \text{с}^{-1}$ и оценим $K_{осл}$ для третьей гармоники [4–6]. Проводимость активной нагрузки g_n выберем, исходя из мощности 10 кВт. Тогда $g_n = 0,2066 \frac{1}{\text{Ом}}$. Полагая $L_F = 2,22 \cdot 10^{-3}$ Гн и $\omega_{рез} = 6742 \text{ рад} \cdot \text{с}^{-1}$, найдем $K_{осл}$ по выражению (13):

$$K_{осл} = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{(7539,8 \cdot 2,2 \cdot 10^{-3} \cdot 0,2066)^2}{(1 + 0,2 \cdot 4,9893)^2}}} = 0,5036.$$

Таким образом, при оценке коэффициента нелинейных искажений сети по напряжению выпрямитель мощностью до нескольких киловатт не следует рассматривать изолированно, а нужно учитывать одновременно и другие линейные нагрузки, влияние которых, как здесь и продемонстрировано, будет снижать значение коэффициента нелинейных искажений K_U , как правило, до допустимых пределов.

В заключение следует отметить, что преобразователь должен удовлетворять ряду ограничительных показателей, в том числе и по уровню создаваемых радиопомех, а также обладать устойчивостью к целому ряду воздействующих механических, климатических, температурных и других факторов.

Сопроводительная документация к преобразователю выполняется на английском и французском языках.

ЛИТЕРАТУРА

1. Shashi B. Dewan. Optimum Input and Output filters for a single-phase rectifier power supply // IEEE Trans. on IA. – 1981. – Vol. IA-17. № 3. – P. 282–288.
2. Bose B. K. Modern power Electronics and AC Drivers. Englewood cliffs. – N. Y.: Prentice – Hall, 2002.
3. Розанов Ю. К. Основы силовой электроники – М.: Энергоатомиздат, 1992. – 296 с.
4. Цицукян Г. Н. Качество электроэнергии и смежные вопросы – СПб.: Элмор, 2011. – 176 с.
5. Mesas J. J., Sainz L., Molina J. Parameter Estimation Procedure for Models of Single-Phase uncontrolled Rectifiers // IEEE Trans. on Power Delivery. – 2011. – Vol. 26. – № 3. – P. 1911–1919.
6. Giannoutsos S. V., Mauias S. N. A systematic power-quality assessment and harmonic filter design methodology for variable-frequency drive application in marine vessels // IEEE Trans. on IA. – 2015. – Vol. 51. – № 2. – P. 1909–1918. ■

В первом номере журнала «Морской вестник» за 2017 г. опубликована статья, в которой изложен алгоритм прогнозирования ледовых нагрузок на судовой валопровод [5]. Напомним, основная идея той статьи заключалась в том, что с помощью имитационного моделирования удается воспроизвести во времени процесс изменения напряжений в валопроводе, обусловленный эпизодическим соударением лопастей винта со льдом. Такие процессы нагружения, которые свойственны ледоколам и судам ледового плавания, носят ярко выраженный случайный характер. Условия неопределенности вынуждают пересматривать сложившиеся взгляды на оценку прочности и долговечности судового валопровода.

Понятно, что в реальных ледовых условиях эксплуатации судна напряжения в элементах валопровода представляют собой случайную функцию времени, т. е. $\sigma = f(t)$. Даже на установившихся режимах наблюдаются случайные отклонения напряжений от их среднего значения. По этой причине усталостная долговечность не может быть детерминированной величиной. Ее случайность обусловлена влиянием большого количества факторов на процессы зарождения и развития усталостных трещин. Из-за неодинакового влияния этих факторов сценарии накопления повреждений могут существенно отличаться друг от друга, что в конечном итоге приводит к разбросу ресурса даже одноклассовых валов.

Достаточно точно прогнозировать усталостную долговечность удастся только при наличии представительной выборки случайных напряжений, получаемой в результате имитационного моделирования. При этом необходимая длительность выборки устанавливается по корреляционной функции, а точнее – по времени корреляции τ_k . По существу, τ_k делит всю выборку на временные блоки, между которыми можно пренебречь вероятностными связями. Тогда количество блоков нагружения λ за весь ресурс детали T до появления признаков усталостного разрушения будет

$$\lambda = \frac{T}{\tau_k}. \quad (1)$$

После того как определена необходимая длительность реализации, позволяющая получить исчерпывающую информацию о случайном процессе, переходят к следующему этапу – непосредственно к схематизации функции $\sigma = f(t)$. Под схематизацией понимают правило подсчета амплитуд напряжений, которые вызывают усталостные повреждения. Известно довольно большое число методов схематизации. Наиболее широкое применение в инженерной практике получили следующие методы: максимумов и размахов (рис. 1). При первом методе

ПРОЧНОСТЬ И ДОЛГОВЕЧНОСТЬ ВАЛОПРОВОДОВ ЛЕДОКОЛОВ И СУДОВ ЛЕДОВОГО ПЛАВАНИЯ

В.К. Румб, канд. техн. наук, проф.,
Хоанг Ван Ты, аспирант, СПбГМТУ,
контакт. тел. (812) 494 0952

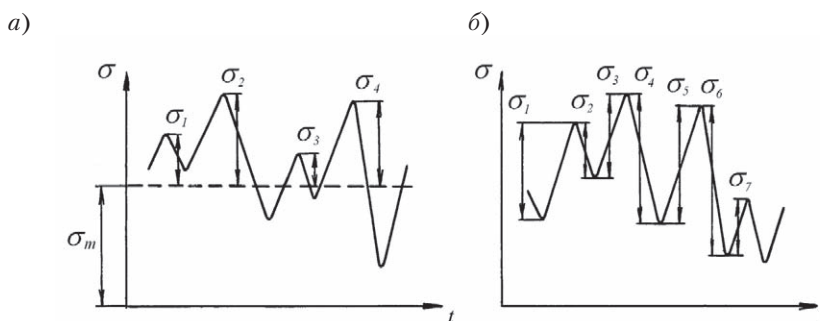


Рис. 1. Методы схематизации функции $\sigma = f(t)$: а – максимумов, б – размахов

за амплитуду напряжений принимают отклонение между максимальным значением и средним уровнем. При методе размахов амплитудами напряжений считают половину между двумя соседними экстремумами. В инженерных расчетах применяются и другие методы схематизации. Например, перспективным считается схематизация случайной функции $\sigma = f(t)$ методом «дождя» (стока), о его алгоритме можно познакомиться в [3]. Окончательное суждение о приемлемости того или иного метода схематизации можно получить только после сопоставления фактической долговечности с ее расчетной оценкой.

В результате схематизации получают дискретный ряд амплитуд напряжений σ_{ai} . Статистическая обработка этого ряда сводится к построению гистограммы, которая является аналогом функции плотности распределения. Гистограмма (рис. 2) представляет собой ступенчатую линию, ординаты которой на каждом интервале постоянны и равны v_i/k , где v_i – число амплитуд напряжений, попавших в i -ступень гистограммы, k – суммарное количество амплитуд σ_{ai} в блоке нагружения.

Соответственно, общее число циклов переменных напряжений с данной амплитудой за весь ресурс детали составит

$$p_i = v_i \lambda. \quad (2)$$

Непосредственная оценка ресурса – продолжительности работы валопровода от начала эксплуатации до наступления предельного состояния – основывается на необратимом росте усталостной трещины в результате последовательного накопления повреждений. Когда полная накопленная поврежденность достигнет некоторой критической величины, происходит усталостное разрушение. Так, хорошо известная гипотеза линейного накопления повреждений Пальмгрена–Майнера исходит из того, что за один цикл при напряжении σ_1 поврежденность составит $1/N_1$, где N_1 – число циклов, при котором произойдет разрушение при непрерывном действии напряжения σ_1 . При числе циклов действия этих напряжений p_1 , где $p_1 < N_1$, материал получит частичное разрушение. При этом доля поврежденности составит

$$D_1 = \frac{p_1}{N_1}.$$

Воздействие переменных напряжений различного уровня дает соответст-

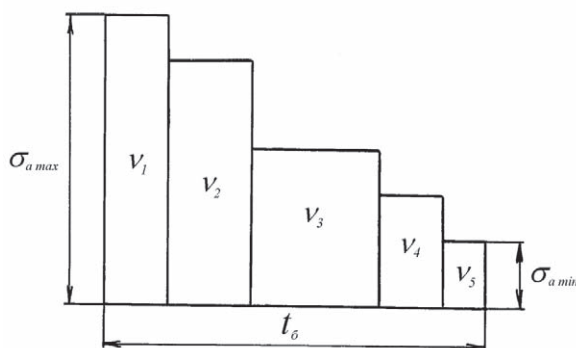


Рис. 2. Гистограмма распределения амплитуд напряжений в блоке нагружения

вующие доли поврежденности. Полное разрушение будет, когда сумма этих долей станет равной a_p , т.е.

$$a_p = D_1 + D_2 + D_3 + \dots = \frac{p_1}{N_1} + \frac{p_2}{N_2} + \frac{p_3}{N_3} + \dots = \sum_{i=1}^k \frac{p_i}{N_i}, \quad (3)$$

где k – количество уровней напряжений, для которых выполняется условие $\sigma_{\max} > 0,5\sigma_{-1}$.

В упомянутой гипотезе Пальмгрена–Майнера принято $a_p = 1$. Между тем, результаты многочисленных испытаний образцов на усталость показали, что значение a_p к моменту поломки имеет большие отклонения от единицы. По опубликованным данным, a_p может находиться в пределах от 0,05 до 4. Столь большой разброс, естественно, отражается на точности: двух- или даже трехкратная ошибка в оценке долговечности по линейной гипотезе суммирования повреждений считается нормой. На этом основании более оправданно пользоваться скорректированной линейной гипотезой суммирования повреждений. Она предложена В. П. Когаевым на основе обобщения соответствующих экспериментальных данных [2]. Строго говоря, корректировка известной гипотезы Пальмгрена–Майнера касалась не принципа суммирования повреждений, а величины a_p , т.е. суммарной поврежденности, после которой следует разрушение. В предлагаемом варианте гипотезы a_p подсчитывается по формуле

$$a_p = \frac{\sigma_{\max} \xi - 0,5\sigma_{-1}}{\sigma_{\max} - 0,5\sigma_{-1}}, \quad (4)$$

где ξ – коэффициент коррекции, отражает общий уровень напряженного состояния:

$$\xi = \sum_{i=1}^p \frac{\sigma_{ai} v_i}{\sigma_{\max} v_{\Sigma}},$$

v_{Σ} – суммарное число амплитуд напряжений, удовлетворяющее условию $\sigma_{ai} > 0,5\sigma_{-1}$.

Строго говоря, формула (4) справедлива для левой части кривой усталости (рис. 3), т.е. для случая, когда все текущие амплитуды напряжений превышают предел выносливости детали. Если же это условие не выполняется и $\sigma_{ai} < \sigma_{-1}$, то

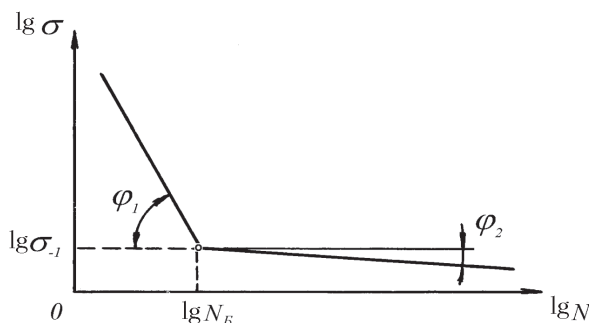


Рис. 3. Кривая усталости в двойных логарифмических координатах

$$a_p = \xi = \sum_{i=1}^r \frac{\sigma_{ai} v_i}{\sigma_{\max} v_{\Sigma}}. \quad (5)$$

Величина N_i , входящая в (3), определяется из уравнения кривой усталости

$$N_i = \frac{(\sigma_{-1}^n)^m N_B}{\sigma_{ai}^m}, \quad (6)$$

где m – показатель степени, характеризует угол наклона левой и правой ветви кривой усталости, $m = \text{ctg} \varphi$.

После подстановки (2) и (6) в (3) и несложных алгебраических преобразований с учетом (1) получим формулу, которая позволяет подсчитать фактический ресурс, т.е. наработку, в течение которой валопровод не достигнет предельного состояния по усталости материала,

$$T = \frac{a_p (\sigma_{-1}^n)^m N_B}{\sum_{i=1}^r (v_i \sigma_{ai}^m)} \tau_k. \quad (7)$$

Между тем более рациональной для прогнозирования долговечности валопровода является формула, в которой ресурс выражается через коэффициенты запаса прочности. Рациональность данной формулы вытекает из того, что эти коэффициенты подсчитываются при расчете деталей на выносливость, и главное – они несут в себе обобщенную характеристику прочности детали. Для перехода к такой формуле преобразуем (7), а именно:

$$\begin{aligned} T &= \frac{a_p (\sigma_{-1}^n)^m N_B}{\sum_{i=1}^r (v_i \sigma_{ai}^m)} \tau_k = \\ &= \frac{a_p N_B}{\sum_{i=1}^r \left[v_i \left(\frac{\sigma_{ai}}{\sigma_{-1}} \right)^m \right]} \tau_k = \frac{a_p N_B}{\sum_{i=1}^r \frac{v_i}{n_i^m}} \tau_k. \end{aligned} \quad (8)$$

По условию прочности коэффициент запаса прочности n_i не должен быть меньше минимально допустимого значения n_{\min} . С учетом данного условия выражение (8) принимает вид [4]

$$T = \frac{a_p N_B}{\sum_{i=1}^r \frac{v_i}{(n_i/n_{\min})^m}} \tau_k. \quad (9)$$

Подобным образом через коэффициенты запаса прочности можно выразить выражение для a_p . С этой целью

разделив числитель и знаменатель в (5) на σ_{-1}^n и учтя, что $\sigma_{-1}^n / \sigma_{ai} = n_i$, получим

$$a_p = \sum_{i=1}^r \frac{n_{\min}^* / n_{\min} v_i}{n_i / n_{\min} v_{\Sigma}}, \quad (10)$$

где n_{\min}^* – минимальное значение коэффициента запаса прочности из совокупности значений n_i , $i = 1, 2, \dots, r$.

В качестве примера подсчитаем a_p для детали, параметры блока нагружения которой приведены в табл. 1.

Таблица 1

Параметры блока нагружения

Параметр	Номер ступени блока			
	1	2	3	4
Количество амплитуд в блоке	14	26	13	35
Коэффициент запаса прочности	2,0	2,5	5,0	20,0

Суммарное количество амплитуд в блоке $v_{\Sigma} = 14 + 26 + 13 + 35 = 88$. Минимально допустимое значение коэффициента запаса прочности принимаем $n_{\min} = 1,6$, тогда

$$\begin{aligned} a_p &= \sum_{i=1}^4 \frac{n_{\min}^* v_i}{n_i v_{\Sigma}} = \frac{1,6 \cdot 14}{2 \cdot 88} + \\ &+ \frac{2}{2,5} \frac{26}{88} + \frac{2}{5} \frac{13}{88} + \frac{2}{20} \frac{35}{88} = 0,494. \end{aligned}$$

Отметим, если по расчету получается $a_p < 0,2$, то следует принимать $a_p = 0,2$.

Проверить работоспособность формулы (9) можно только при наличии экспериментальных данных. Однако проведение подобной проверки в полном объеме сопряжено с большими затратами времени и средств. При отсутствии таких условий, особенно на этапе проектирования новых конструкций, приходится ограничиваться имитационным моделированием. По своим возможностям оно напоминает статистический натурный эксперимент, но в отличие от него имеет более широкие возможности и менее трудоемко, так как выполняется на ЭВМ.

Основные положения имитационного моделирования и практические аспекты его применения подробно рассмотрены в [5]. Не пытаясь повторить их полностью, отметим лишь то, что имитационное моделирование служит всего лишь средством, которое помогает решать задачи при неопределенных исходных данных. Они в имитационном моделировании не задаются, а разыгрываются с помощью специального генератора случайных чисел. Сначала он дает случайные числа, равномерно распределенные в диапазоне от 0 до 1, а затем эти псевдослучайные числа преобразуются в случайные числа с требуемыми вероятностными харак-

теристиками. Получение случайных чисел по данному алгоритму принято называть процедурой или методом Монте-Карло.

Переходя к вероятностной оценке долговечности валов с помощью имитационного моделирования, напомним, что входящие в (9) аргументы являются случайными числами с присущими им законами распределений. Как функция случайных аргументов величина T также будет случайной. Чтобы найти функцию распределения T , надо многократно повторить расчет по этой формуле, задавая каждый раз значения указанных аргументов с помощью метода Монте-Карло. В результате получим вариационный ряд из значений T , статистическая обработка которого даст математическое ожидание μ_T , среднее квадратическое отклонение S_T и данные, необходимые для установления функции распределения $f(T)$. Для объективности статистического заключения число прогонов должно быть достаточно большим (обычно больше 1000).

Таким образом, в результате имитационного моделирования удается с высокой степенью достоверности выявить и математически описать функцию распределения усталостной долговечности. Знание этой функции позволяет достаточно легко определить вероятность усталостного разрушения детали за время μ_T . Однако с целью безопасной эксплуатации машин оправданно задавать долговечность деталей не по среднему, а по так называемому гамма-процентному ресурсу. В рассматриваемом случае гамма-процентный ресурс – это время эксплуатации детали, в

течение которого усталостная трещина не достигнет критического размера с заданной вероятностью γ . Иначе говоря, величина γ характеризует вероятность отсутствия усталостного разрушения. Так, если функция $f(T)$ подчиняется нормальному распределению, то γ – процентный ресурс подсчитывается по формуле [1]

$$T_\gamma = \mu_T (1 - \vartheta_T U_\gamma),$$

где ϑ_T – коэффициент вариации, $\vartheta_T = S_T/\mu_T$; U_γ – квантиль нормированного нормального распределения, определяется для заданного значения γ . Например, при $\mu_T = 32000$ часов и $\vartheta_T = 0,25$ 85%-ный гамма-ресурс составит $T_{\gamma=0,85} = 32000(1 - 0,25 \cdot 1,0364) = 23712$ часов.

Для других распределений функции $f(T)$ гамма-процентный ресурс вычисляются по формулам:

– при логарифмически-нормальном распределении

$$T_\gamma = \mu_T \exp[-(U_\gamma b + 0,5b^2)],$$

где b – параметр, связан с коэффициентом вариации соотношением

$$b = \sqrt{\ln(1 + 9\vartheta_T^2)};$$

– при распределении Вейбулла

$$T_\gamma = a (\ln 1/\gamma)^{1/b},$$

где a и b – параметры распределения;

– при экспоненциальном распределении

$$T_\gamma = \mu_T \ln 1/\gamma.$$

Еще более сложным случаем является имитация самого процесса накопления усталостных повреждений во времени. Стохастическая природа этого процесса связана с двумя основ-

ными причинами: рассеянием механических свойств конструкционных материалов и геометрических параметров детали, а также большими вариациями режимов работы машины и условий ее эксплуатации. Сами по себе эти причины весьма сложны, а если учесть еще корреляционную связь между ними, то понятно, что воспроизвести процесс усталости материала и дать ему эволюционное описание удастся в полной мере только с использованием вероятностных моделей. Разработке таких моделей посвящено всего несколько работ. Одной из них является [6], в которой предлагается несколько моделей усталостного накопления повреждений. Однако считать эту работу исчерпывающей по данному вопросу пока рано. Необходимы дополнительные исследования, чтобы эти модели стали пригодными для инженерных расчетов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ефремов Л.В. Практика инженерного анализа надежности судовой техники. – Л.: Судостроение, 1980. – 176 с.
2. Когаев В.П. Расчеты на прочность при напряжениях, переменных во времени. – М.: Машиностроение, 1977. – 232 с.
3. Коллинз Дж. Повреждение материалов в конструкциях. Анализ, предсказание, предотвращение. – М.: Мир, 1978. – 624 с.
4. Румб В.К. Прочность и долговечность судовых машин и механизмов: учебное пособие. – СПб.: Изд-во СПбГМТУ, 2014. – 237 с.
5. Румб В.К. Имитационное моделирование нагрузок на валопроводы ледоколов и судов ледового плавания // Морской вестник. – 2017. – № 1(61). – С. 60–63.
6. Сиратори М., Миеси Т., Мацусита Х. Вычислительная механика разрушения. – М.: Мир, 1986. – 344 с. ■

ВВЕДЕНИЕ

В работах [1–5] рассматривались и анализировались теоретические основы определения расчетной области компенсации и пригоняемых при необходимости участков с припусками на основе теоретических положений в рамках гипотезы о взаимосвязи конфигурации и компенсационных возможностей проектной трассировки трубопроводов.

Целью экспериментальных исследований являются подтверждение вышеизложенной гипотезы и проверка математических описаний компенсационных возможностей трасс трубопроводов. Основные задачи экспериментальных исследований:

- анализ трасс трубопроводов судовых систем;
- определение компенсационных возможностей трасс трубопроводов и при необходимости пригоняемых участков с припусками пригоняе-

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА КОМПЕНСАЦИИ ОТКЛОНЕНИЙ ПЕРЕМЕЩЕНИЕМ ТРАСС ТРУБОПРОВОДОВ

Нго Жа Вьет, аспирант,

К.Н. Сахно, д-р техн. наук, проф., ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет»,
контакт. тел. +7 (962) 754 9142

мой трубы и предложение методов компенсации отклонений во всех направлениях;

– успешный монтаж трасс трубопроводов из труб, изготавливаемых по проектным размерам.

Экспериментальные исследования проводились на заводе «Damen-Song-

Sam» (Вьетнам) при проектировании и монтаже трасс трубопроводов судовых систем на судах типа «Damen Platform Supply Vessel 3300 CD» (рис. 1).

Суда этого типа предназначены для обеспечения буровых платформ. Они используются для снабжения платформ водой и топливом, для перевозки реф-



Рис. 1. Проект судов тина «Damen Platform Supply Vessel 3300 CD»

рижераторных контейнеров, различных смазочных материалов и химикатов, сыпучих и жидких грузов, необходимых для буровых платформ, а также для транспортировки экипажей, эвакуации людей, сбора загрязненных нефтепродуктами вод.

Экспериментальные исследования проводились в два этапа: первый экспериментальный этап – до монтажа при разработке чертежей трубопроводных судовых систем. При этом был разработан следующий порядок проведения исследований:

- выбор трасс трубопроводов и подготовка данных;
- определение расчетной области компенсации трасс трубопроводов;
- определение пригоняемого участка с назначаемым припуском;
- корректировка чертежей изменением размеров пригоняемых участков припусками;
- изготовление труб трасс трубопроводов по проектам без уточнения размеров по месту;

Второй экспериментальной этап осуществлялся при сборке трасс трубопроводов судовых систем, при этом выполнялись следующие работы:

- замеры фактических отклонений трасс трубопроводов, сравнение фактических отклонений и расчетной области компенсации с учетом значений назначаемых припусков;
- монтаж трасс трубопроводов и выполнение порядка компенсации от-

- клонений;
- замеры лишних обрезаемых припусков;
- пригонка трасс трубопроводов.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОМПЕНСАЦИОННЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ТРАСС ТРУБОПРОВОДОВ

На основании разработанных теоретических положений [1] составлена методика расчетов области компенсации трасс трубопроводов, выполняемых на базе программных сред PTC MathCad и Maple. В качестве примера расчетов приведена трасса трубопровода судовой водяной противопожарной системы (рис. 2).

Расчетная трасса состоит из семи труб, координатные размеры которых приведены в табл. 1.

Номера точек свободного соединения – 1, 4, 5, 8, 10, 12, 13, 17. Точки 4 и 5 расположены на одном прямом участке трассы и равнозначны при выборе мест вращения, поэтому, чтобы не дублировать расчет, в качестве точки свободного соединения выбираем только одну точку 4. Аналогично – для точек 12 и 13. Окончательно определяем номера точек свободного соединения $s=\{1, 4, 8, 10, 12, 17\}$.

Далее необходимо проверить параллельность участков трассы. Для этого найдем векторы прямых участков, которые начинаются с точек свободного соединения. В результате определены

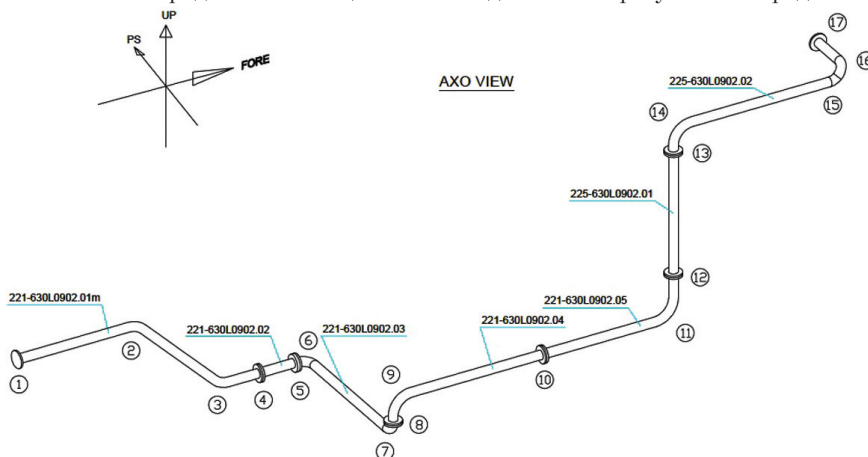


Рис. 2. Расчетная трасса

Таблица 1
Координатные размеры расчетной трассы

№ точек	X(FORE)	Y(PS)	Z(UP)
1	0	0	0
2	1800	0	0
3	1800	-2000	0
4	2310	-2000	0
5	2797	-2000	0
6	2956	-2000	0
7	2956	-3990	0
8	2956	-3990	159
9	2956	-3990	477
10	4956	-3990	477
11	6711	-3990	477
12	6711	-3990	1057
13	6711	-3990	2691
14	6711	-3990	3014
15	8869	-3990	3014
16	9021	-3990	3166
17	9021	-3340	3166

четыре пары параллельных участков: 1-2 и 5-5, 1-2 и 10-11, 4-5 и 10-11, 8-9 и 12-13.

Так как точка №10 лежит между двумя парами параллельных участков 8-9 и 12-13, вращение трассы в месте свободного соединения № 10 будет нарушать параллельность пары параллельных участков 8-9 и 12-13, а вращения пар 1-2 и 5-6, 1-2 и 10-11, 5-6 и 10-11 совместно компенсируют отклонение в направлении Z; вращение пары 8-9 и 12-13 компенсирует отклонение в направлении Y. Поэтому для этой трассы можно не рассматривать ее перемещение в месте свободного соединения №10, т.е. самыми оптимальными парами параллельных участков будут 1-2 и 5-6, 8-9 и 12-13.

На основании математических описаний, разработанных в [1], определяем параметры окружностей, полученных вращением труб с параллельными участками. Результат расчета представлен в табл. 2. Вращение этих пар параллельных участков на определенный угол поворота образует дуги 1, 2, необходимые для построения области компенсации.

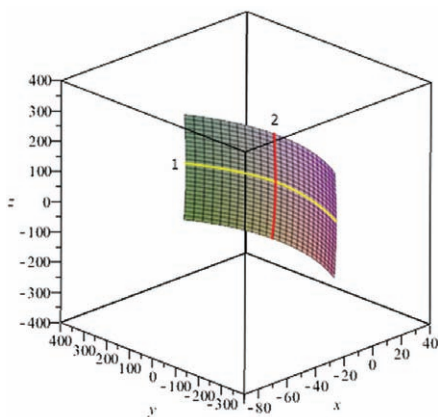
Таблица 2
Параметры окружностей, полученных вращением параллельных участков трассы

№	Пара параллельных участков	R, мм	\bar{u}	\bar{e}
1	1-2 и 4-5	2000	(0; 0; -1)	(0; -1; 0)
2	8-9 и 12-13	3755	(0; 1; 0)	(1; 0; 0)

Дуга 1 перемещается параллельным переносом по направлению дуги 2, об-

Таблица компенсационных возможностей трасс трубопроводов

Обозначение трассы	Координаты конца трассы, мм		Кол-во пар параллельных участков	Расчетная область компенсации, мм	Назначение припусков, мм
	X	Y			
1-313L0101	X	-3021	3	-165 ÷ 193	0
	Y	583		-335 ÷ 321	0
	Z	9082		0	50
2-313L0116	X	6330	4	-76 ÷ 16	34
	Y	8624		0	50
	Z	5050		-488 ÷ 488	0
3-313L0130	X	1333	2	-136 ÷ 140	0
	Y	1783		-50 ÷ 58	0
	Z	4837		0	50
4-313L0123	X	-9649	6	0	100
	Y	5024		-138 ÷ 116	0
	Z	358		-107 ÷ 107	0
5-313L0113	X	16 600	2	0	
	Y	320		-34 ÷ 34	
	Z	1200		-28 ÷ 28	
6-313L0121	X	-5092	4	0	50
	Y	1905		-109 ÷ 108	0
	Z	1796		-336 ÷ 329	0
7-313L0122	X	-5000	2	0	100
	Y	176		-161 ÷ 156	0
	Z	1335		-86 ÷ 86	0
8-313L0128	X	3086	5	-400 ÷ 387	0
	Y	4270		-891 ÷ 844	0
	Z	3681		-847 ÷ 785	0
9-313L0137	X	1048	4	-526 ÷ 533	0
	Y	6005		-229 ÷ 136	0
	Z	-3279		-53 ÷ 53	0
10-330L1077	X	1520	1	0	50
	Y	3756		0	50
	Z	1200		-22 ÷ 22	28

Рис. 3. Поверхность S_2

разуя криволинейную поверхность S_2 .
Уравнение поверхности S_2 (рис. 3):

$$\begin{aligned}x &= 3755\cos(t_2) - 3755; \\y &= -2000\cos(t_1) + 3755\sin(t_2) + 2000; \\z &= -2000\sin(t_1); \\-\frac{\pi}{36} &\leq t_1 \leq \frac{\pi}{36}, \quad -\frac{\pi}{36} \leq t_2 \leq \frac{\pi}{36}.\end{aligned}$$

В ходе расчета определены координаты области компенсации:

$$\begin{aligned}x &\in \{-14 \div 0\}, \text{мм}; \\y &\in \{-327 \div 335\}, \text{мм}; \\z &\in \{-174 \div 174\}, \text{мм}.\end{aligned}$$

Область компенсационных возможностей трассы является изогнутой поверхностью, что позволяет компенсировать отклонения, возникающие в направлениях Y и Z . Значения поверхности в направлении X от -14 до 0 мм характеризует кривизну дуги 2.

Для компенсации параллелепипеда отклонений необходимо расширять область S_2 в направлении X , чтобы область компенсации стала объемной. Подобное расширение области S_2 в направлении X осуществляется назначением припуска на участке трассы, лежащем в направлении X , что открывает возможность оптимального монтажа трасс трубопроводов. Для этой трассы можно назначить припуск на конце труб 221-630L0902.02, или 221-630L0902.04, или 221-630L0902.05, тогда монтаж будет осуществляться с двух сторон, но самый оптимальный вариант – это назначить припуск на конце участка трубы 221-630L0902.01м, и монтаж будет осуществляться со стороны трубы 225-630L0902.02.

В ходе экспериментальных исследований были определены и обработаны 107 трасс трубопроводов судовых систем. Результаты расчета 10 трасс представлены в табл. 3.

ЗАМЕРЫ ОТКЛОНЕНИЙ ТРАСС ТРУБОПРОВОДОВ И ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТА

Из 107 трасс выбраны 86, отклонения которых можно компенсировать вращением пар прямых взаимно парал-

лельных участков с учетом назначения припусков. Все трубы этих трасс изготовлены по проектным размерам с назначением припусков при необходимости и отправлены для монтажа.

По этим трассам проведены замеры фактических отклонений и значений лишних припусков, обрезаемых в процессе монтажа. Результаты экспериментальных замеров и порядок выполнения монтажа девяти трасс трубопроводов представлены в табл. 4.

В качестве примера рассмотрим трассу 630L0902 (см. рис. 2), которая имеет две пары прямых взаимно параллельных участков. Область компенсационных возможностей трассы определяется по уравнениям

$$\begin{aligned}x &= 3755\cos(t_2) - 3755; \\y &= -2000\cos(t_1) + 3755\sin(t_2) + 2000; \\z &= -2000\sin(t_1).\end{aligned}$$

При фиксировании угла возможного поворота

$$-\frac{\pi}{36} \leq t_1 \leq \frac{\pi}{36}, \quad -\frac{\pi}{36} \leq t_2 \leq \frac{\pi}{36}$$

определим область компенсации в интервале

$$\begin{aligned}x &\in \{-14 \div 0\}, \text{мм}; \\y &\in \{-327 \div 335\}, \text{мм}; \\z &\in \{-174 \div 174\}, \text{мм}.\end{aligned}$$

Для полной компенсации всех возможных отклонений, возникающих при монтаже этой трассы, необходимо назначить припуск 50 мм по направлению X [6,7]. Проведя замер фактических отклонений этой трассы, получаем:

$$\Delta x = 35\text{мм}; \quad \Delta y = 40\text{мм}; \quad \Delta z = 35\text{мм}.$$

Учитывая, что $y = \Delta y$ и $z = \Delta z$ составим систему уравнений:

$$\begin{aligned}x &= 3755\cos(t_2) - 3755; \\-2000\cos(t_1) + 3755\sin(t_2) + 2000 &= 40; \\-2000\sin(t_1) &= 35\end{aligned}$$

и в результате решения получим $t_1 = 1^\circ; t_2 = 0,6^\circ; x = -0,2\text{мм}$.

Это означает, что вращение пар параллельных участков в местах свободного соединения 1-5 и 8-12 (см. рис. 2) полностью компенсирует отклонения в направлениях Y и Z , и одновременно перемещает конец трассы в направлении X на расстояние $0,2$ мм в отрицательном направлении координатной оси OX . Окончательно отклонения конца трассы полностью исключаются

Таблица результатов экспериментальных исследований

Обозначение трассы	Фактические отклонения, мм		Расчетная компенсация, мм	Назначение припусков, мм	Порядок монтажа трасс трубопроводов
1-313L0101	X	-31	-165 ÷ 193	0	Вращать 7-11
	Y	16	-335 ÷ 321	0	Вращать 1-7; 11
	Z	42	0	50	Обрезать припуск 8 мм
2-313L0116	X	25	-76 ÷ 16	34	Вращать 1-5 и обрезать припуск 22 мм
	Y	-13	0	50	Обрезать припуск 35 мм
	Z	28	-488 ÷ 488	0	Вращать 7; 11; 15
3-313L0130	X	-18	-136 ÷ 140	0	Вращать 1; 7
	Y	-21	-50 ÷ 58	0	Вращать 1-7
	Z	-26	0	50	Обрезать припуск 24 мм
4-313L0123	X	-53	0	100	Обрезать припуск 45 мм
	Y	14	-138 ÷ 116	0	Вращать 1-4-10
	Z	-8	-107 ÷ 107	0	Вращать 10-14; 16
6-313L0121	X	-24	0	50	Обрезать припуск 26 мм
	Y	25	-109 ÷ 108	0	Вращать 10
	Z	25	-336 ÷ 329	0	Вращать 1-7; 7-10
7-313L0122	X	-36	0	100	Обрезать припуск 64 мм
	Y	-29	-161 ÷ 156	0	Вращать 12
	Z	11	-86 ÷ 86	0	Вращать 8-12
8-313L0128	X	27	-400 ÷ 387	0	Вращать 1-16
	Y	18	-891 ÷ 844	0	Вращать 8-11
	Z	-32	-847 ÷ 785	0	Вращать 6-13
9-313L0137	X	-36	-526 ÷ 533	0	Вращать 6-8; 1-17; 7
	Y	-15	-229 ÷ 136	0	Вращать 14-17
	Z	-10	-53 ÷ 53	0	Вращать 3-6
10-330L1077	X	16	0	50	Обрезать припуск 34 мм
	Y	-12	0	50	Обрезать припуск 38 мм
	Z	10	-22 ÷ 22	28	Вращать 1-4 и обрезать припуск 28 мм

в направлениях Y и Z, остается отклонение в направлении X на расстоянии 34,8 мм. Необходимо обрезать лишний припуск 15,2 мм в направлении X для установки пригоняемой трубы.

Таким образом, замеры фактических отклонений и решение задач компенсации трасс трубопроводов подтверждают гипотезу о целесообразности использования вращения пар прямых взаимно параллельных участков для компенсации суммарных отклонений трасс трубопроводов.

Знак отклонений определяется направлением вектора \vec{A} от точки теоретического положения A до точки фактического положения A' конца трассы в трехмерной координатной системе.

По результатам экспериментальных замеров и выполнения предлагаемого порядка монтажа трассы трубопроводов трассы подразделены на четыре группы:

трассы, обладающие возможностью полной компенсации всех отклонений в трех направлениях вращением параллельных участков (нет пригоняемых труб);

трассы, обладающие возможностью компенсации отклонений вращением параллельных участков в двух направлениях и использованием дополнительного припуска в оставшемся направлении;

трассы, обладающие возможностью компенсации отклонений вращением параллельных участков в одном направлении и использованием дополнительных припусков в двух оставшихся направлениях;

трассы, обладающие возможностью компенсации отклонений с использованием назначаемых припусков в трех направлениях.

ВЫВОДЫ

В ходе экспериментальных исследований определены цель и задачи эксперимента, разработан план эксперимента и подготовлены необходимые исходные данные.

По результатам экспериментов можно сделать следующие выводы:

– в результате экспериментальных исследований с сопоставлением факти-

ческих отклонений и области компенсационных возможностей с учетом назначаемых припусков подтверждены теоретические прогнозы компенсационных возможностей трасс трубопроводов на этапе проектирования;

- успешный монтаж трасс, трубы которых изготовлены по проектным размерам без уточнения размеров по месту, подтверждает концептуальные основы компенсации суммарных отклонений перемещением трасс трубопроводов;
- разработан порядок компенсации отклонений трасс трубопроводов с использованием взаимно параллельных участков с соединениями труб и дополнительными припусками;
- в ходе исследований созданы предпосылки для разработки методики повышения технологичности трубопроводов на стадии проектирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Нго Жа Вьет, Сахно К.Н. Исследование компенсационных возможностей проектной трассировки трубопроводов судовых систем // Вестник Государственного университета морского и речного флота им. адм. С. О. Макарова. – 2017. – Т. 9. – № 1. – С. 157–164
2. Сахно К.Н., Нго Жа Вьет, Во Чунг Куанг. Актуальность использования компенсационных возможностей прямых труб при проектировании, изготовлении и монтаже трубопроводных систем // Вестник Астраханского государственного технического университета. – Сер.: Морская техника и технология. – Астрахань, – 2015. – № 2. – С. 22–26.
3. Сахно К.Н., Нго Жа Вьет. Исследование компенсационных возможностей прямых труб в трассах с погибами // Вестник Астраханского государственного технического университета. – Сер.: Морская техника и технология. – Астрахань, – 2016. – № 1. – С. 29–37.
4. Сахно К.Н., Нго Жа Вьет, Во Чунг Куанг. Технология изготовления и монтажа трасс трубопроводов по проектной информации // Естественные и технические науки. – Сер.: Техн. науки. – 2017. – № 2 (104). – С. 103–108.
5. Сахно К. Н. Научные основы повышения технологичности трубопроводов судовых систем на стадии проектирования: дисс. ... д-ра техн. наук, Астрахань, 2012. – 353 с.
6. ОСТ 5.95057–90. Системы судовые и системы судовых энергетических установок. Типовой технологический процесс изготовления и монтажа трубопроводов. – РТП НПО «Ритм». – 207 с.
7. РД 5Р0005–93. Системы судовые и системы судовых энергетических установок. Требования к проектированию, изготовлению и монтажу труб по эскизам и чертежам с координатами трасс трубопроводов. – СПб.: ЦНИИТЭС. – 82 с. ■

В состав временных морских электроэнергетических систем для питания потребителей электроэнергии входят мощные статические преобразователи постоянного и переменного тока (СПЧ). Совокупность жестких требований, предъявляемых к СПЧ в части унифицируемости, масштабируемости и надежности, предопределяет необходимость обеспечения параллельной работы двух и более преобразователей. Для параллельной работы СПЧ на общую нагрузку требуется синхронизация, которая обычно реализуется с помощью специальных сигнальных кабелей, объединяющих преобразователи в виде нескольких источников питания в одну общую

ИССЛЕДОВАНИЕ АДАПТИВНОГО АЛГОРИТМА ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ДВУХ СТАБИЛИЗАТОРОВ ТРЕХФАЗНОГО НАПРЯЖЕНИЯ

*С.С. Стародед, канд. техн. наук, начальник отдела,
А.И. Ивановский, начальник сектора,
А.Н. Богданов, инженер-конструктор, АО «Новая ЭРА»,
контакт. тел. (812) 303 8972*

ронизации по амплитуде и фазе выходного напряжения была разработана компьютерная модель в пакете прикладных программ Matlab, включающая в себя два

- гармонические искажения тока на выходе THD < 2%;
- КПД 98 %.

Схема модели представлена на рис. 1.

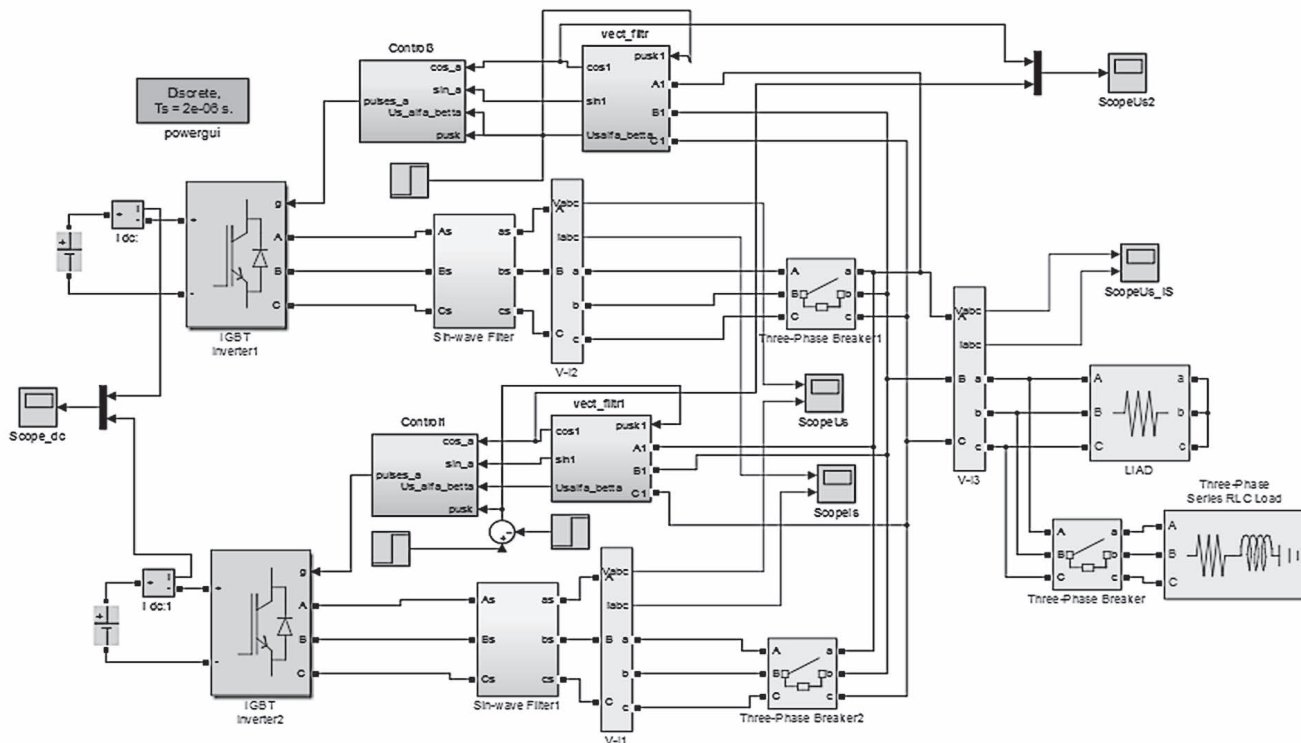


Рис. 1. Схема компьютерной модели двух инверторов трехфазного напряжения, работающих параллельно на общую нагрузку

систему электроснабжения. В некоторых системах параллельного включения СПЧ для синхронизации используются оптоволоконные линии связи, обладающие более высокой помехоустойчивостью по сравнению с электрическими линиями.

Передовые технологии для синхронизации по амплитуде и фазе [2, 3] трехфазных источников напряжения, работающих параллельно на общую нагрузку, позволяют вообще отказаться от использования дополнительных связей по информационным каналам. Основу таких технологий составляют устройства подстройки по фазе [1, 4], основанные на выявлении рассогласования и коррекции частоты генерируемого напряжения. Стабилизация и управление амплитудой напряжения осуществляются с помощью обратной связи и регулятора амплитуды напряжения.

Для исследования и апробации предлагаемого адаптивного алгоритма синх-

выходных трехфазных инвертора напряжения, работающих на общую нагрузку.

Трехфазные инверторы имеют следующие параметры:

- выходное трехфазное напряжение 380 В;
- частота сети от 50 Гц;
- мощность в нагрузке 1000 кВА;
- гармонические искажения напряжения на выходе THD < 3%;

В каждом инверторе система управления состоит из устройства подстраивающего фазу выходного напряжения под генерируемое напряжение и регулятор напряжения с ШИМ генератором.

Блок вектор-фильтр (vekt_filt) осуществляет синхронизацию по фазе и преобразование сигналов трехфазного напряжения в двухфазное. Схема блока vekt_filt представлена на рис. 2.

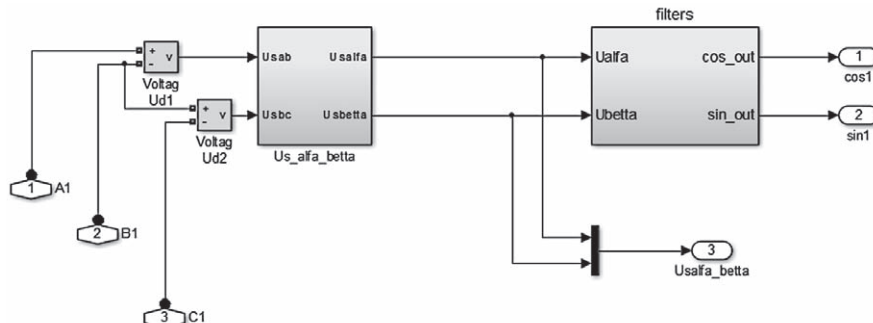


Рис. 2. Схема блока vekt_filt

На вход блока поступают линейные напряжения трехфазной сети переменного тока выходной сети. Преобразованные трехфазные сигналы напряжения в двухфазные сигналы поступают на вход блока `vekt_filt`.

В основе принципа действия вектор-фильтра лежит известная тригонометрическая формула:

$\sin(\alpha - \beta) = \sin(\alpha) \cos(\beta) - \sin(\beta) \cos(\alpha)$, (1)
где α и β – начальные фазы напряжений на выходе двух СПЧ.

При малых углах рассогласования по фазе выражение $\sin(\alpha - \beta)$ стремится к нулю. Входное двухфазное напряжение нормируется по амплитуде и сравнивается с сигналами, вырабатываемыми генератором синусоидальных сигналов (`sin_out`, `cos_out`). Подстройка по фазе осуществляется ПИ-регулятором (`Control_Phase`).

Сфазированные опорные сигналы поступают на блок `Control`. Схема блока `Control` представлена на рис. 3.

В блоке `Control` сравниваются сигналы заданного по амплитуде напряжения и измеренного, вычисляемого в блоке `Modul`. Формируются трехфазные сигналы заданий по напряжению для ШИМ генератора (блок `PWM Generator (2-Level)`). Сигнал `pusk` дает разрешение на работу ПИ-регулятора и сигналов управления ключами инвертора. Блок `filt1` представляет собой апериодическое звено первого порядка и служит фильтром, сглаживающим пульсации несущей частоты ШИМ. В блоке преобразования фаз (`transform 2-3`) двухфазная система задающего напряжения преобразуется в трехфазную систему.

В ходе компьютерного моделирования рассматривались следующие режимы:

функционирует второй СПЧ (`IGBT Inverter2`) в режиме с минимальной нагрузкой, подключенной через контактор (`Three-Phase Breaker2`), через 0,15 с контактором (`Three-Phase Breaker`) подключается номинальная нагрузка. Через 0,2 с дается разрешение на работу регулятора напряжения и ШИМ инвертора (`IGBT Inverter1`). Через 0,6 с первый СПЧ подключается к сети контактором (`Three-Phase Breaker1`). Осуществляется

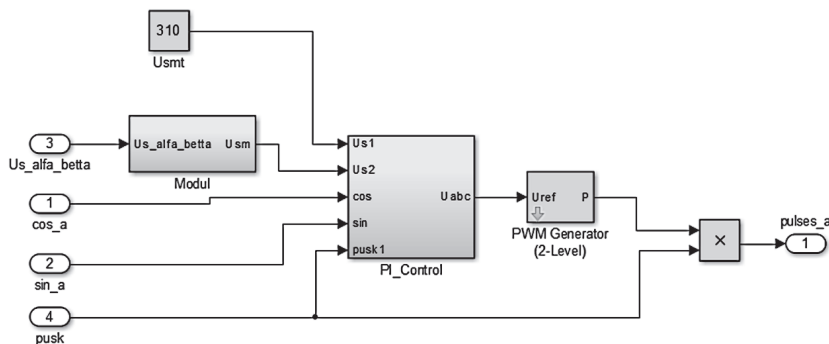


Рис. 3. Схема блока `Control`

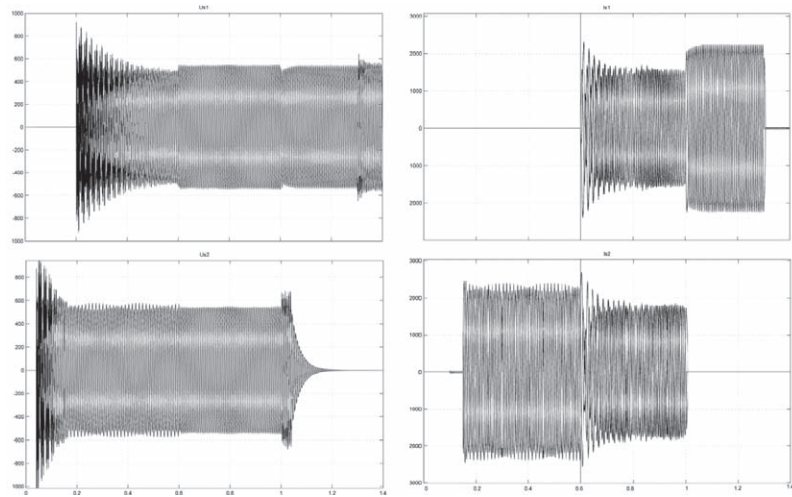


Рис. 4. Осциллограммы напряжений и токов на выходе преобразователей

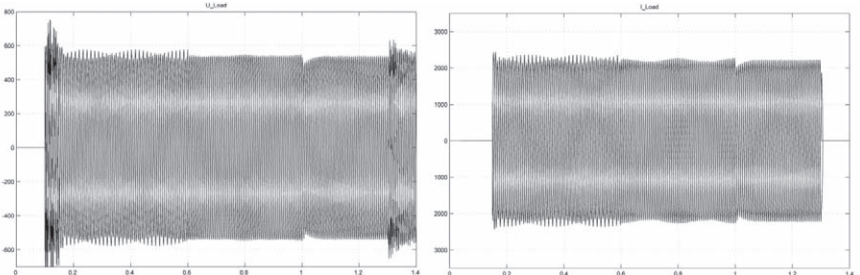


Рис. 5. Осциллограммы напряжений и токов в нагрузке

параллельная работа двух СПЧ. Через 1 с второй преобразователь отключается, при этом первый преобразователь остается работать с номинальной нагрузкой. Через 1,3 с отключается номинальная нагрузка контактором (`Three-Phase Breaker`). Остается подключенной минимальная нагрузка.

На рис. 4 приведены осциллограммы напряжений (`Us1`, `Us2`) и токов (`Is1`, `Is2`) на выходе первого и второго преобразователей в указанных выше режимах.

Как видно из осциллограм (рис. 4), при включении преобразователей на параллельную работу в первый момент наблюдаются колебания токов, которые длятся не более 0,2 с, что не влияет на ток в нагрузке. На рис. 5 приведены осциллограммы напряжений и токов (`U_Load`, `I_Load`) в нагрузке.

Переходные процессы при переключениях сопровождаются незначительными провалами по напряжению и току, после 1 с. Провал по напряжению не

превышает 8 %, время восстановления не превышает 0,06 с. Провал по току не превышает 1 %, время восстановления не превышает 0,06 с.

На основании изложенного выше можно сделать следующие выводы:

1. Применение адаптивного алгоритма синхронизации по фазе в СПЧ, включаемых на параллельную работу, позволяет стабилизаторам подстраиваться под фазу выходного напряжения без внешних связей по цепям управления. При этом полная подстройка фазы напряжения происходит за время, не превышающее 0,2 с.

2. Регулирование напряжения по модулю выходного напряжения позволяет точно стабилизировать его на заданном уровне.

3. Предложенное техническое решение позволяет иметь независимое включение преобразователей на параллельную работу, при времени подготовки не более 0,5 с.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абдулин А.А. Поляков Н.А. Синтез системы фазовой автоподстройки частоты для трехфазного активного выпрямителя напряжения // Изв. высших учебных заведений. – Приборостроение. – 2016.
2. Климов В.П. Организация параллельной работы источников питания переменного тока // Силовая электроника. – 2008. – № 2.
3. Овчинников Д.А., Мелешин В.И. Управление транзисторными преобразователями электроэнергии. – М.: Техносфера, 2011.
4. Powerware Plus Parallel Redundant System – Hot Sync. – www.power.ru. ■

В течение двух последних десятилетий климатические изменения в Арктике стали наиболее заметны в связи с существенным увеличением температуры воздуха и сокращении площади и толщины арктических льдов. Научная активность в области исследования Северного Ледовитого океана стала нарастать. Вначале были отдельные рейсы судов и ледоколов (рис. 1), редкие авиационные экспедиции. Теперь существует много программ исследования океанографических процессов в условиях быстроменяющихся природных условий. В соответствии с Постановлением Правительства РФ № 366 от 21 апреля 2014 г. утверждена государственная программа РФ «Социально-экономическое развитие Арктической зоны Российской Федерации на период до 2020 года», модернизируется и развивается инфраструктура арктической транспортной системы и рыбохозяйственного комплекса в Арктической зоне РФ, развиваются наука и технологии. Одновременно с этим возрастают риски влияния гидрометеорологических условий на исследовательскую и добычающую деятельность. Лед постоянно перемещается, оказывая динамическое воздействие на суда, гидротехнические сооружения и конструкции.

Ледостав и ледоход сопровождаются образованием торосов и заторов. В этой связи безусловным фактором, снижающим риски, является развитие системы разведки ледовой обстановки.

По спутниковым снимкам среднего и высокого разрешения можно определить возрастные градации льда в светлое время суток при отсутствии облачности, при этом размеры однородных участков ледяного покрова должны быть значительно больше размеров элементарных площадок изображения. Точность определения возрастных градаций льда во многом зависит от субъективной оценки получаемых изображений экспертом-дешифровщиком.

Радиолокационное зондирование со спутников осуществляется путем измерения мощности энергии отраженного радиолокационного сигнала. При локации ледяного покрова эффективная площадь рассеяния радиолокационного сигнала определяется комплексной диэлектрической проницаемостью льда, рельефом его поверхности и его влажностью, а также длиной волны и поляризацией излучаемого и принимаемого сигналов. Практика использования спутниковых РЛС показывает, что по радиолокационным снимкам малого разрешения, получаемым при длине волны 3,15 см, можно определить возрастную градацию трех типов льдов: молодых, однолетних и старых. Радиолокационные изображения высокого разрешения,

ПРОРАБОТКА РЕШЕНИЙ КОМПЛЕКСА РАЗВЕДКИ ЛЕДОВОЙ ОБСТАНОВКИ

*Д.А. Кондратьев, инженер научно-исследовательской лаборатории,
А.Г. Юрескул, начальник научно-испытательного центра,
В.В. Каманин, канд. техн. наук,
гл. специалист научно-испытательного центра,
Ю.Ф. Подопрёкин, д-р техн. наук, проф., академик РАН,
заслуженный деятель науки РФ, первый зам. ген. директора,
АО «Концерн «Гранит-Электрон»,
контакт. тел. +7 (911) 951 9334, (812) 271 6774*

получаемые радаром с синтезированной апертурой, содержат значительно больший объем информации о ледяном покрове. Однако экспериментальные исследования показали, что при разрешении более 100 м существенного улучшения информационных параметров радиолокационных изображений, необходимых для возрастных градаций льдов, не происходит. До последнего времени интерпретация изображений морского льда ведется, как правило, полуэмпирическими методами.

В настоящее время существует ряд методов и практических технологий, позволяющих по данным дистанционного зондирования Земли оценивать в различных диапазонах длин волн электромагнитного спектра частот возрастные градации ледяного покрова, связанные с интервалами его толщины, т.е. конкретно установить толщину льда. Выделяют следующие возрастные градации: начальные (< 10 см); серые (10–15 см); серо-белые (15–30 см); однолетние тонкие (30–70 см); однолетние средней толщины (70–120 см), однолетние толстые (120–250 см); старые льды (> 250 см), толщина снега на льду, как правило, определяется только непосредственными измерениями в отдельных точках Северного Ледовитого океана.

Несмотря на возможность комплексного использования данных различных приборов спутникового наблюдения, результаты разведки ледовой обстановки должны сочетаться с натурными калибровочными и контрольными наблюдениями.



Рис. 1. Общий вид движения судов во льдах

Для определения задач комплекса разведки ледовой обстановки и уточнения требований к системе мониторинга водных биоресурсов в АО «Концерн «Гранит-Электрон» проведены экспериментальные исследования водной и прибрежной поверхности, а также выполнен анализ объектов водных биоресурсов, мониторинг которых можно проводить с использованием БПЛА [1]. В ходе исследований в качестве аппаратуры мониторинга использовались оптические средства в видимом и ИК диапазонах спектра. Оптическими методами возможно выделение неоднородности морского льда, нахождение разломов трещин, торосов, путем графической обработки полученных цифровых изображений.

Наряду с известной моделью представления изображения RGB применяется и модель HSV, в которой байты в каждом из каналов представляют цветовой оттенок (Hue), насыщенность (Saturation) и значение (Value) соответственно. Для перехода от модели RGB к HSV система Matlab включает функцию `rgb2hsv`. На рис. 2 приведен пример содержимого канала цветовой оттенок H для одного из снимков. Ложные цвета соответствуют нормированным значениям оттенка от 0 до 1. Заметен резкий контраст между кронами хвойных деревьев (значения оттенка порядка 0,1–0,3) и подстилающей поверхностью (снегом и голой почвой, значения от 0,6 и выше). Крайне высокие значения соответствуют голым кронам лиственных деревьев. Выделяются

также неоднородности ледового покрова вблизи берега, с удалением к краю кадра цветовой оттенок льда становится однороднее и слабо отражает его реальное состояние. Вдоль всей линии берега, начиная от левого края кадра, проходит цепочка следов, заметная за счет чередующихся значений оттенка.

Для наглядности можно представить частотное распределение значений оттенка в виде гистограммы. Для этого разделим изображение по столбцам, как это было сделано выше, и в каждом столбце найдем моду, т. е. наиболее часто встречающееся значение оттенка. Результирующий массив в виде гистограммы приведен на рис. 3. Как видно, подавляющее большинство значений оттенка в кадре лежит в пределах $0 \dots 0,2$. Для указанной нормировки это соответствует оттенкам зеленого.

Вернемся к проблеме выделения неоднородностей на поверхности льда. На рис. 4 приведен фрагмент кадра, изображающий структуру льда с неоднородностями.

Сравнение нескольких различных методов показало, что удобнее всего выделить структуру неоднородностей в канале насыщенности S модели HSV. На рис. 5 показан фрагмент, представленный на рис. 4, в зеркальном отражении по вертикали. Изображение на рис. 5 представляет собой контурный график значений канала S. Зернистая структура, занимающая большую часть фрагмента, соответствует льду с неоднородностями и поверхностными неровностями. Белые области, свободные от штриховки, соответствуют тонкому неоднородному льду на границе двух соприкасающихся льдин.

Описанные методы достаточно информативны, однако не обладают нужной достоверностью.

С точки зрения георадиолокации, лед является высокоскоростной средой с низкими поглощающими свойствами. Диэлектрическая проницаемость пресного льда на частотах порядка $10^6 - 10^8$ Гц равна 3,15, скорость распространения электромагнитной волны внутри льда 17,3 см/нс (18,1 см/нс.) [2]. Возникает необходимость постоянного контроля ледовой обстановки, а также постоянных измерений толщины льда, отслеживание трещиноватых зон и прочих дефектов. Для повышения производительности работ следует выбрать антенный блок, рабочий диапазон глубин которого удовлетворяет имеющимся условиям. Определяющими параметрами для выбора блока является максимальная глубина проникновения в условиях льда, отражение от нижней границы которого может быть зарегистрировано антенным

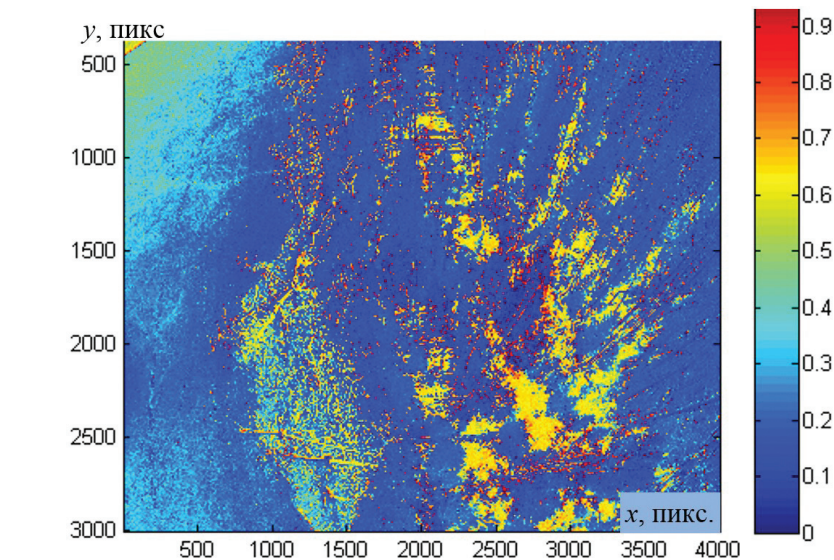


Рис. 2. Канал цветового оттенка для одного из кадров

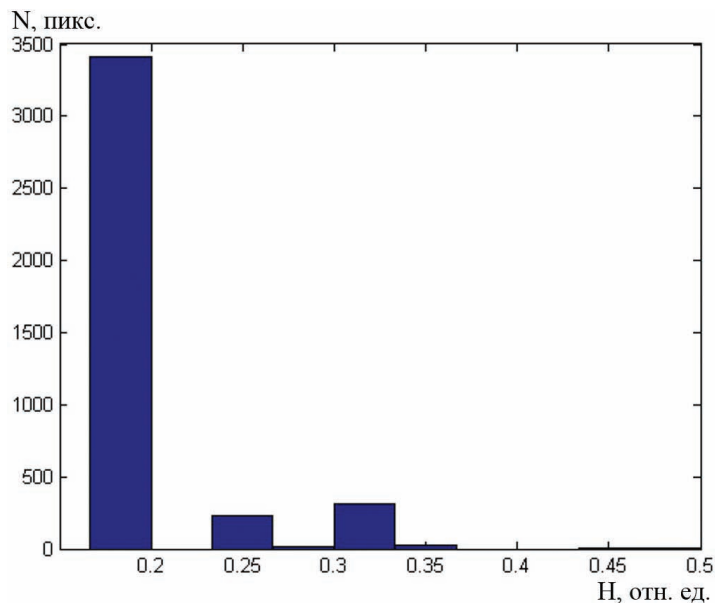


Рис. 3. Частотное распределение значений цветового оттенка

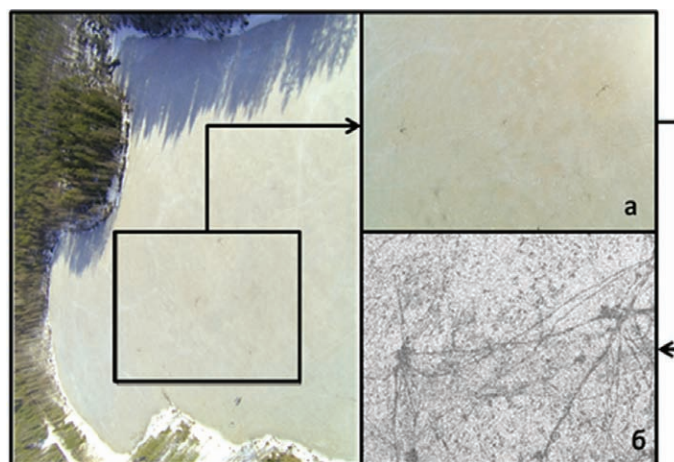


Рис. 4. Фрагмент кадра с неоднородностями ледяного покрова: а – исходный; б – обработанный

блоком [3]. Георадиолокация позволяет вести контроль над толщиной льда как в период ледостава, так и в период паводка. Целесообразно проводить дистанционные георадиолокационные исследования с использованием

БПЛА. Метод георадиолокации льда позволяет вести мониторинговые исследования, выявлять и локализовать неоднородности внутри ледяного массива, а также определять толщину льда с высокой точностью.

Радиолокационное зондирование широко используется для решения задач поверхностного картирования с целью определения толщины ледяного покрова, оконтуривание областей многолетней мерзлоты, таликов, по аналогии с оптическими методами [1,8]. Преимуществами данного метода при проведении ледовой разведки являются мобильность и возможность установки на БПЛА для съемки радиограмм на больших площадях. Ледовая разведка позволяет оценить безопасность ледовых переправ и прогнозировать вероятность образования заторов льда и определения глубины границ слоев с разными характеристиками.

Метод георадиолокации состоит в излучении электромагнитных импульсов в изучаемую среду и регистрации сигналов, отраженных от границ физически разнородных слоев и локальных неоднородностей. Отражающими границами в исследуемой среде являются контакты между снегом и льдом, между льдом и водой, между льдом и грунтом. Толщины слоев определяются по времени прохождения электромагнитной волны через них. Скорость прохождения электромагнитной волны в слое определяется диэлектрической проницаемостью слоя. Максимальный контраст диэлектрической проницаемости наблюдается между воздухом ($\epsilon = 1$) и водой ($\epsilon = 81$). Для пресного льда значение диэлектрической проницаемости практически постоянно для широкого диапазона частот и температур и равно 3,2. Для снега значение диэлектрической проницаемости определяется соотношением воздуха, льда и воды и составляет для сухого снега 1,5–2, а для мокрого может приближаться к значениям, характерным для воды. Получаемые данные интерпретируются с использованием обобщенной априорной слоистой модели. Основными слоями в такой модели в зависимости от места работ являются: снег, лед, и вода [4].

Работа радиолокационного прибора зондирования основана на использовании классических принципов радиолокации. Передающей антенной прибора излучаются сверхкороткие электромагнитные импульсы (единицы и доли наносекунды), имеющие 1,0–1,5 периода квазигармонического сигнала и достаточно широкий спектр излучения. Центральная частота сигнала определяется типом антенны. Выбор длительности импульса определяется необходимой глубиной зондирования и разрешающей способностью прибора. Для формирования зондирующих импульсов используется возбуждение широкополосной передающей антенны перепадом напряжения (ударный метод возбуждения). Излучаемый в исследуемую среду

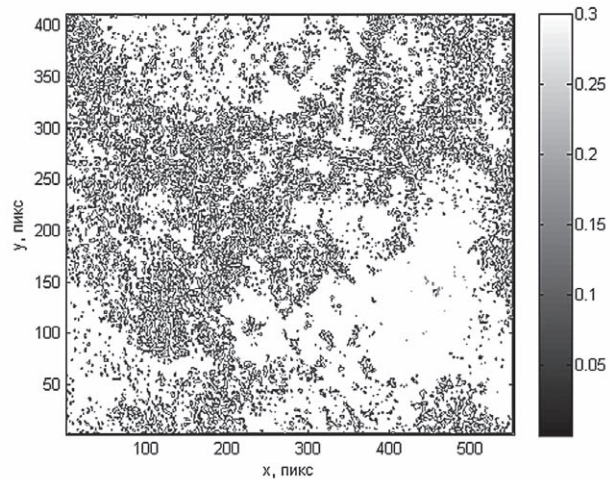


Рис. 5. Канал насыщенности для фрагмента рис. 4

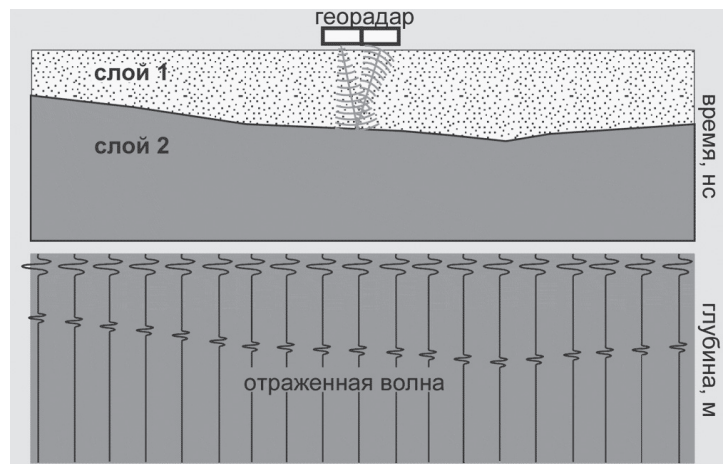


Рис. 6. Георадиолокационное зондирование

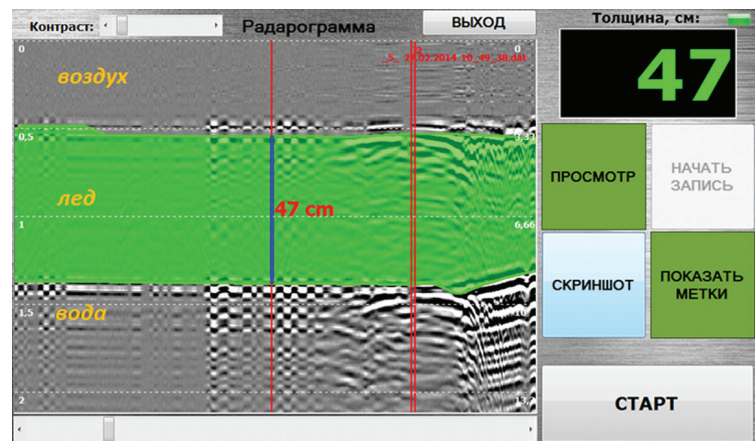


Рис. 7. Интерпретация данных в программном обеспечении «СКИ-ЛЕД», версия 3.0 георадара «Пикор-Лёд»

импульс отражается от находящихся в ней предметов или неоднородностей среды, имеющих отличную от среды диэлектрическую проницаемость или проводимость, принимается приемной антенной, усиливается в широкополосном усилителе, преобразуется в цифровой вид при помощи аналого-цифрового преобразователя и запоминается для последующей обработки. Задержка от-

раженных сигналов напрямую связана с глубиной залегания объектов и скоростью распространения волны в среде, зависящей от её диэлектрической проницаемости. Для получения радарограммы необходимо сделать запись отраженных сигналов, последовательно перемещаясь по поверхности исследуемой среды в непрерывном или поточечном режиме. После обработки полученная инфор-

мация отображается на индикаторе в виде волнового профиля (ряда равноотстоящих друг от друга осциллограмм) или в виде плотностного черно-белого профиля [5].

Интерпретация полученных георадиолокационных данных (радарограмм) обычно проводится в два этапа. *Первый этап* включает математическую обработку записей зондирования: усиление сигнала с глубиной, полосовая фильтрация – удаление низкочастотной составляющей записи, являющейся помехой, выделение полезных сигналов (оси синфазности, дифрагированные волны) на фоне помех и шума, выявление волн-помех для исключения/учета их при последующей интерпретации. На *втором этапе* интерпретации выделяются георадарные комплексы на радарограмме, которые соответствуют геологическим структурам различных слоев, определяются и классифицируются нарушения волновой картины радарограммы, возникающих как следствие влияния внешних факторов на среду (пустоты, объекты) [6,7].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Труднодоступность полярных районов осложняет использование традиционных контактных методов измерений, а в ряде случаев делает их невозможным. Стандартные океанографические средства наблюдения в этих районах не могут являться основой мониторинга. Влияние человеческого фактора в Арктике очень велико, ошибки при обеспечении гидрометеорологических прогнозов могут стоить жизни людей. Именно поэтому особое значение для мониторинга морского ледяного покрова в полярных районах приобретают дистанционные методы зондирования.

Спутниковое дистанционное зондирование – основа мониторинга окружающей среды в полярных областях, оно

обеспечивает оперативное получение объективной информации о состоянии ледяного покрова морей, но должно подкрепляться контрольными наблюдениями за состоянием ледовой обстановки.

Для эффективного выполнения задач ледовой разведки необходимо:

- уточнить состав задач, возлагаемых на комплекс разведки ледовой обстановки на базе БПЛА вертолетного типа в целях решения задач поиска, учета и рационального использования биоресурсов, контроля и управления промышленным рыболовством, разведки ледовой обстановки;
- разработать прикладные программы управления полетом БПЛА и обработки информации поступающих от БПЛА;
- отработать отдельные аппаратно-программные решения по составу и алгоритмам работы средств мониторинга, размещаемых на БПЛА;
- согласовать и организовать испытания с учетом действующей нормативной базы в части организации полетов.
- разработать принципы информационной поддержки капитанов судов и береговых служб оперативными данными, получаемыми от комплекса разведки ледовой обстановки и рыбных промыслов на базе БПЛА вертолетного типа для оптимизации маршрутов перехода, поиска рыбных скоплений, залежек морских млекопитающих и др., в соответствии с требованиями Российского морского регистра судоходства и международных конвенций;
- разработать технические предложения по организации внедрения комплекса разведки ледовой обстановки и рыбных промыслов на базе БПЛА вертолетного типа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кондратьев Д. А., Юрескул А. Г., Каманин В. В., Подоплёкин Ю. Ф. Гражданское применение беспилотных летательных аппаратов для решения задач мониторинга водных биоресурсов // Морской вестник. – 2017. – №3 (63). – С. 79–83.
2. Мельчиков В. П., Нерадовский Л. Г., Аргунов Е. П. О возможности использования георадара при проведении геофизических исследований в условиях севера. – Тр. IV Всеросс. конфер. «Радиолокация и радиосвязь» ИРЭ РАН, 2010.
3. Семейкин Н. П., Монахов В. В., Зверев Е. О., Еременко А. В. Георадиолокационные исследования пресных речных льдов. Измерение толщины льда. – Тр. Международ. науч.-практич. конфер. по георадиолокации «ГЕОРАДАР–2004», 2004.
4. Отчет о выполнении полевых опытно-методических работ с использованием прибора Пикор-Лёд 2М. – <http://uwbs.ru>
5. Палагушкин В. И., Худобердин И. Р. Применение сейсморазведочной станции на базе сейсмографа (geode) и георадара ОКО-2М в учебном процессе и научно-исследовательской деятельности // Научно-техн. сб./ Инженерно-строительный институт Сибирского федерального университета. – Красноярск, 2009.
6. Смирнов В. Г., Фролов И. Е., Бушуев А. В., Бычкова И. А., Григорьев А. В., Захваткина Н. Ю., Лоцилов В. С., Степанов В. В., Бобылев Л. П., Александров В. Ю. Возможности методов дистанционного зондирования как надежного источника получения оперативной объективной информации о состоянии ледяного покрова морей полярных областей. Океанография и морской лед. – М., 2011.
7. Зубакин Г. К., Гудошников Ю. П. Современные методы и технологии изучения морфометрических и динамических характеристик ледяного покрова, айсбергов и ледников. Океанография и морской лед. – М., 2011.
8. Кондратьев Д. А., Каманин В. В., Симановский И. В., Подоплёкин Ю. Ф. Морская многофункциональная система целеуказания и освещения обстановки на базе беспилотных летательных аппаратов вертолетного типа // Морская радиоэлектроника. – 2016. – №1 (55). – С. 21–28. ■

Аля обеспечения защиты корабля от минно-торпедного оружия и средств обнаружения, реагирующих на магнитное поле корабля, на нем предусматривается размещение размагничивающего устройства (РУ). В ВМФ РФ и ВМС иностранных государств в качестве РУ применяют системы автоматической компенсации магнитного поля корабля (САКМП). Основными элементами таких систем являются компенсационные обмотки, состоящие из последовательно соединенных секций, источники питания обмоток постоянным током и регулятор, осуществляющий управление токами. Вырабатываемые регулятором управляющие сигналы должны изменяться пропорционально изменению составляющих внешнего магнитного поля Земли (МПЗ) в координатах, связанных с кораблем. Обозначим эти составляющие H_{ix} , H_{iy} , Z_{iz} , соответственно в продольном, поперечном и вертикальном направлении относительно корабля.

В настоящее время определение составляющих H_{ix} , H_{iy} , Z_{iz} происходит при помощи нахождения магнитного склонения d_m , горизонтальной H и вертикальной Z составляющих МПЗ в месте нахождения корабля с учетом данных о его курсе $\kappa(t)$, крене $\theta(t)$ и дифференте $\psi(t)$ в данный момент времени:

$$\begin{aligned} H_{ix}(t) &= H \cdot \cos(\kappa(t) - d_m) \cdot \cos\psi(t) + Z \cdot \sin\psi(t); \\ H_{iy}(t) &= H \cdot \left\{ \begin{aligned} &\sin(\kappa(t) - d_m) \cdot \cos\theta(t) + \\ &+ \cos(\kappa(t) - d_m) \cdot \sin\psi(t) \cdot \sin\theta(t) \end{aligned} \right\} - \\ &\quad - Z \cdot \sin\theta(t) \cdot \cos\psi(t); \\ Z_{iz}(t) &= Z \cdot \cos\theta(t) \cdot \cos\psi(t) + \\ &\quad + H \cdot \left\{ \begin{aligned} &\sin(\kappa(t) - d_m) \cdot \sin\theta(t) + \\ &+ \cos(\kappa(t) - d_m) \cdot \sin\psi(t) \cdot \cos\theta(t) \end{aligned} \right\}. \end{aligned} \quad (1)$$

В свою очередь определение магнитного склонения d_m , горизонтальной H и вертикальной Z составляющих МПЗ в месте нахождения корабля выполняется следующим образом:

1. Значения параметров МПЗ (d_m , H и Z) вводятся в регулятор вручную оператором по результатам сопоставления места нахождения корабля (его широты $\varphi(t)$ и долготы $\lambda(t)$) с графическими картами (изодинамами) составляющих МПЗ.
2. Значения параметров МПЗ (d_m , H и Z) определяются регулятором автоматически при помощи разложения в ряд Гаусса по данным о широте $\varphi(t)$ и долготе $\lambda(t)$ местоположения корабля.
3. Значения параметров МПЗ (d_m , H и Z) определяются регулятором автоматически при помощи цифровых магнитных карт по данным о широте $\varphi(t)$ и долготе $\lambda(t)$ местоположения корабля.

К недостаткам данных способов определения параметров МПЗ следует отнести:

- по п. 1 – большую дискретность ввода данных, что требует постоянного участия оператора и регулярного обновления графических карт;
- по п. 2 – не учитываются магнитные аномалии и требуется регулярное обновление коэффициентов ряда Гаусса;
- по п. 3 – необходимо регулярно обновлять цифровые магнитные карты, которые охватывают в основном ограниченные акватории Мирового океана, а их создание – трудоемкий и дорогостоящий процесс.

Все эти недостатки приводят к значительному увеличению результирующего магнитного поля корабля в процессе эксплуатации.

Альтернативный источник информации о составляющих H_{ix} , H_{iy} , Z_{iz} , необходимых для работы регулятора РУ, – устанавливаемый на корабле трехкомпонентный магнитометри-

ЦИФРОВОЕ СОПРЯЖЕНИЕ РАЗМАГНИЧИВАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА КОРАБЛЯ С ИНДУКЦИОННЫМ МАГНИТНЫМ КОМПАСОМ

В.Я. Матисов, д-р техн. наук, проф.,

доцент ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия»,

А.Н. Петухов, вед. инженер-конструктор АО «ЦМКБ «Алмаз»,
контакт. тел. +7 (921) 946 2852, (812) 369 0473

ческий датчик, оси которого ориентированы вдоль главных осей корабля. Измеряемые датчиком величины – составляющие индукции МПЗ в системе координат корабля H_{ix} , H_{iy} , Z_{iz} – непосредственно используются регулятором РУ в законах регулирования. Однако высокоточным измерениям препятствует мощная помеха – магнитное поле самого корабля.

В новом тысячелетии на кораблях ВМФ, как известно, в качестве резервного источника курсоуказания начали применять индукционные магнитные компасы (ИМК), имеющие целый ряд преимуществ по сравнению со стрелочными магнитными компасами. Наличие в составе современных ИМК элементов цифровой вычислительной техники позволяет организовывать взаимодействие со смежными корабельными системами по цифровым магистралям обмена информацией. В частности, в работе авторов [1] обоснована необходимость создания цифровой магистрали между магнитным компасом и САКМП, по которой в компас передается информация о токах во всех секциях с целью обеспечения высокоточной компенсации электромагнитной девиации.

Цель настоящей статьи – исследование возможности использования ИМК в качестве источника информации для работы регулятора САКМП.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- выполнить анализ математического и алгоритмического обеспечения работы ИМК;
- определить объем информации, который может формировать ИМК в интересах работы регулятора САКМП;
- оценить погрешности данной информации.

Укрупненный алгоритм работы ИМК можно представить в виде четырех последовательных блоков [2]:

1. «Измерение»: входящими в состав ИМК средствами проводятся измерения: трех суммарных составляющих индукции, действующих вдоль осей корабля

$$B'_x = H_{ix} + \Delta X'; \quad B'_y = H_{iy} + \Delta Y'; \quad B'_z = Z_{iz} + \Delta Z', \quad (2)$$

где $\Delta X'$, $\Delta Y'$, $\Delta Z'$, – продольная, поперечная и вертикальная составляющие индукции результирующего магнитного поля корабля в месте нахождения магнитометрического датчика ИМК;

2. «Списание девиации»: вычитание составляющих индукции поля корабля из результатов измерений

$$H_{ix} = B'_x - \Delta X'; \quad H_{iy} = B'_y - \Delta Y'; \quad Z_{iz} = B'_z - \Delta Z', \quad (3)$$

3. «Приведение в горизонт»: вычисление на основе формул (1) и измеренных величин крена и дифферента значений

$$H_x = H \cos \kappa_m \text{ и } H_y = H \sin \kappa_m,$$

4. Расчет магнитного курса κ_m по формуле

$$\kappa_m = \arctg(H_x/H_y). \quad (4)$$

Таким образом, в блоке 2 алгоритма работы ИМК формируется полный объем информации, необходимый для работы регулятора САКМП. Рассмотрим этот блок более подробно.

Каждая из составляющих индукции результирующего магнитного поля корабля, входящая в (3), складывается из двух частей

Результаты эксперимента

Погрешность определения курса $\Delta\kappa_m$, град	Погрешность определения составляющей индукции ΔH_x , мкТл			
	$\theta=0^\circ; H_y=20$ мкТл; $Z_z=40$ мкТл	$\theta=0^\circ; H_y=20$ мкТл; $Z_z=20$ мкТл	$\theta=0^\circ; H_y=40$ мкТл; $Z_z=20$ мкТл	$\theta=8^\circ; H_y=40$ мкТл; $Z_z=20$ мкТл
1	2	3	4	5
± 1	0,41	0,40	0,71	0,71
± 2	0,72	0,81	1,42	1,42
± 3	1,12	1,11	2,10	2,10
± 4	1,53	1,42	2,83	2,83
± 5	1,82	1,81	3,52	3,52

$$\Delta X' = X_{ип} + X_{СК}; \Delta Y' = Y_{ип} + Y_{СК}; \Delta Z' = Z_{ип} + Z_{СК}, \quad (5)$$

где индексом «ИП» обозначены составляющие индукции исходного МП (поля «корабельного железа»), а индексом «СК» – составляющие индукции поля САКМП.

Предварительная подготовка к вычитанию этих двух частей из результатов измерений (5) проводится отличными друг от друга способами. Первая часть – составляющие индукции исходного МП корабля, а также их возможные курсовые и широтные изменения, определяются в полигоне девиации при выключенной САКМП, закладываются в ИМК и не изменяются до следующей девиации. Вторая часть – значения составляющих индукции поля САКМП, воздействующих на датчик ИМК, непрерывно рассчитываются при плавании по формулам

$$X_{СК} = \sum_{j=1}^N (x_{ij} \cdot i_j); Y_{СК} = \sum_{j=1}^N (y_{ij} \cdot i_j); Z_{СК} = \sum_{j=1}^N (z_{ij} \cdot i_j), \quad (6)$$

где N – общее количество секций в САКМП; i_j – сила тока в j -й секции (непрерывно передается в ИМК от регулятора РУ по цифровой магистрали); x_{ij}, y_{ij}, z_{ij} – продольная, поперечная и вертикальная составляющие индукции поля j -й секции в месте нахождения датчика ИМК при силе тока секции 1 А (определяются при совместной настройке ИМК и САКМП).

Из (3), (5) и (6) следует, что составляющие индукции H_{ix}, H_{iy}, Z_{iz} определяются в блоке 2 алгоритма ИМК с погрешностью, включающей три части: погрешность измерений составляющих B'_x, B'_y, B'_z магнитометром ИМК, погрешности определения составляющих индукции исходного МП корабля и поля САКМП. Первую и третью части погрешности можно определить путем расчета; вторая часть зависит от ряда факторов, влияние которых строго математически до настоящего времени описать не удалось. В связи с этим погрешность определения составляющих индукции H_{ix}, H_{iy}, Z_{iz} целесообразно оценить экспериментально.

При планировании эксперимента учитывались следующие обстоятельства:

1) если крен и дифферент отсутствуют и корабль находится на одном из главных магнитных курсов, то справедливы соотношения:

$$\text{при } \kappa_m = 0^\circ, 90^\circ, 180^\circ, 270^\circ Z_{iz} = Z;$$

$$\text{при } \kappa_m = 0^\circ, 180^\circ H_{ix} = |H|;$$

$$\text{при } \kappa_m = 90^\circ, 270^\circ H_{iy} = |H|;$$

2) наибольшее влияние на точность показаний ИМК оказывает горизонтальная составляющая индукции МПЗ [2];

3) в соответствии с действующими руководящими документами в процессе эксплуатации корабля точность показаний курса магнитным компасом должна находиться в пределах $\pm 3^\circ$ [3].

С учетом данных обстоятельств были экспериментально найдены границы погрешности определения составляющей индукции при условии, что погрешность определения компасом магнитного курса не выходит за заданные пределы. Эксперимент проводился в ноябре 2015 г. в магнитной лаборатории ОАО «Элара» (г. Чебоксары), производящего индукционный магнитный компас ДС-83К. Магнитометрический датчик данного компаса был установлен в трехкомпонентную меру магнитной индукции [4] и штатно подсоединен к компасу. Мера позволяла изменять индукцию воздействующего на

датчик МПЗ, при этом продольная составляющая индукции H_x первоначально задавалась равной нулю, что соответствует магнитному курсу $\kappa_m = 90^\circ$. Поперечная H_y и вертикальная Z_z составляющие индукции задавались в виде трех сочетаний величин, что соответствует трем разным районам плавания; дополнительно при третьем сочетании датчик был наклонен на угол $\theta = 8^\circ$ (табл. 1). При всех четырех сочетаниях исходных данных компас показывал курс $\kappa_m = 90^\circ$.

Затем при каждом сочетании исходных данных составляющая H_x первоначально равная нулю, последовательно увеличивалась с шагом 0,01 мкТл. Так имитировалась погрешность определения этой составляющей в реальных условиях. При каждом шаге фиксировался курс, показываемый компасом. Когда отклонение курса от значения 90° (погрешность определения курса $\Delta\kappa_m$) становилась кратным 1° , величина $\Delta\kappa_m$ и вызвавшая ее погрешность определения составляющей индукции ΔH_x заносились в соответствующие ячейки табл. 1.

На основании результатов эксперимента, представленных в табл. 1, можно утверждать следующее:

1. При погрешности определения магнитного курса в пределах $\pm 3^\circ$ индукционный магнитный компас способен выдавать информацию о составляющих индукции магнитного поля Земли в системе координат корабля с погрешностью не более 2 мкТл.

2. Статический крен не оказывает заметного влияния на погрешность определения курса магнитным компасом $\Delta\kappa_m$.

3. Изменение величины составляющей индукции МПЗ, действующей вдоль вертикальной оси корабля Z_z , слабо влияет на погрешность определения курса магнитным компасом $\Delta\kappa_m$.

4. Изменение величины горизонтальной составляющей индукции МПЗ оказывает значительное влияние на погрешность определения курса магнитным компасом $\Delta\kappa_m$, что хорошо согласуется с выводами, представленными в [2].

Таким образом, в результате выполненных теоретических и экспериментальных исследований получены следующие основные результаты:

1. Впервые показана возможность регулирования токов в САКМП на основе информации от индукционного магнитного компаса.

2. Для практического осуществления такого взаимодействия необходима организация цифровой магистрали передачи данных от ИМК в регулятор САКМП.

3. Использование в основном (автоматическом) режиме требует существенного снижения погрешности исходной информации. Поиск путей снижения погрешности является перспективным направлением исследований в данной предметной области.

ЛИТЕРАТУРА

1. Матисов В.Я., Петухов А.Н. Компенсация влияния размагничивающего устройства с посекционным питанием обмоток на магнитный компас корабля. – Тр. межотраслевой науч.-практ. конф. «ВОКОР-2014». – СПб.: Изд-во НИИ К и В ВМФ ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия», с. 145–152.
2. Воронов В.В., Григорьев Н.Н., Яловенко А.В. Магнитные компасы. Теория. Конструкция. Девиационные работы. – СПб.: Элмор. – 2004. – 312 с.
3. Правила штурманской службы ВМФ №30. – СПб.: ГУНИО МО РФ. – 1997. – 112 с.
4. Установка ММИ-2Р. Руководство по эксплуатации АСИР685442.005РЭ. – Чебоксары: ОАО «Элара». – 2011. – 34 с. ■

А динамика судов активного ледового плавания в сложных условиях взаимодействия реализуется на базе эффективного математического аппарата, разработанного на основе принципов обработки информации в мультипроцессорной вычислительной среде [1 – 13]. Динамическая модель преобразования информации основана на конкурирующих вычислительных технологиях, использующих классическую теорию управления, нечеткую логику и искусственные нейронные сети (ИНС).

Понятие «активная динамическая система» (АДС) применительно к контролю судов активного ледового плавания связано с реализацией принципов многорежимного управления и распределением функций и стратегий функционирования активных элементов (программных модулей) вычислительного комплекса, обеспечивающих информационные и управляющие связи экстренных вычислений в сложной ледовой обстановке.

Основная роль в интеграции новых подходов и управленческих решений при контроле динамики судов активного ледового плавания принадлежит методам моделирования на основе концепции «мягких вычислений» и достижений интеллектуальных технологий. Принцип сложности, реализуемый при построении и интерпретации моделей поведения и управления, приводит к необходимости пересмотра традиционных подходов к выбору решений по управлению судном как активному динамическому объекту. Особенно важно это в условиях неопределенности и неполноты исходной информации, определяющих трудности принятия управленческих решений. Наибольшую сложность представляют критические режимы взаимодействия, когда принимаемые решения должны учитывать острый дефицит времени, имеющиеся в распоряжении оператора системы управления.

Разработка программного комплекса экстренных вычислений АДС осуществляется на основе достижений в области искусственного интеллекта (ИИ) в соединении с современным математическим аппаратом и средствами высокопроизводительных вычислений. Теоретический фундамент этой интеграции служит мощным средством обработки и формализации информации. Он не заменяет прежние методы, а дополняет их новыми подходами и моделями, способствуя получению новых знаний о динамике взаимодействия судна в сложных ледовых образованиях. При этом реализуется цепочка преобразования информации, связывающая анализ исследуемых ситуаций с синтезом управляющих воздействий на основе формальных моделей теории динамических систем и интеллектуальных технологий.

1. Концептуальные основы и принципы формирования управленческих решений.

Концептуальная модель преобразования информации при функционировании программного комплекса бортовой ИС контроля динамики судна в ледовом поле (рис. 1) имеет вид [5]

$$S = \langle F : \{T \times X \times Q\} \rightarrow Y \rangle, \quad (1)$$

где S – множество стратегий управления и принятия решений; F – множество элементов, реализующих принцип конкуренции; X – множество элементов оперативной базы данных; T – множество рассматриваемых моментов времени при интерпретации проектных решений; Q – множество всех значений вектора входных воздействий; $A = T \times X \times Q$ – множество закономерностей в данных; Y – множество правил обобщения информации.

Основная роль в реализации концептуальной модели (1) состоит в интеграции новых подходов и технических решений на базе программного комплекса бортовой ИС, функционирующей как АДС, обеспечивающая контроль взаимодействия судна с ледовыми образованиями в режиме реального времени. Ядром АДС является интегрированный комплекс

ПРОБЛЕМЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДИНАМИКИ СУДОВ АКТИВНОГО ЛЕДОВОГО ПЛАВАНИЯ

Ю.И. Нечаев, д-р техн. наук, проф. СПбГМТУ, контакт. тел. (812) 369 6337

ИС нового поколения. Организованная по принципу многорежимного управления, бортовая ИС использует достижения интеллектуальных технологий и высокопроизводительной обработки информации. Принципы формализации информации, реализуемые в ИС, приводят к необходимости пересмотра традиционных подходов к выбору и принятию управленческих решений.



Рис. 1. Программный комплекс контроля динамики судна в ледовых условиях

Рассмотрим определения и утверждения, определяющие формальную модель функционирования бортовой ИС контроля динамики взаимодействия как АДС [106] управления процессом обработки информации на основе динамической теории катастроф [91]:

О п р е д е л е н и е 1. Программный комплекс бортовой ИС как АДС представляет собой совокупность взаимодействующих объектов (программных модулей), обеспечивающих информационные и управляющие связи экстренных вычислений, включая отношения подчиненности и распределение условий поддержки управленческих решений при функционировании в сложной динамической среде.

О п р е д е л е н и е 2. АДС как интегрированный программный комплекс ИС состоит из управляющего центра на верхнем уровне и активных элементов, поддерживающих процедуры обработки информации при реализации стратегии экстренных вычислений в заданном временном интервале – на нижнем уровне.

О п р е д е л е н и е 3. Стратегии функционирования ИС как АДС реализуются с учетом предпочтений активных элементов в зависимости от общего состояния программного комплекса на данном этапе эволюции и управляющих воздействий. Допустимые множества состояний АДС формируются в зависимости от среды взаимодействия и используемых интеллектуальных и вычислительных технологий.

У т в е р ж д е н и е 1. При формировании стратегий поддержки управленческих решений в АДС используется механизм информирования и информационного обеспечения активных элементов о результатах выполнения процедур обработки информации по идентификации текущей ситуации, генерации альтернатив и выбору предпочтительной технологии обработки данных.

Утверждение 2. Механизм функционирования АДС определяется целевой функцией, допустимыми множествами решений, интервалом реализации, периодами функционирования в зависимости от стратегий интерпретации и управления при движении судна в ледовом поле как контролируемого объекта в процессе эволюции.

Утверждение 3. Механизм управления АДС формируется в виде совокупности стратегий принятия управленческих решений при заданной структуре активных элементов, информационном и алгоритмическом обеспечении экстренных вычислений в динамической модели катастроф и особенностей текущей ситуации.

На основе приведенных определений и утверждений можно представить модель функционирования ИС контроля динамики судна в ледовом поле как АДС с помощью переменной $y \in A$ из допустимого множества функциональных элементов A . Состояние АДС в рассматриваемый момент времени t зависит от управляющих воздействий $u \in U$. На множестве $U \times A$ задан функционал $\Phi(u)$, определяющий эффективность функционирования АДС. Задача управления заключается в выборе такого допустимого управления, которое при известной реакции системы максимизирует значение эффективности $\Phi(u) \rightarrow \max(u \in U)$. (2)

В бортовой ИС как АДС управляемые элементы обладают свойством активности (свободы выбора состояния) и стремятся к выбору наилучших состояний (стратегий) при заданных или прогнозируемых значениях управляющих воздействий.

Модель АДС задается следующими характеристиками:

$$ADS = \langle s \in S, Str(I, U), G(Str, Dec); \\ Int(F), P(F, E), C(S), I(Dec), U(Dec) \rangle, \quad (3)$$

где $s \in S$ – элементы системы; $Str(I, U)$ – структура системы в виде совокупности информационных и управляющих связей; $G(Str, Dec)$ – порядок функционирования (генерация стратегий и выбор решения), $Int(F)$ – интервал функционирования; $P(FE)$ – предпостыжения функциональных элементов системы; $C(S)$ – допустимого множества состояний; $I(Dec)$ – информация на момент принятия решения; $U(Dec)$ – механизмы управления и совокупность правил принятия управленческих решений на основе динамической теории катастроф.

2. Многорежимное управление и условия реализуемости генерируемых решений.

Взаимодействие судна с ледовым полем рассматривается на основе концепции многорежимной динамической системы. Управление движением судна в сложных ледовых образованиях осуществляется ансамблем нейроконтроллеров [8]. Ансамбль содержит два вида нейроконтроллеров, каждый из которых имеет свою область специализации $AS_i (i=1,2,3)$. Первый вид представляет собой нейроконтроллеры NC_i , формирующие управляющий сигнал. Функция второго вида нейроконтроллера ($NC-0$) состоит в выработке номера $i (1 \leq i \leq 3)$ для каждого текущего значения $\lambda \in \Lambda$ в соответствии с зависимостями $F(\lambda)$. Этот номер указывает, какой из нейроконтроллеров NC_i должен осуществлять управление при данном $\lambda \in \Lambda$. Переход от одного нейроконтроллера к другому устанавливаются с помощью распределяющей функции $F(\lambda)$.

Принцип многорежимности обеспечивает возможность настройки системы управления на различные режимы движения судна во льдах: обычный режим, связанный с преодолением сплошного ледового поля; режим движения «набегами» в сложных ледовых условиях; режим движения в битом льду при различной сплоченности льда; режим движения в дрейфующих льдах при значительных ударных нагрузках. При реализации принципа многорежимности использовалось представление ситуации в виде вектора $X(k, t)$, определяющего динамику судна в текущий момент времени и условие ее реализуемости в виде ограниченности траекторий [5]:

$$\|F(k)\| = \max X(k, t), (t=0,1,2,...). \quad (4)$$

При построении моделей взаимодействия судна с ледовыми образованиями при различных режимах движения, определяемых классами $k=1,2,3,4$ справедливы неравенства

$$X_{jmax} \geq X_{jk}^t \geq X_{jk}^{t+1}, \\ (j=1,...,m; k=1,2,3; t=0,1,2,...), \quad (5)$$

где X_{jmax} – вектор, определяющий предельно допустимые значения параметров в j -м состоянии.

Из условия реализуемости (4) можно записать условие

$$Str(X, t) \rightarrow \Omega(Stab), t \in [t_1, t_k], \quad (6)$$

где символ импликации означает, что судно как АДС сохраняет безопасность при движении к целевому аттрактору $\Omega(Stab)$, определяющему предельно стабильное состояние системы взаимодействием [3].

Нечеткая формальная система (НФС) (Additive fuzzy Systems – AFS) реализуется на основе данных динамических измерений [2]:

$$F(x_1, \dots, x_n) = \frac{\sum_{j=1}^m \alpha_j(x_1, \dots, x_n) c_j}{\sum_{j=1}^m \alpha_j(x_1, \dots, x_n)}, \quad (7)$$

где $F(x_1, \dots, x_n)$ – вывод нечеткой системы с x_1, \dots, x_n входными переменными; m – количество правил вывода нечеткой системы; $\alpha_j(x_1, \dots, x_n)$ – оператор конъюнкции в j -м правиле вывода; c_j – значение выходной координаты, соответствующее j -му правилу вывода.

Расширение функциональных возможностей НФС достигается путем использования логического вывода по прецеденту. Механизм такого вывода реализуется при возникновении нестандартных ситуаций и определяется надежностью априорной информации, накопленной в процессе эксплуатации.

Анализ и прогноз динамики судна в ледовых условиях осуществляются на основе данных динамических измерений в виде дискретной последовательности сигналов. Временной ряд, характеризующий универсальную модель взаимодействия с «быстрой» и «медленной» динамикой, представлен на рис. 2.

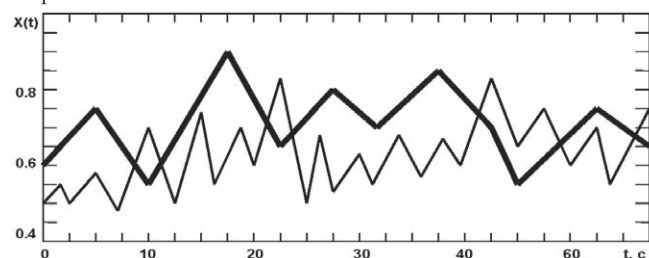


Рис. 2. Временной ряд, описывающий поведение модели взаимодействия судна с ледовыми образованиями при различном характере внешних возмущений

При формировании временных рядов учитывалась реальная картина взаимодействия, зарегистрированная в процессе натурных испытаний динамики судна в ледовом поле, а также моделируемый сценарий ударных импульсов (рис. 3).

Совершенствование системы контроля динамики судна при движении в ледовом поле осуществлено на основе реализации информационной технологии. Суть ее состоит в том, что помимо датчика расстояния, установленного на верхней палубе судна, используется видеокамера, установленная совместно с этим датчиком. Такая измерительная технология позволяет реализовать трехмерную сегментацию ледовых образований на сложной динамической сцене с использованием трехмерного видеосенсора окружающего пространства установленного на судне при движении в ледовом поле со сложным рельефом.

Предварительная обработка информации состоит в статистическом анализе данных для прогнозирования. С использованием методов фильтрации исключались случайные

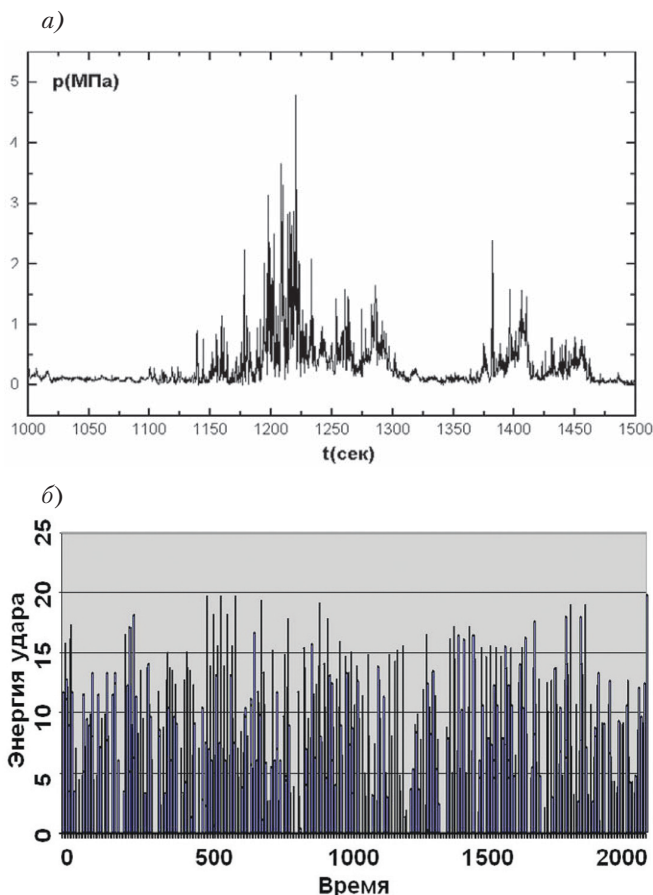


Рис. 3. Пример записи сигналов от датчиков в зоне контакта (а) и сценарий ударных импульсов (б)

величины, искажающие реальное состояние моделируемой системы, определялась важность регрессоров, включаемых в обучающее множество ИНС.

Нейропрогноз, основанный на использовании временных рядов в задачах моделирования динамики судов активного ледового плавания, связан с понятием неравномерного вложения, которое определяется как следующее обобщение отображения запаздывающих координат [5]:

$$X_{i+tm-1} = F(x_i, x_{i+\tau_1}, x_{i+\tau_2}, \dots, x_{i+tm-2}). \quad (8)$$

В случае, когда F – линейная функция, это приводит к неоднородной авторегрессионной схеме. Для нахождения дополнительных параметров (лагов) необходим отдельный функционал, который можно рассматривать как «регуляризатор» [7] в задаче восстановления модели по результатам наблюдений [2, 5]. Выбор «регуляризатора» основан на принципе Минимальной Длины Описания (Minimal Description Length – MDL) [1], с помощью которого формализуется известный принцип «бритьи Оккама» [9]. Более сложная модель или гипотеза H может лучше описать данные, но требует для своего собственного описания программы большей длины. Если же H описывает все данные абсолютно точно, то второе слагаемое вообще отсутствует. С другой стороны, если H – тривиальная гипотеза, тогда данные описываются буквально и какое-либо обобщение (сжатие) отсутствует. Суть принципа состоит в разумном компромиссе между этими крайностями.

3. Представление исходных данных и интерпретация результатов моделирования.

При моделировании динамики судна в ледовом поле в основе концепции мягких вычислений основное внимание обращается на исследование двух взаимосвязанных задач – оценку текущей безопасной скорости судна $V_b = V_b(t)$ и стабилизации истинной скорости в окрестности ее текущего безопасного движения V_b .

Рассмотрим функцию $V_b = \varphi(H)$, определяющую текущую толщину ледового поля H , м. В окрестности номинального среднего значения толщины H_s эта функция может быть представлена в виде разложения [5]

$$\begin{aligned} V_b &= \varphi(H) = \varphi(H_s + h) = \\ &= \varphi(H_s) + \varphi'(H_s)h + o(h), \end{aligned} \quad (9)$$

где $o(h)$ – величины более высокого порядка малости, чем малое отклонение h от средней номинальной толщины льда.

Текущую безопасную скорость представим как линейную функцию отклонения h и запишем выражения для номинальной скорости судна V_n (скорости судна в свободной воде) и квадратической функции:

$$\begin{aligned} V_b &= V_b(t) = V_s - ch, \quad V_s = \varphi(H_s), \\ c &= -\varphi'(H_s), \quad \varphi(H) = V_n - \alpha_1 H - \alpha_2 H^2; \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} \varphi(H) &= V_n - \alpha_1 H - \alpha_2 H^2, \\ V_s &= V_n - \alpha_1 H_s - \alpha_2 H_s^2, \quad c = \alpha_1 + 2\alpha_2 H_s. \end{aligned} \quad (11)$$

Рассматриваемая задача оценки безопасной скорости V_b состоит в оценке отклонения h в функции приращения дальности x . В соответствии с представлением $h = H_s + h$ для толщины льда, расположенного непосредственно по курсу судна, выделим в горизонтальной координате L этого льда составляющую текущего положения судна L_s и относительную дальность до зондируемой точки x : $L = L_s + x$, где координата L_s фиксирована, а x отсчитывается от нее вдоль курса судна и $\dot{x} = V$. Задача состоит в оценке величины x и построении регрессионной модели $h = l_1 x$, где l_1 – интенсивность изменения толщины ледового покрова вдоль курса судна. По показаниям датчика, установленного в носовой части судна и сканирующего набегающее при движении в ледовое поле, следует оценить коэффициент l_1 . В общем случае такой подход позволяет осуществить кусочно-линейную аппроксимацию набегающего ледового поля.

Поскольку целью управления является стабилизация скорости V в окрестности заданной V_b , введем в качестве выхода переменную отклонения $y = V_b - V$. Дифференцируя это равенство с учетом (10), (11) и уравнения

$$\begin{aligned} m\dot{V} &= P - X_1, \quad \dot{V}_b = -c\dot{h} = -cl_1\dot{x} = \\ &= -cl_1V, \quad X_1/m = \gamma h = \gamma l_1 x; \\ \dot{y} &= cl_1 y + l_1(\gamma + c^2 l_1)x - P - cl_1 V_s; \\ \dot{x} &= V = V_s - cl_1 x - y; \\ a_1 &= cl_1, \quad a_2 = a_1 + \gamma/c, \quad \lambda = \gamma V_s/c; \\ X &= -a_1 x + V_s, \end{aligned} \quad (12)$$

в итоге получим следующую систему уравнений с начальными условиями

$$\begin{aligned} \dot{y} &= a_1 y - a_2 X - P + \beta, \quad \dot{X} = a_1 y - a_1 X, \quad \dot{\beta} = 0, \\ y(0) &= V_b - V_0, \quad X(0) = V_s, \quad \beta(0) = \lambda. \end{aligned} \quad (13)$$

Вектор состояния позволяет представить систему (13) в стандартном виде

$$\dot{\xi} = (y, X, \beta)^T, \quad \dot{\xi} = A\xi + Bu \quad (14)$$

и определить квадратический критерий, характеризующий точность стабилизации заданной скорости:

$$J = \int_0^{\infty} (Y^2 + u^2) dt. \quad (15)$$

В качестве иллюстрации на рис. 4–5 приведены осциллограммы мягкого режима стабилизации для безопасной и реальной скоростей судна, а также режимов управления и толщины льда.

4. Результаты моделирования на основе концепции «мягких вычислений».

При моделировании динамики судна в ледовом поле сложной конфигурации рассматривались случаи взаимо-

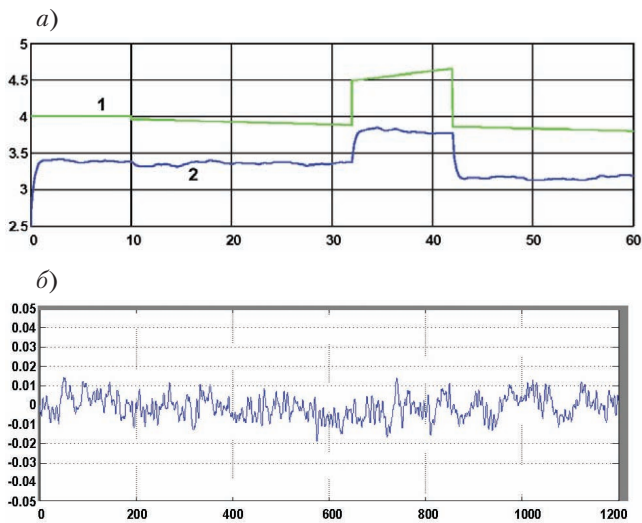


Рис. 4. Осциллограммы: а – безопасной (1) и реальной (2) скоростей судна (м/с), мягкий режим стабилизации; б – режим управления

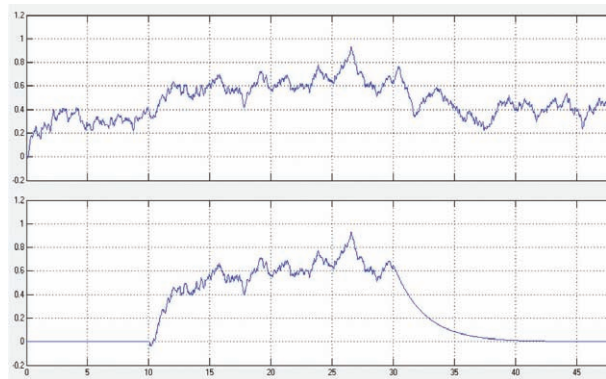


Рис. 5. Осциллограммы толщины льда при различной конфигурации ледовых образований

действия на основе нечеткого и нейронечеткого моделирования. Эксперименты выполнялись в рамках принципа конкуренции с имитацией сигналов в виде случайной последовательности изменения толщины льда на интервале взаимодействия. В начале работы системы вводятся начальная толщина льда и начальная скорость судна, а также интервал, через который генерируется новое значение толщины льда и сплоченности льда (от 1 до 10 баллов). В нижней части окна слева отображаются текущие данные, матрица управления и ИНС, а справа – графики изменения толщины льда, приращения толщины льда, а также средних скоростей, вычисленных по нечетким правилам, нейросетевой и математической модели (рис. 6 и рис. 7). Среди текущих данных отображаются средняя относительная и абсолютная скорости судна, а также толщина льда и ее изменение по сравнению с предыдущим значением. На матрице управления отображается действующее на текущем шаге логическое правило, определяющее скорость по толщине льда и ее изменению.

5. Прогноз динамики судна в условиях сложных ледовых образований.

Операции прогнозирования динамики судна в ледовых условиях выполняются с использованием векторного и ансамблевого прогноза. При векторном прогнозе временная последовательность отображается на вектор входных значений нейронной сети, каждый из выходов которой соответствует одному компоненту временного ряда. Ансамблевый прогноз связан с использованием ансамбля нейронных сетей, каждая из которых имеет один выход и обучается для прогнозирования одной компоненты временного ряда на заданное число шагов в будущее.

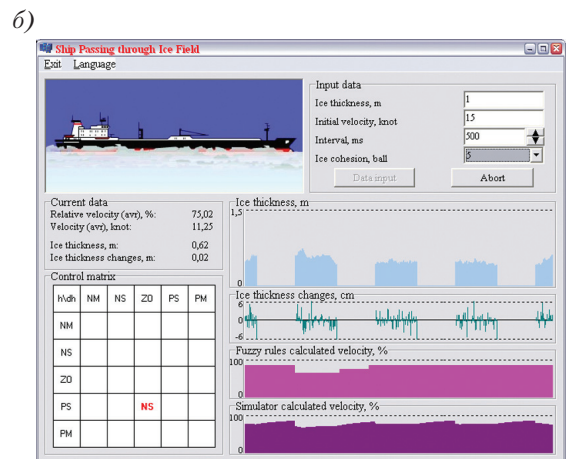
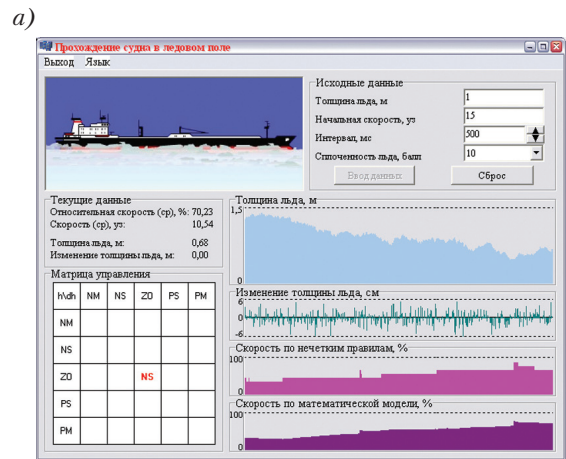


Рис. 6. Результаты нечеткого моделирования: а – сплошное ледовое поле, б – битый лед

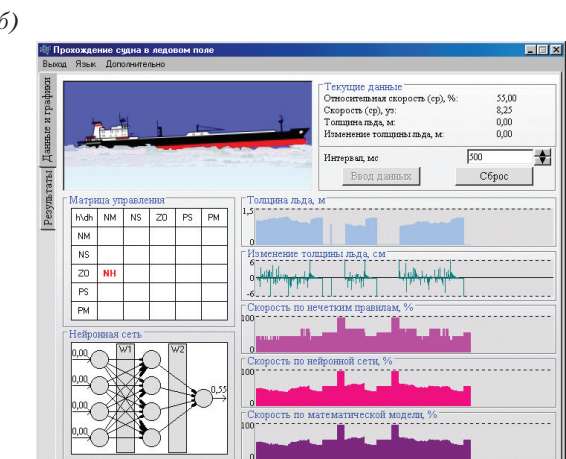
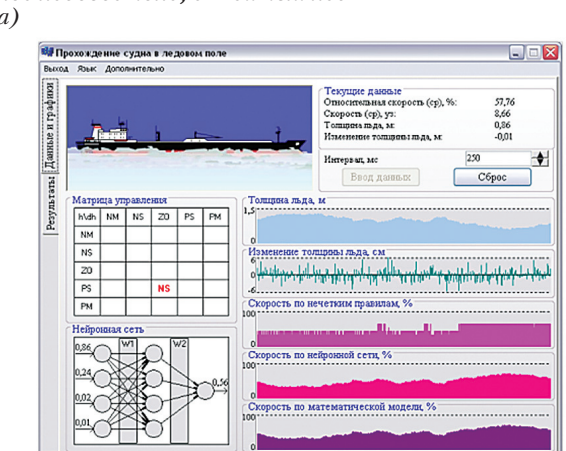


Рис. 7. Результаты нейронечеткого моделирования: а – сплошное ледовое поле, б – торосы

На рис. 8 приведены результаты прогноза смешанной динамики. Обучающая выборка насчитывала 230 точек, а результат прогноза 45 точек. Количество входных нейронов равно 80, количество выходных – 15, скрытый слой содержит 150 нейронов. Нижний график иллюстрирует изменение ошибки в зависимости от количества циклов обучения.

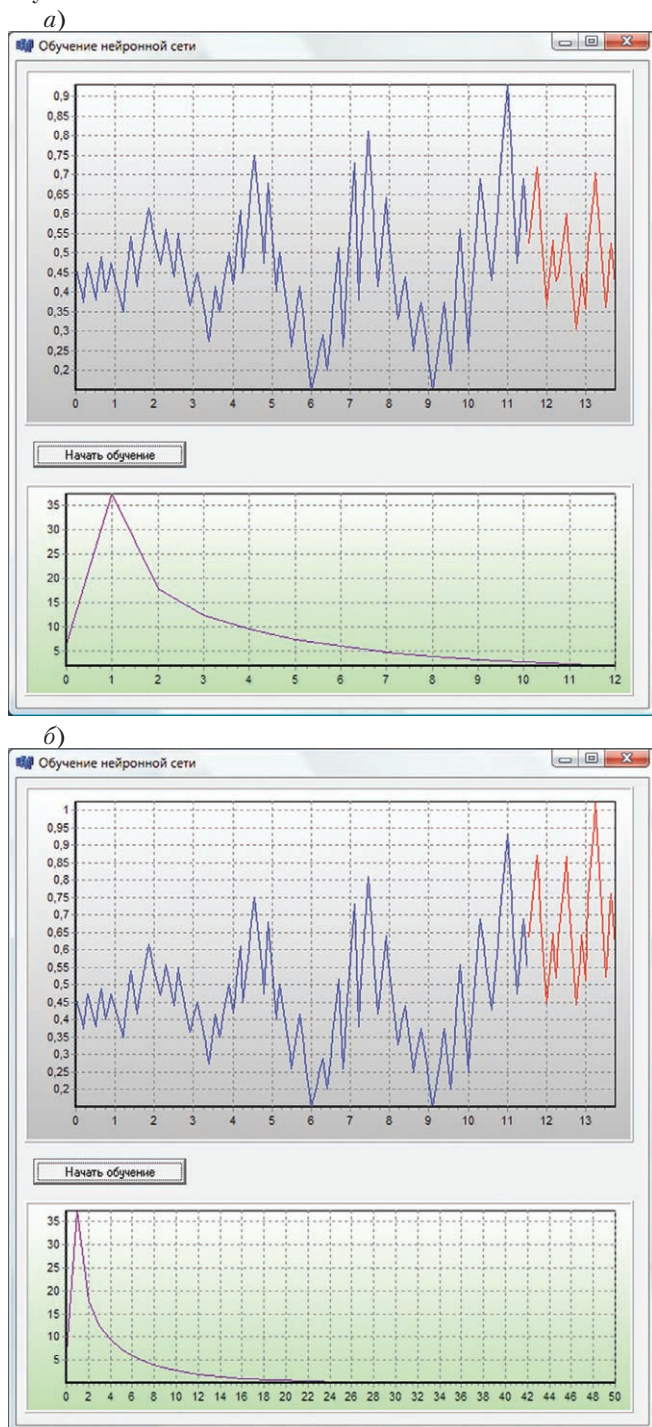


Рис. 8. Прогноз ИНС на 12-м (а) и на 50-м (б) цикле обучения

В процессе выполнения алгоритма контроля осуществляется визуализация динамики судна в ледовых условиях с помощью фрактальных структур [5]. Задача построения фрактала в рамках динамической теории катастроф сводится к поиску структуры, наилучшим образом реализующей импликацию

$$(X_1 - X_N) \rightarrow \text{Opt}(Str) \quad (16)$$

в рамках оптимизационной задачи:

$$J: X \rightarrow R, J = \varphi(X), \quad (17)$$

где $(X_1 - X_N)$ – вектор-функции многообразия Ω , характеризующее векторное поле напряжений в конструкциях корпуса судна при движении в ледовом поле различной конфигурации; J – целевой функционал; $f: Y \rightarrow R$ – критериальная функция отображения динамики взаимодействия; R – вещественное число, характеризующее исход альтернативы; $j(X)$ – функция, реализующая отображение $X \rightarrow Y$.

В качестве фрактальной структуры используется эллиптическое отображение [3]. Задача оптимизации элементов эллипса реализуется путем построения вектора напряжений, соответствующих различным относительным значениям напряжений в точках расположения датчиков измерительной информации

$$\sigma_i / \sigma_1, \sigma_0 / \sigma_2, \dots, \sigma_0 / \sigma_{\max}. \quad (18)$$

В процессе оптимизации определяется величина минимального расхождения между фактическими и приближенными значениями функции отображения при аппроксимации огибающим эллипсом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ выполненного исследования свидетельствует о том, что обеспечение ледовой прочности судов активного ледового плавания является одной из сложных проблем много режимного управления АДС. Обсуждение этой проблемы на Международных конференциях в Италии, США и Японии [10–12], показало, что рациональный путь решения этой проблемы возможен на базе синтеза классических методов с интеллектуальными технологиями в рамках концепции мягких вычислений [13]. Реализация управления АДС ведется с учетом «человеческого фактора» как определяющего элемента функционирования человеко-машинных систем [2].

ЛИТЕРАТУРА

1. Колмогоров А.Н. Теория информации и теория алгоритмов. – М.: Наука, 1987.
2. Нейрокомпьютеры в интеллектуальных технологиях XXI века. – М.: Радиотехника, 2011.
3. Нецаев Ю.И. Теория катастроф: современный подход при принятии решений. – СПб: Арт-Экспресс, 2011.
4. Нецаев Ю.И. Нейронечеткая система управления высокопроизводительными вычислениями при интерпретации динамики сложного объекта на основе теории катастроф в среде «облачной» модели // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. – 2012. – № 11. – С. 14–22.
5. Нецаев Ю.И. Динамика судов активного ледового плавания. – СПб: Арт-Экспресс, 2016.
6. Новиков Д.А., Петраков С.Н. Курс теории активных систем. – М.: СИНТЕГ, 1999.
7. Тихонов А.Н., Арсенин В.Я. Методы решения некорректных задач. – М.: Наука, 1986.
8. Brusov V.S., Tiumentsev Yu. V. High performance aircraft flight control based on artificial neural networks // Proc. of the RRDPAE-96. Warszawa. –1997, p. 97–100.
9. Judd K., Mees A. On Selecting Models for Nonlinear Time Series // Physica D. –1995. – 82: 426–444.
10. Nechaev Yu. I. et al. Ships safety navigation in conditions of the Arctic shelf // Proceedings of 2nd International Maritime Conference on DESIGN FOR SAFETY, Osaka Colloquium, 2004, Sakai, Japan, p.231–237.
11. Nechaev Yu. I. et al. Intelligence system for ship Dynamics monitoring in extreme situations. – Proc. of International conference on marine research and transportation ICMRT-05. Naples – Italy. 2005. p.55–63.
12. Nechaev Yu. et al. Strength and vibration multimode control for ship, moving in the ice condition // Proceedings of the 10th International Symposium on Practical Design of ships and other floating structures. Houston. Texas. USA. October 1–5. 2007, vol.2, p.1295–1302.
13. Zadeh L. Fuzzy logic, neural networks and soft computing // Commutation on the ASM-1994. – Vol.37. – № 3. – P.77–84. ■

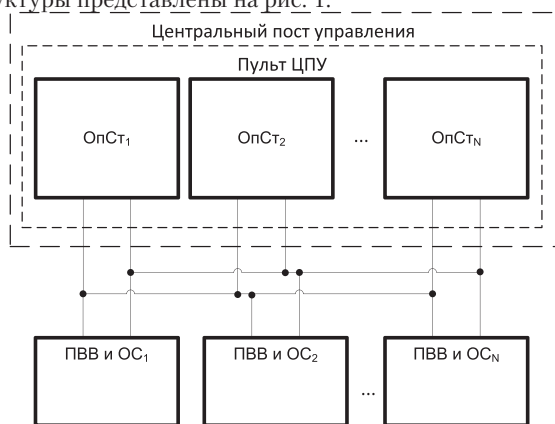
ВВЕДЕНИЕ

Системы контроля и управления техническими средствами (СКУ ТС) сегодня являются неотъемлемой частью автоматизации морских подвижных объектов (МПО), а современные требования и условия их эксплуатации на МПО ставят задачу анализа и контроля все больших объемов разнообразных физических величин и технологических параметров. Анализ и контроль состояния технологических средств и формирование управляющих воздействий осуществляются на основе показаний средств измерений и состояния исполнительных механизмов. При выдаче данных оператору в системах СКУ ТС должна быть обеспечена информация в необходимом объеме и с требуемой точностью для выработки правильных решений. Требования по точности измерения параметров состояния технических средств предъявляются к соответствующим измерительным каналам СКУ ТС. Особенности метрологической аттестации измерительных каналов приведены в [1, 2], но в них не учитываются особенности работы измерительных каналов на МПО при действии внешних возмущений. В настоящей статье рассматриваются вопросы точности измерения типовых измерительных каналов СКУ ТС, используемых на МПО, и коррекции их при действующих возмущений, на примере канала измерения объема жидкости в цистерне.

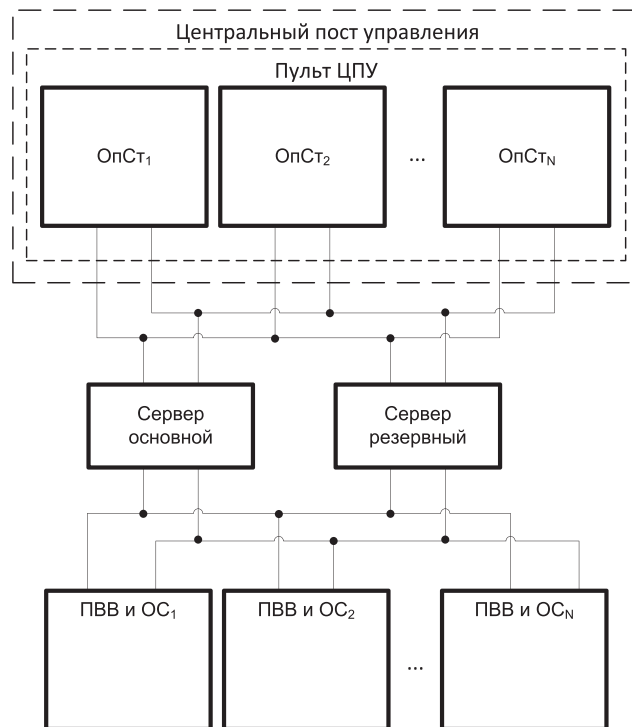
СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИМИ СРЕДСТВАМИ

На данный момент распространенными являются двух-, трех- и четырехуровневая иерархии построения СКУ ТС. Типовые структуры СКУ ТС приведены в работе [3, 4] и включают следующие основные элементы: приборы ввода/вывода (ПВВ); приборы вычислительные (ПВ); приборы ввода/вывода и обработки сигналов (ПВВиОС); серверные приборы (СП); операторские станции (ОпСт).

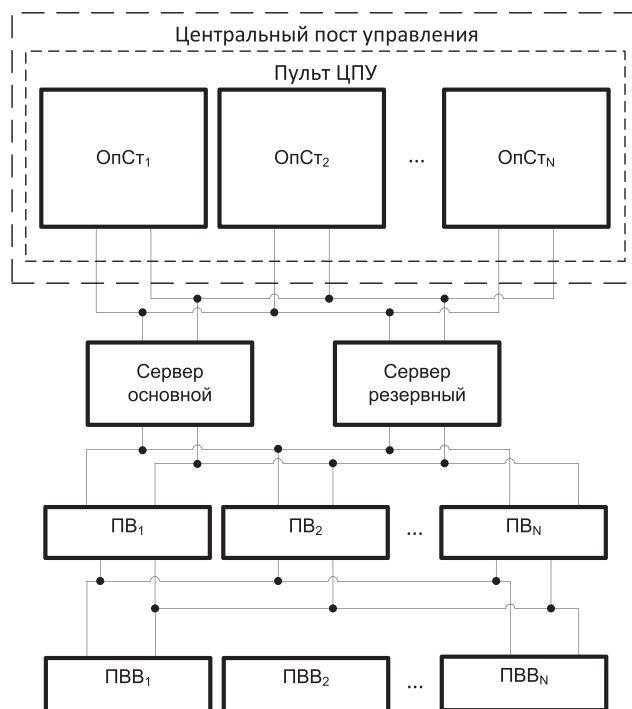
Двухуровневая система СКУ ТС – самая простая, структурно состоит из ОпСт и ПВВиОС, в которых установлены средства сбора информации о технических средствах и выдачи управляющих команд и контроллеры, реализующие алгоритмы обработки информации и управления. В трехуровневой системе есть еще сервер, который обеспечивает хранение всей текущей информации о технических средствах МПО. В четырехуровневой системе ПВВиОС разделяют на два уровня – ПВВ, которые представляют собой устройства сбора информации, и ПВ, в которых установлены контроллеры, которые успешно применяются с СКУТС производства АО «Кронштадт Технологии». Описанные информационные структуры представлены на рис. 1.



Двухуровневая структура СКУ ТС



Трехуровневая структура СКУ ТС



Четырехуровневая структура СКУ ТС

Рис. 1. Типовые информационные структуры СКУ ТС

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ КАНАЛЫ В СИСТЕМАХ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИМИ СРЕДСТВАМИ

В.М. Амбросовский, канд. техн. наук, доцент, директор департамента АО «Кронштадт Технологии»,

Е.Б. Амбросовская, канд. техн. наук, ст. преподаватель СПбГЭТУ «ЛЭТИ»,

И.С. Колтакова, аспирант, ст. инженер АО «Кронштадт Технологии»,
контакт. тел. (812) 448 6481

КАНАЛЫ ИЗМЕРЕНИЯ

Функционирование СКУ ТС неразрывно связано с необходимостью выполнения больших объемов измерений разнообразных физических величин и технологических параметров, в частности, таких как уровень, температура, давление, расход, объем и пр. Для измерения этих величин используется много разнообразных датчиков и преобразователей [5–7]. Рассмотрим структуру измерительного канала на примере измерения объема жидкости. На рис. 2 представлен измерительный канал, где МВВ – модуль ввода/вывода, К – контроллер.

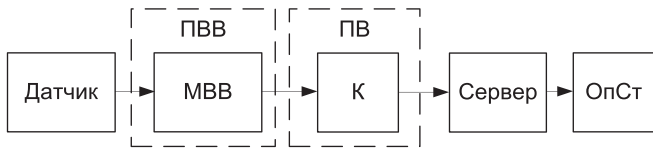


Рис. 2. Структура измерительного канала СКУ ТС

Если представить структуру измерительного канала как цепочку преобразований, то она будет иметь вид, приведенный на рис. 3, где ЧЭ – чувствительный элемент, П – преобразователи датчика, НП – нормирующий преобразователь, АЦП – аналого-цифровой преобразователь, ЦП – цифровой преобразователь.

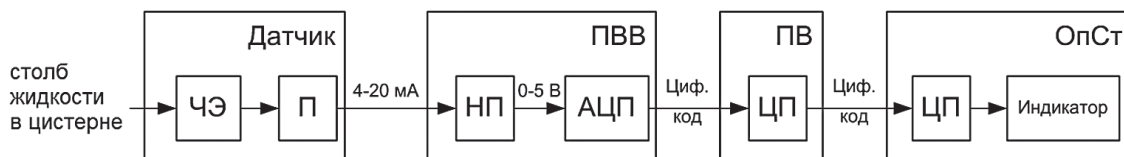


Рис. 3. Преобразования измерительного канала СКУ ТС

Таким образом, данный измерительный канал представляет собой последовательность следующих преобразований:

- значение давления столба жидкости в значение тока в диапазоне 4–20 мА (датчик);
- значение тока в диапазоне 4–20 мА в значение напряжения в диапазоне 0–5 В (НП в ПВВ);
- значение напряжения в диапазоне 0–5 В в кодовый эквивалент (АЦП в ПВВ);
- значение кода с АЦП в значение кода в единицах измеряемой величины (ЦП в ПВ);
- значение кода в числовой эквивалент измеряемой величины (ЦП в ОпСт).

Погрешность такого измерительного канала будет определяться погрешностью преобразователей, представленных на рис. 3, каналов передачи, а также метода измерения.

ПОГРЕШНОСТЬ КОСВЕННОГО ИЗМЕРЕНИЯ ОБЪЕМА

Погрешность метода измерений объема жидкости в цистерне обусловлена тем, что эти измерения объема в цистерне косвенные, так как датчик измеряет столб жидкости (гидростатическое давление p в некоторой точке цистерны с вертикальной координатой h_0), а далее определить объем залитой жидкости можно, зная плотность, а также функциональную зависимость между уровнем в цистерне и объемом $V(h)$, которая устанавливается в процессе тарировки цистерны.

Собственно тарировочная кривая определяется одним из двух способов. Первый – заполнение цистерны порциями жидкости непосредственно на объекте, второй – геометрический метод на основе чертежей. Оба метода имеют преимущества и недостатки. Так, геометрический метод не учитывает естественную деформацию при заполнении цистерны, температурную деформацию и отклонение чертежей от фактических параметров. Кроме того, часто в цистерне может быть дополнительное или вспомогательное оборудование (например, трубы), которые также надо учесть. Но в

то же время данный метод в отличие от заполнения цистерн на объекте не требует дополнительного оборудования для измерения залитого объема и нахождения судна на ровном киле. Пример такой характеристики приведен на рис. 4.

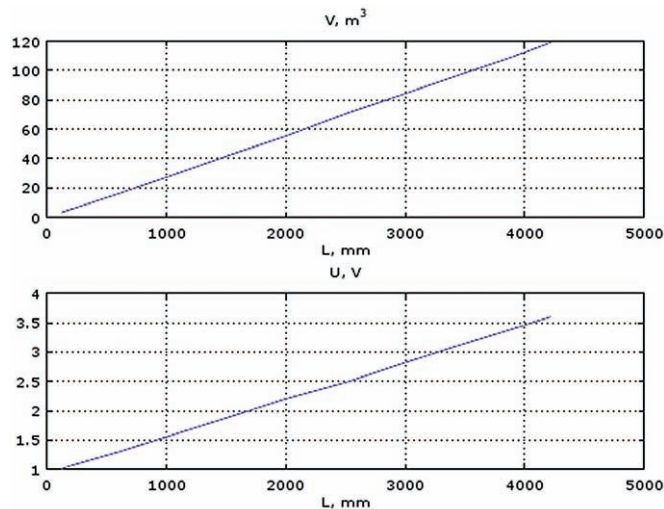


Рис. 4. Тарировочные кривые балластной цистерны. Зависимость объема и измеряемого напряжения от уровня в цистерне

В условиях эксплуатации возможны следующие источники погрешности помимо прямой погрешности измерений. Во-первых, плотность жидкости может отличаться от заданного значения, что приведет к неверной оценке уровня по плотности. Во-вторых, вследствие качки судна возможны динамические колебания уровня в цистерне. В-третьих, тарировочная кривая определяется для нулевых крена и дифферента, а вследствие того, что судно может иметь статический крен или дифферент, при этом уровень в точке установки датчика может измениться. Кроме того, могут быть ошибки в определении точки установки датчика.

Способы фильтрации сигналов в ходе измерения уровня при наличии качки описаны в работе [10].

Рассмотрим более подробно погрешности, вызванные неточностью знания плотности и наличием статического крена и дифферента.

Связь между уровнем жидкости и показаниями гидростатического датчика давления имеет вид

$$p = \rho g(h - h_0), \quad (1)$$

где p – давление столба жидкости, Па; ρ – плотность жидкости, кг/м³; g – ускорение свободного падения, м/с²; h – уровень жидкости в цистерне, м; h_0 – вертикальная координата места установки датчика.

Если сечение цистерны по высоте постоянно, то зависимость между объемом и уровнем будет иметь линейный вид:

$$V = Sh,$$

где V – объем залитой жидкости, м³; S – площадь горизонтального сечения цистерны, м².

Линейной будет также зависимость между объемом и измеряемым давлением.

Если же сечение непостоянно, то линейная зависимость между давлением на выходе датчика и залитым объемом цис-

терны нарушается, а вид зависимости будет зависеть от изменения площади S по высоте цистерны:

$$p(h) = \rho g \left(\frac{V}{S(h)} - h_0 \right). \quad (2)$$

Рассмотрим подробно эти эффекты на примере цистерны простой геометрической формы, показанной на рис. 5.

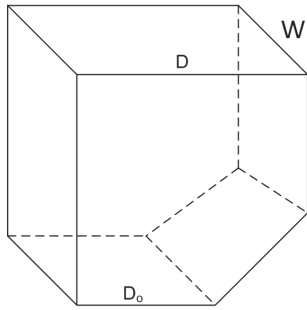


Рис. 5. Пример цистерны

УЧЕТ ВЛИЯНИЯ ПЛОТНОСТИ НА ИЗМЕРЕНИЕ ОБЪЕМА

Обозначим истинный уровень жидкости в цистерне h , а уровень, определенный по измерениям давления p по формуле (1), обозначим \hat{h} , тогда

$$\hat{h} = \frac{p}{\rho g} + h_0. \quad (3)$$

Рассмотрим ситуацию, когда плотность ρ изменилась на ρ' , что не было учтено при пересчете. В результате погрешность измерения уровня жидкости в цистерне будет

$$h - \hat{h} = \frac{p}{\rho g} - \frac{p}{\rho' g}. \quad (4)$$

Погрешность измерения объема будет определяться тарировочной кривой

$$V - \hat{V} = V(h) - V(\hat{h}). \quad (5)$$

Оценим погрешность измерения объема в этом случае для цистерны, форма сечения которой представлена на рис. 5. В этом случае объем цистерны

$$V(h) = hS(h) = hWD(h),$$

где h – уровень жидкости в цистерне, W – постоянная глубина цистерны, $D(h)$ – переменная ширина цистерны, $S(h)$ – переменная площадь горизонтального сечения цистерны.

На рис. 6 проиллюстрированы случаи увеличения и уменьшения плотности.

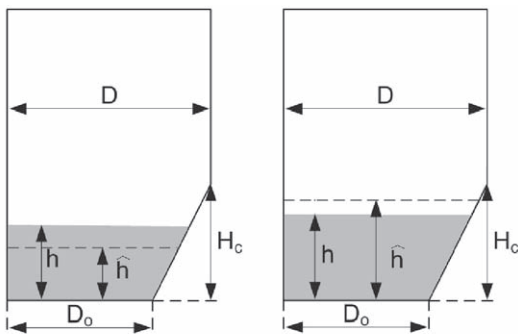


Рис. 6. Изменение уровня при уменьшении и увеличении плотности

Условно разделим цистерну на две зоны – зону, где сечение непостоянно, и зону, где сечение постоянно. Уровень, на котором сечение становится постоянным, обозначим H_c .

На участке переменной ширины цистерны $D(h) = D_0 + \frac{h}{H_c}(D - D_0)$ объем от уровня зависит квадратично. На участке

постоянной ширины цистерны $D(h) = D$ объем линейно зависит от уровня жидкости.

В случае изменения плотности возможны следующие ситуации:

– оба значения уровня на участке переменной ширины $h, \hat{h} < H_c$. В этом случае

$$V - \hat{V} = Wh \left(D_0 + (D - D_0) \frac{h}{H_c} \right) - Wh \left(D_0 + (D - D_0) \frac{\hat{h}}{H_c} \right);$$

– значения уровня на разных участках $\hat{h} < H_c < h$, когда плотность жидкости уменьшилась, или $h < H_c < \hat{h}$, когда плотность увеличилась. В этом случае

$$V - \hat{V} = WhD_0 - Wh \left(D_0 + (D - D_0) \frac{\hat{h}}{H_c} \right)$$

или

$$V - \hat{V} = Wh \left(D_0 + (D - D_0) \frac{h}{H_c} \right) - WhD_0 \text{ соответственно;}$$

– оба значения уровня на участке постоянной ширины $h, \hat{h} > H_c$. В этом случае $V - \hat{V} = WhD - WhD$.

В случае цистерны более сложной формы эти формулы могут быть скорректированы.

Следует отметить, что необходимо обеспечить ввод плотности заливаемой жидкости оператором. Целесообразным также является учет теплового расширения жидкости по заранее заданному закону в соответствии с датчиком температуры (как правило, совмещенного с датчиком давления).

УЧЕТ ВЛИЯНИЯ КРЕНА И ДИФФЕРЕНТА

Тарировочные кривые для цистерн известны при нулевом крене и дифференте, однако реально эксплуатация судна и заполнение цистерн происходит при ненулевом крене и дифференте, и в ходе наполнения цистерн крен и дифферент могут меняться. При изменении крена или дифферента меняется высота столба жидкости над датчиком (рис. 7), а объем остается неизменен. Поэтому необходимо учесть в алгоритме пересчета объема от уровня в цистерне углы крена и дифферента

$$V = f(h, \theta, \psi),$$

где θ – угол крена; ψ – угол дифферента.

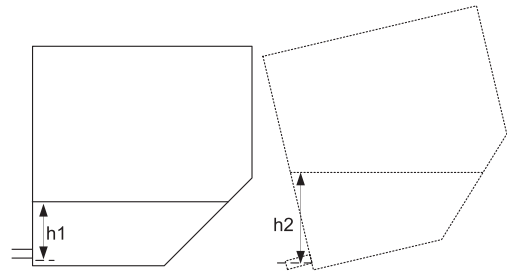


Рис. 7. Влияние наклона цистерны на высоту столба жидкости над датчиком

Рассмотрим этот эффект на примере прямоугольной цистерны, наклоненной на угол крена θ при нулевом дифференте (рис. 8). Будем считать, что датчик установлен в левом углу цистерны.

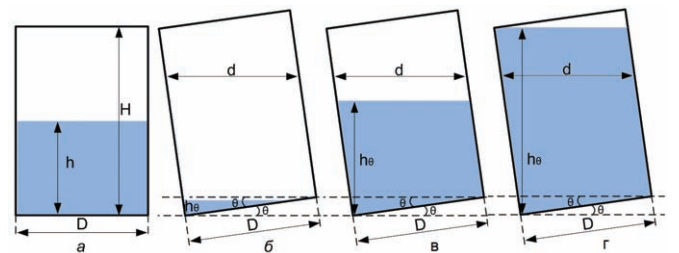


Рис. 8. Изменение показаний гидростатического датчика давления при наклонении цистерны

Для ненаклоненной цистерны $V = DWh$, т. е. $h = \frac{V}{DW}$.

В случае наклоненной цистерны возможны три геометрические ситуации, соответствующие рис. 8, б, в, з. Приравнявая объем в ненаклоненной и наклоненной цистернах, получаем:

– в первом случае (рис. 8, б)

$$h_0 = \sqrt{Dh \sin(2\theta)} \text{ при } h_0 \leq D \sin(\theta),$$

– во втором случае (рис. 8, в)

$$h_0 = h \cdot \cos(\theta) + \frac{1}{2} D \sin(\theta) \text{ при } D \sin(\theta) < h_0 < H \cos(\theta);$$

– в третьем случае (рис. 8, з)

$$h = H - \frac{1}{2} \left(1 - \frac{h_0 - H \cos(\theta)}{D \sin(\theta)} \right)^2 D \tan(\theta) \text{ при } h_0 \geq H \cos(\theta).$$

Для реализации алгоритма коррекции требуется выразить уровень в ненаклоненной цистерне через крен и уровень в наклоненной цистерне $h(h_0, \theta)$. В результате получены формулы

$$h = \frac{h_0^2}{D \sin(2\theta)} \text{ при } h_0 \leq D \sin(\theta);$$

$$h = \frac{h_0 - \frac{1}{2} D \sin(\theta)}{\cos(\theta)} \text{ при } D \sin(\theta) < h_0 < H \cos(\theta); \quad (6)$$

$$h = H - \frac{1}{2} \left(1 - \frac{h_0 - H \cos(\theta)}{D \sin(\theta)} \right)^2 D \tan(\theta) \text{ при } h_0 \geq H \cos(\theta).$$

На рис. 9 показана зависимость показаний датчика уровня жидкости в цистерне в зависимости от угла крена, вычисленная по формулам (6) при постоянном объеме жидкости.

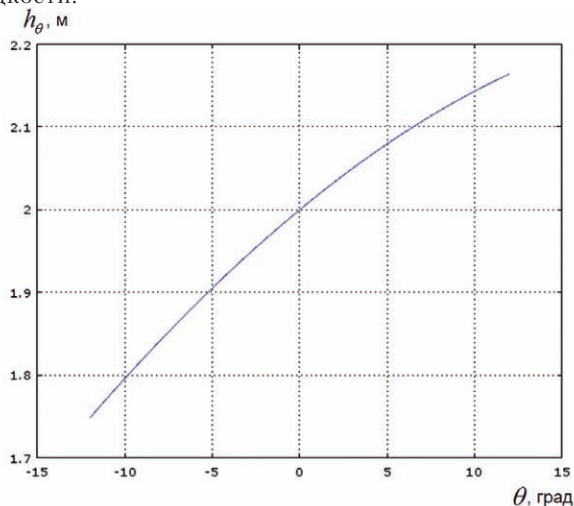


Рис. 9. Изменение показаний датчика уровня при наклонении цистерны

Приведенные формулы могут быть переписаны для цистерны произвольной формы с учетом крена, дифферента и координат расположения датчика давления в цистерне.

Для автоматической коррекции измерений требуется датчик крена и дифферента, в качестве которых могут выступать как датчики крена и дифферента, так и система измерения осадки [10]. В зависимости от свойств используемых датчиков должна быть проведена предварительная фильтрация сигналов [10], чтобы учитывать только статические углы крена и дифферента.

Измерительный канал с поправкой по крену и дифференту будет иметь вид, представленный на рис. 10.

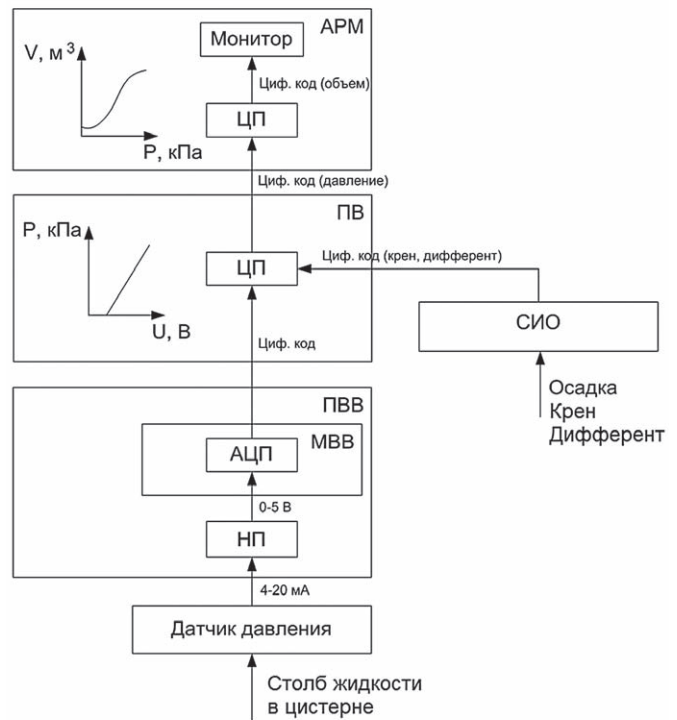


Рис. 10. Измерительный канал с поправкой по крену и дифференту

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе рассмотрены особенности измерительных каналов уровня жидкостей в системах СКУТС, устанавливаемых на МПО, приведены зависимости погрешности измерения и предложены алгоритмы коррекции уровня от статического крена и дифферента, которые успешно используются в системах СКУТС АО «Кронштадт Технологии».

ЛИТЕРАТУРА

1. РД 34.11.202–95. Методические указания. Измерительные каналы информационно-измерительных систем. Организация и порядок проведения метрологической аттестации. – М.: АО «Фирма ОРГРЭС», 1997.
2. Методика расчета метрологических характеристик измерительных каналов ИИС по метрологическим характеристикам компонентов. – М.: МИ 222–80, 1981. – 17 с.
3. Амбросовский В. М., Слипченко А. С. Анализ структур современных корабельных систем управления техническими средствами. – СПб., Изд. СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2002.
4. Амбросовский В. М. Информационно-управляющие системы технических средств корабля / Уч. пособ. – СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2013.
5. Алексеев Н. А. и др. Микропроцессорные системы контроля и управления судовых технических средств. – СПб.: РМРС, 2005. – 415 с.
6. Хашемхан Х. М. Датчики технологических процессов: характеристики и методы повышения надежности. – Моск. обл., г. Королёв: Бином, 2008. – 336 с.
7. Ripka P., Tipek A. Modern sensors. – ISTE Ltd. – 2007. – 518 p.
8. Васильевич Ф. А. Эксплуатация судовых силовых установок. – Ижевск, ИКИ, 2015. – 228 с.
9. McGeorge H. D. Marine auxiliary machinery. – GB, Manchester, Hartnolls Ltd., 1995. – 514 p.
10. Амбросовский В. М., Васильев Д. С. Система измерения осадки морских подвижных объектов // Морской вестник. – 2016. – № 3 (59), с. 57–59. ■

Большие современные комплексы связи обеспечивают взаимодействие кораблей, подводных лодок и наземных пунктов связи ВМФ России. В этих комплексах используются радиоканалы, космические, акустические каналы связи. Их взаимодействие обеспечивает надежность и достоверность связи. Радиолинии построены на основе различных типов модуляции, в том числе помехоустойчивые виды частотной (ЧМ) и фазовой (ФМ) модуляции, кодирование информации, методы приема в целом.

Регламентом Международного союза электросвязи принята классификация излучений, создаваемых средствами связи. По этой классификации F1B – угловая модуляция основной несущей частоты – ЧМ цифрового первичного сигнала без временного уплотнения для автоматического приема. ЧМ сигналы класса F1B широко используются при передаче информации по каналам связи между надводными кораблями и подводными лодками, наземными станциями в УКВ, СВ, ДВ частотных диапазонах.

Современная техника немислима без цифровых методов обработки информации. Они позволяют не только упрощать обработку сигналов, но и внедрять чисто цифровые алгоритмы, которые просто невозможно реализовать аналоговыми методами.

МОДЕЛЬ ВХОДНОГО СИГНАЛА

На вход цифрового демодулятора поступают квадратуры, имеющие вид чередующихся отсчетов ортогональных гармонических колебаний – действительной и мнимой частей комплексных отсчетов:

$$A_i = I_i \pm jQ_i = \cos(2\pi i/N) \pm j \sin(2\pi i/N), \quad (1)$$

где $j = \sqrt{-1}$; i – отсчеты времени; I_i – действительная часть i -того отсчета квадратуры; Q_i – мнимая часть i -того отсчета квадратуры; $N = f_d/f_s$ – число отсчетов на период поступающего на вход сигнала; f_d – частота дискретизации; f_s – частота сигнала; $B = f_d/b$ – число отсчетов на информационный бит; b – скорость передачи информации;

В выражении (1) сумма соответствует представлению информационного символа «1», разность – «0». Частота сигнала f_s для символа «1» имеет положительное значение, а для «0» – отрицательное.

Это описание полностью соответствует представлению действительной и мнимой составляющих ЧМ сигнала в квадратурах, за исключением того, что в действительности значения $\cos(2\pi i/N)$, $\sin(2\pi i/N)$ нормированы не к 1, а к максимальному целому числу 2^z , где z – разрядность числа в машинном представлении $z = 8, 16$, или 32.

Временные диаграммы действительной и мнимой составляющих сигнала, когда последовательно передаются «1», «0», представлены на рис. 1 (Δ – приращение мнимой составляющей квадратуры).

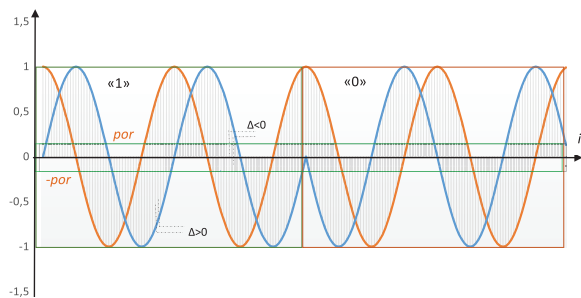


Рис. 1. Временные диаграммы действительной и мнимой составляющих сигнала, когда последовательно передаются «1», «0»: $\cos(2\pi i/N) \pm j \sin(2\pi i/N)$

ЛОГИЧЕСКИЙ АЛГОРИТМ ДЕМОДУЛЯЦИИ ЦИФРОВОГО ЧАСТОТНО-МОДУЛИРОВАННОГО СИГНАЛА

Н.Г. Бикчнтаева, инженер 2-й категории,

В.В. Дмитриев, инженер 2-й категории,

*О.В. Орлова, инженер 1-й категории, ПАО «Интелтех»,
контакт. тел. +7 (921) 756 6965*

ЛОГИЧЕСКИЙ АЛГОРИТМ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ ЧМ СИГНАЛОВ. ПРАВИЛО ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ

Как видно из рис. 1, при передаче «1»:

- на интервале времени положительной полуволны действительной составляющей первая производная мнимой составляющей положительна (функция возрастает);
 - на интервале времени отрицательной полуволны действительной составляющей первая производная мнимой составляющей отрицательна (функция убывает).
- При передаче «0»:
- на интервале времени положительной полуволны действительной составляющей первая производная мнимой составляющей отрицательна (функция убывает);
 - на интервале времени отрицательной полуволны действительной составляющей первая производная мнимой составляющей положительна (функция возрастает).

Знак производной можно вычислить по знаку приращения Q_i по времени:

$$Q_i - Q_{i-1}$$

Решение о том, какой символ передается на i -м отсчете назовем предварительным и обозначим S_i значение символа в i -й момент дискретного времени, тогда

$$S_i = \begin{cases} "1", & \text{если } \{(I_i \geq \text{por}) \text{ и } (Q_i - Q_{i-1}) > 0\} \\ \text{или } \{(I_i < -\text{por}) \text{ и } (Q_i - Q_{i-1}) \leq 0\}, \\ \text{иначе } "0", \end{cases} \quad (2)$$

где por – порог, начиная с которого выносятся решения.

На рис. 1 показаны уровни por и $-\text{por}$. Предварительное решение принимается, когда значение отсчета квадратуры I_i по модулю превышает порог. Для отсчетов, на которых это условие не выполняется, алгоритм не принимает решения, предварительное решение о значении переданного символа остается предыдущим. Это позволяет обойти те отсчеты, на которых условия наихудшие: значения действительной составляющей квадратуры близки к нулю и вероятность ошибки максимальна.

Предварительные решения суммируются: S_1 – сумма единиц, S_0 – сумма нулей. Если S_1 превышает половину значения B , то принимается решение о том, что была передана «1», если S_0 превышает половину значения B , то считается, что был передан «0».

Рис. 2 представляет логический алгоритм для входной последовательности отсчетов квадратур. Частота дискретизации f_d , скорость передачи b , первоначально установленный порог por являются заданными параметрами.

На структурной схеме алгоритма обозначены: i – номер отсчета квадратуры; k – номер отсчета внутри бита; i/k – номер информационного бита.

Окончательные решения о значениях переданных символов R_k принимаются для каждого i/k -го бита и выводятся на выходе алгоритма в реальном времени.

Предварительные решения на i -х отсчетах квадратуры S_i суммируются в S_1 и S_0 .

После каждой нулевой оценки счетчик S_0 сбрасывается на $S_1 - B/2$, а S_1 – на нуль. После каждой единичной оценки счетчик S_1 сбрасывается на $S_0 - B/2$, а S_0 – на нуль. После каж-

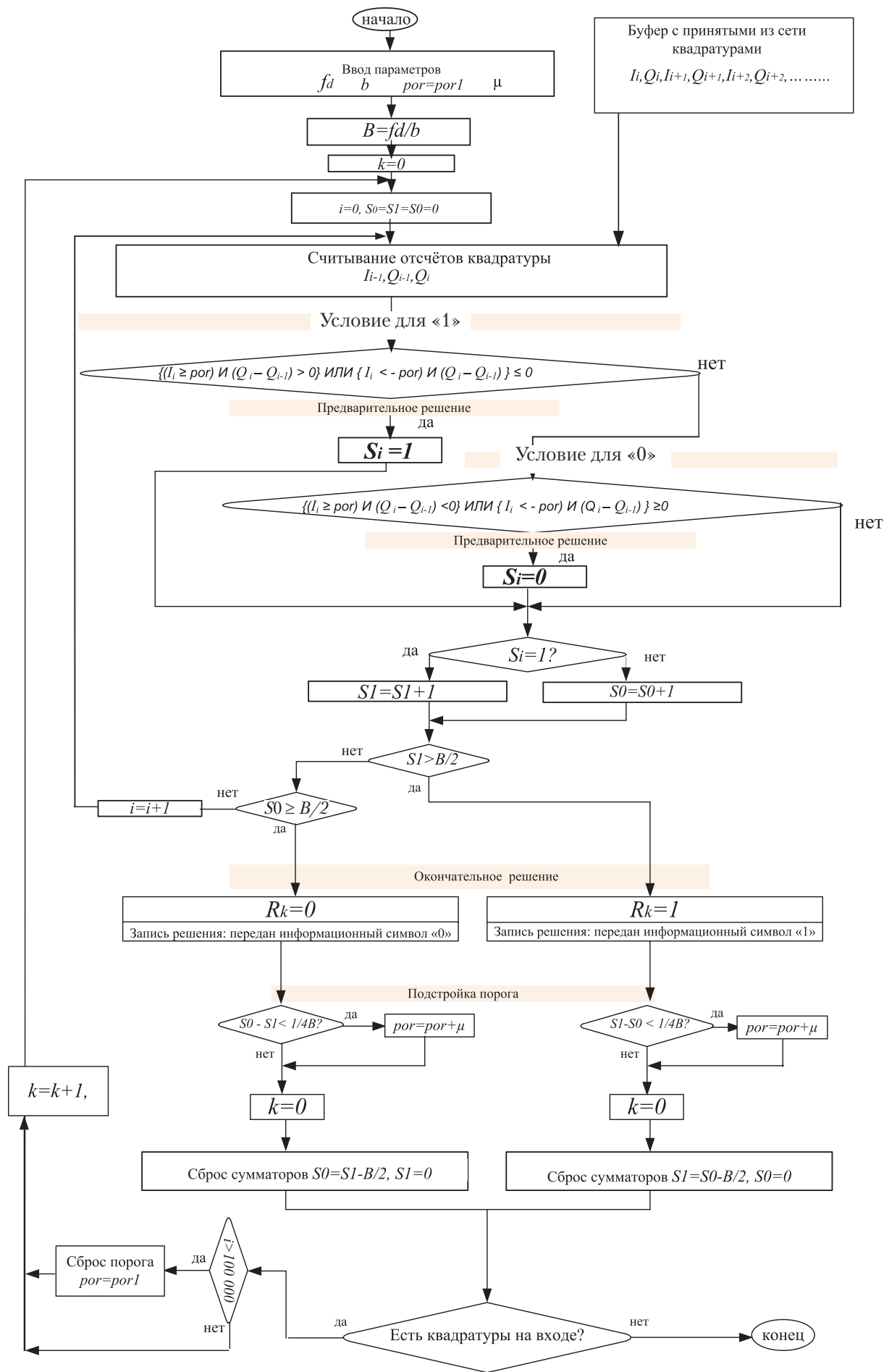


Рис. 2. Логический алгоритм цифровой обработки ЧМ сигналов, представленных в виде квадратур

дого окончательного решения проводится подстройка порога.

Порог наращивается на величину μ . Критерий, по которому алгоритм принимает решение об увеличении порога,

$$|S1 - S0| < B/4. \quad (3)$$

При изменяющейся длительности бита («плавающей» скорости передачи) набег фазы увеличивает (уменьшает) $S1, S0$. Так же, как компенсируются ошибки промежуточных оценок, компенсируется и набег фазы за счет изменения длительности бита.

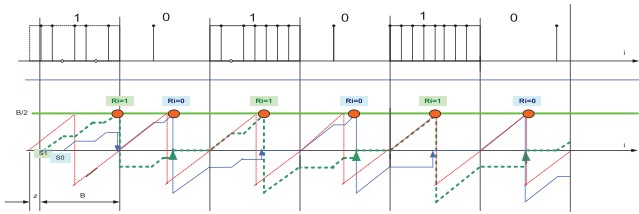


Рис. 3. График изменения сумм $S1$ и $S0$ на каждом отсчете и процесс вынесения решения. Здесь показаны шесть ошибочных промежуточных решений, кроме того, первый бит урезан на $z=B/8$. Алгоритм декодирует последовательность безошибочно, если $z < B/2$

Для пояснения работы алгоритма представлен график изменения сумм $S1$ и $S0$ на каждом отсчете и процесс вынесения решения на рис. 3. На таком наглядном графике можно наблюдать поведение алгоритма при ошибочных промежуточных оценках, изменении битовой скорости, при приеме последовательности с урезанным (неполным) первым битом. Для наглядности на графике показана частота дискретизации, в 8 раз превышающая скорость передачи, реально она значительно выше.

Из рис. 3 видно, что при наращивании одной из сумм $S1, S0$, другая не меняется. При вынесении окончательного решения сброс сумм $S1$ на $S0 - B/2$, $S0$ на 0 при $R_i = 1$, $S0$ на $S1 - B/2$, $S1$ на 0 при $R_i = 0$, обеспечивает выход счетчика $S1$ (при $R_i = 1$), $S0$ (при $R_i = 0$) на начало бита.

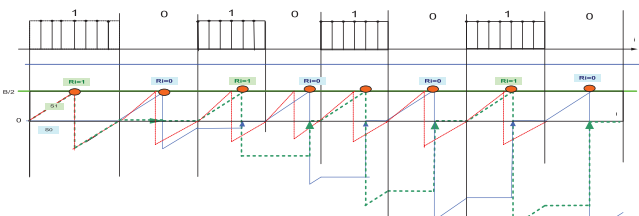


Рис. 4. График изменения сумм $S1$ и $S0$ на каждом отсчете и процесс вынесения решения

На рис. 4 изменяется длительность бита (битовая скорость). Алгоритм декодирует последовательность безошибочно, если длительность бита изменяется не более чем на $3B/2 - 1$. Сброс сумм $S1$ на $S0 - B/2$, $S0$ на 0 при $R_i = 1$, $S0$ на $S1 - B/2$, $S1$ на 0 при $R_i = 0$, обеспечивает выход счетчика $S1$ (при $R_i = 1$), $S0$ (при $R_i = 0$) на начало бита.

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СЛОЖНОСТИ АЛГОРИТМОВ

Для оценки вычислительной сложности логического алгоритма сравним количество математических операций, необходимых для вынесения решения о значении переданного символа и количество операций в секунду. В качестве аналогов выбраны алгоритмы: корреляционный вычислитель, который считает взаимнокорреляционную функцию принятого и эталонного сигнала и вычислитель быстрого преобразования Фурье (БПФ).

На вынесение решения о значении принятого символа в логическом алгоритме требуется $3B$ сложений, $11B$ логических операций. При скорости передачи b – это $3Bb$ сложений в секунду, $11Bb$ логических операций в секунду.

Сложения в логическом алгоритме выполняются над единичными значениями, а не над числами размерностью 2^z , $z = 8, 16, 32$ как в корреляционном приемнике и в БПФ.

ОЦЕНКА ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СЛОЖНОСТИ КОРРЕЛЯЦИОННОГО ПРИЕМНИКА

При вычислении взаимнокорреляционной функции для каждого бита информации считывается в память вычислителя $2B$ отсчетов квадратуры (действительная и мнимая часть):

$$I_i, i = 1, 2, 3, \dots, B;$$

$$Q_i, i = 1, 2, 3, \dots, B;$$

В памяти вычислителя должны храниться $2B$ отсчетов эталона (действительная и мнимая часть):

$$D1_i, i = 1, 2, 3, \dots, B$$

$$D2_i, i = 1, 2, 3, \dots, B$$

Формулы для расчета:

$$k=1 \dots B; \sum_{j=1}^k I_j D1_{B+i-k} + Q_j D2_{B+i-k}; \quad (4)$$

$k = B+1 \dots 2B-1$ для нечетных B ; $k = B+1 \dots 2B$ для четных B ;

$$\sum_{i=k-B+1}^B Q_i D2_{B+i-k} + I_i D1_{B+i-k}. \quad (5)$$

Для вынесения решения о значении каждого информационного символа требуется $8B$ умножений, $4B$ сложений, вычисление максимума из $2B$ чисел. При скорости передачи b : $8Bb$ умножений, $4Bb$ сложений в секунду.

Следует заметить, что для того, чтобы корреляционный приемник был оптимальным, эталонный сигнал должен быть когерентным, фаза колебания с частотой f_s эталона должна совпадать с фазой принятого сигнала.

ОЦЕНКА ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СЛОЖНОСТИ АЛГОРИТМА, ВЫЧИСЛЯЮЩЕГО БПФ

1. Для БПФ необходима предварительная подготовка данных: число отсчетов на длительности B должно быть степенью 2.

Дробь N/B приводим к несократимой дроби $n/l, N/B = n/l$. Отсчеты квадратуры следует повторить n раз и считать через l отсчетов. Здесь N – длина выборки для вычисления БПФ.

2. Вычисление БПФ требует выполнения двоичной инверсии, и число комплексных умножений – $\log_2 N$.

По результатам вычисления БПФ следует выделить максимум из двух отсчетов, которые соответствуют положительной и отрицательной частотам (одна логическая операция).

Справедливости ради следует заметить, что умножение комплексных чисел – это четыре умножения и три сложения действительных чисел. Кроме того, требуется дополнительная схема побитовой синхронизации данных, что здесь не учитывается.

Результаты расчета вычислительной сложности трех алгоритмов сведены в табл. 1.

Для наглядности число операций умножения в секунду представлено на графике как функция от скорости передачи,

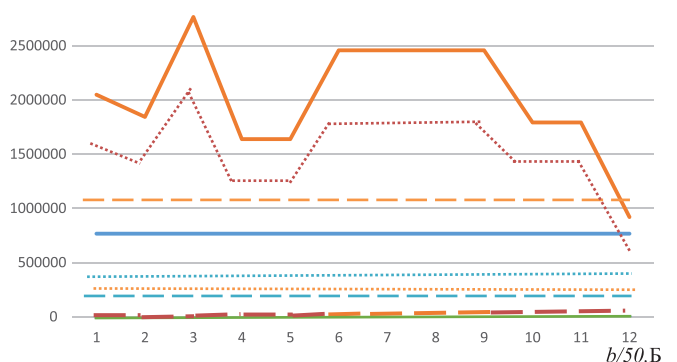


Рис. 5. Сравнительная оценка вычислительной сложности 3 алгоритмов цифровой обработки ЧМ сигналов

Умножение: — БПФ — korr — logic.

Сложение: БПФ korr logic.

Логические операции: - - - БПФ - - - korr - - - logic.

Результаты расчета

b -скорости передачи информации		50	100	150	200	300	500	600
В число отсчетов на бит		1920	960	640	480	320	192	96
N – ближайшая степень $2b$	БПФ	1024	512	512	256	256	128	64
Коэффициент прореживания (БПФ)	БПФ	X 8, : 15						
Число операций умножения на 1 бит	logik	0	0	0	0	0	0	0
	korr	15 360	7680	5120	3840	2560	1536	768
	БПФ	40960	18432	18432	8192	8192		
Число операций умножения в секунду	logik	0	0	0	0	0	0	0
	korr	768 000	768 000	768 000	768 000	768 000	768 000	768 000
	БПФ	2 048 000	1 843 200	2 764 800	1 638 400	2 457 600	1 792 000	921 600
Число операций сложения на 1 бит	logik	5760	2880	1920	1440	960	576	288
	korr	7680	3840	2560	1920	1280	768	384
	БПФ	30 720	13 824	13 824	6144	6144	2688	1152
Число операций сложения в секунду	logik	288 000	288 000	288 000	288 000	288 000	288 000	288 000
	korr	384000	384000	384000	384000	384000	384000	384000
	БПФ	1 546 000	1 382 400	2 073 600	1 228 800	1 843 200	1 344 000	691 200
Число логических операций на 1 бит	logik	21120	10560	7040	5280	3520	2112	1056
	korr	3840	1920	1280	960	640	384	192
	БПФ	1	1	1	1	1	1	1
Число логических операций (сравнений) в секунду	logik	1056000	1056000	1056000	1056000	1056000	1056000	1056000
	korr	192000	192000	192000	192000	192000	192000	192000
	БПФ	50	100	150	200	300	500	600

Примечание: здесь алгоритмы обозначены как logik – логический алгоритм, korr – корреляционный вычислитель, БПФ – вычислитель БПФ.

ИЛЛЮСТРАЦИЯ РАБОТЫ АЛГОРИТМА

Оценка потенциальной помехоустойчивости логического алгоритма выходит за рамки данной статьи. Вместе с тем в работе приводятся результаты его проверок на тестах в условиях аддитивной случайной помехи, изменения скорости передачи информации, расфазирования действительной и мнимой частей квадратуры и многолучевости.

Для иллюстрации работы алгоритма в качестве аддитивного шума в примерах 1–4 использовался звуковой файл,

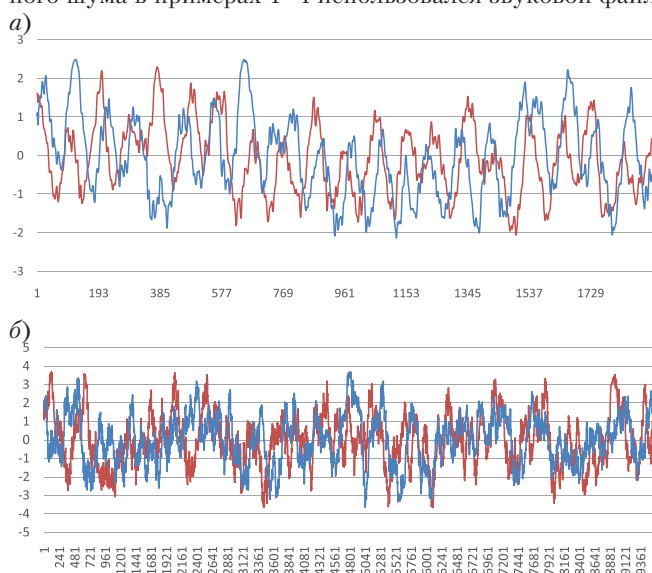


Рис. 6. Временная диаграмма квадратур при воздействии аддитивного шума: а – коэффициент шума 1,96; б – коэффициент шума 7,29

— I_i – действительная часть, — Q_i – мнимая часть
— I_i – действительная часть, — Q_i – мнимая часть

спектр которого расположен в области частоты сигнала. В примере 5 в качестве аддитивного шума – белый шум – последовательность некоррелированных случайных отсчетов с нормальным законом распределения.

Пример 1. На рис. 6, а квадратуры представляют сигнал ЧМ, частота сигнала $f_s = 1000$ Гц, скорость передачи – 500 Бод. На графике – 10 бит: 1100110011. На рис. 6, б $f_s = 100$ Гц, скорость передачи – 50 Бод, 10 бит: 1010101010. Квадратуры в виде идеального теста искажены шумом, первоначальный порог $por1 = 0,5$. Алгоритм декодировал сигнал без ошибок.

Из рассмотренных примеров можно заключить, что логический алгоритм может давать очень хорошие результаты при декодировании сигналов с аддитивным шумом, результаты зависят и от характера информационной последовательности и от характера шума.

Пример 2. Для исследования влияния меняющейся скорости передачи информации на работу логического алгоритма были рассмотрены случаи линейно нарастающей и убывающей длительности бита В.

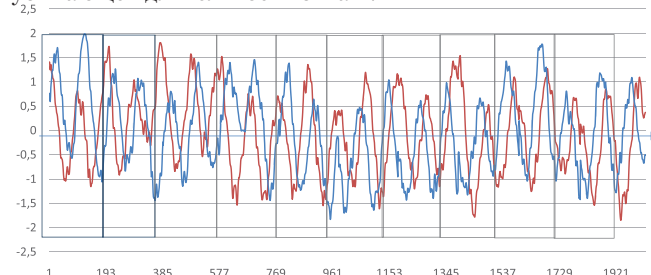


Рис. 7. Временная диаграмма квадратур при увеличении длительности бита на 100 отсчетов за 10 бит, $B = 192$ коэффициент шума 0,5

— I_i – действительная часть; — Q_i – мнимая часть

Квадратуры представляют ЧМ сигнал, частота сигнала $f_s = 1000$ Гц, скорость передачи 500 Бод. На графике – 10 бит:

1111100000. Изменение длительности бита компенсируется сбросом $S1=S0-B/2$ и $S0=S1-B/2$. Сигнал декодируется без ошибок, пока набег «лишних» отсчетов за счет приращения или уменьшения первоначальной величины B не превысит $3B/2-1$ первоначальной длительности бита.

Пример 3. Логический алгоритм основан на анализе фазовых соотношений действительной и мнимой частей квадратур. Расфазирование между I_i и Q_i нарушает их ортогональность. Сигнал декодируется правильно пока сдвиг фазы менее половины периода частоты сигнала.

Насколько логический алгоритм чувствителен к таким искажениям, демонстрирует рис. 8.

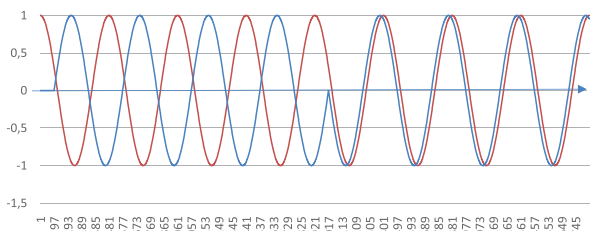


Рис. 8. Временная диаграмма квадратур, сдвинутых по фазе относительно друг друга на $1/4$ периода частоты сигнала

— I_i – действительная часть; — Q_i – мнимая часть

Квадратуры представляют ЧМ сигнал, частота сигнала $f_s = 100$ Гц, скорость передачи 50 Бод. На графике – 4 бита: 1100, действительная и мнимая составляющие сигнала сдвинуты относительно друг друга на $0,25$ периода частоты сигнала, 10% бита. Сигнал декодирован без ошибок.

Пример 4. Кроме случайных аддитивных помех в реальном приемнике могут наблюдаться гармонические помехи, в частности, гармоники основного сигнала и отраженные сигналы, имеющие меньшие амплитуды и различные временные задержки. Рис. 10 иллюстрирует модель сигнала, представляющего собой сумму основного сигнала и трех его задержанных по времени копий.

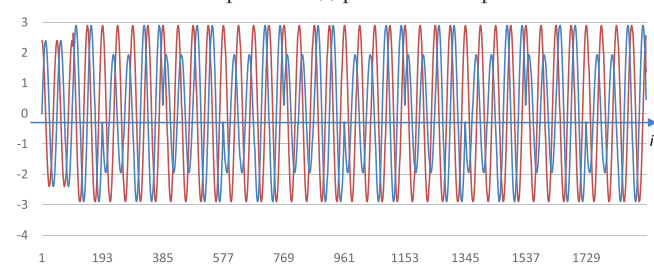


Рис. 9. Временная диаграмма квадратур, представляющих сумму сигналов основного и трех отраженных лучей 60%, 40% и 20% амплитуды основного

— I_i – действительная часть; — Q_i – мнимая часть

Квадратуры представляют ЧМ сигнал, частота сигнала $f_s = 1000$ Гц, скорость передачи 500 Бод. На графике – 20 бит: 11001100110011001100. Три отраженных луча складываются с основным и искажают его. Алгоритм декодировал сигнал без ошибок.

Пример 5. Сумма сигнала с некоррелированными отсчетами шума – белым шумом – сложнее для обработки логическим алгоритмом.

Если частота дискретизации 96 000 отсчетов в секунду, на единичный интервал приходится от 1920 до 192 отсчетов квадратуры при скоростях от 50 до 500 Бод. Число отсчетов на информационный бит можно уменьшить, прореживая. Если взять отсчеты через промежуток дискретного времени, в целое число раз меньший единичного, и усреднить на этом промежутке, то алгоритм работает без изменения, но с меньшей частотой дискретизации.

Если взять вместо n отсчетов среднее арифметическое их значений, то дисперсия шума уменьшается в n раз, что следует из теоремы Маркова, которая расширяет выводы теоремы Чебышева на случайные процессы.

Для скоростей 50, 100, 150, 200, 300, 500 соответственно 48, 24, 16, 12, 8, 8 отсчетов. Частоты дискретизации при этом 2000, 4000, 6000, 8000, 12 000, 12 000 вместо 96 000 отсчетов в секунду. В остальном алгоритм не меняется. Демодуляция аддитивной смеси сигнала с шумом дает значительно лучшие результаты, чем для белого шума без усреднения отсчетов. Такая подготовка данных эквивалентна уменьшению дисперсии шума с нормальным распределением плотности вероятности и нулевым математическим ожиданием. Чем больше интервал усреднения, тем эффективнее подготовка данных.

Усреднение нескольких последовательных отсчетов суммы сигнала с белым шумом проиллюстрировано на рис. 10 и рис. 11.

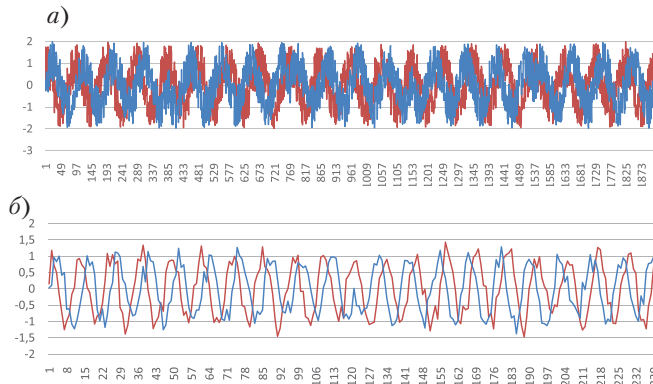


Рис. 10. Временная диаграмма квадратур с усредненными последовательными отсчетами сумм сигналов с белым шумом: а – коэффициент шума 1,0 (чисто белый шум); б – то же, каждый отсчет – среднее арифметическое соседних восьми отсчетов;

— I_i – действительная часть; — Q_i – мнимая часть

Квадратуры представляют ЧМ сигнал, частота сигнала $f_s = 1000$ Гц, скорость передачи 500 Бод. На графике – 10 бит: 1111100000;

На рис. 10, а сигнал представлен квадратурами с аддитивным белым шумом; алгоритм выдает ошибки при коэффициенте шума 1,0, на рис. 10, б – сглаженный обработывается программой для F1B1000(500) с частотой дискретизации в 8 раз меньше исходной. Алгоритм декодировал сигнал без ошибок.

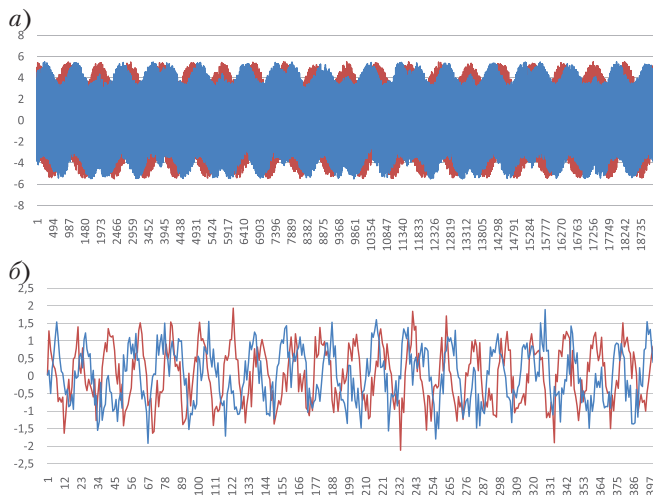


Рис. 11. Временная диаграмма квадратур, представляющих ЧМ сигнал. Частота сигнала $f_s = 100$ Гц, скорость передачи 50 Бод. На графике – 10 бит: 1010101010; коэффициент шума 4,5 (20,25) чисто белый шум: а – сигнал представлен квадратурами с аддитивным белым шумом; алгоритм выдает ошибки при коэффициенте шума 1,0; б – сглаженный сигнал обрабатывается программой для F1B100(50) с частотой дискретизации в 48 раз меньше исходной. Алгоритм декодировал сигнал без ошибок при коэффициенте шума 4,5 (по мощности 20,25)

— I_i – действительная часть; — Q_i – мнимая часть

ВЫВОДЫ

- В основе работы логического алгоритма лежат следующие идеи:
- предварительное решение о значении очередного бита на каждом i -м отсчете квадратуры принимается по знаку действительной составляющей сигнала и знаку производной мнимой части сигнала;
- окончательное решение о том, какой информационный бит принят, выносится при превышении суммой предварительных решений половины дискретной длины единичного интервала;
- после каждого окончательного решения проводится сброс сумм предварительных решений на число, которое позволяет установку начала счетчиков единиц и нулей на начало бита с учетом числа ошибок. Ошибочные символы набираются из-за искажения сигнала шумом и из-за «плавающей» скорости передачи. Логический алгоритм робастен к тактовой синхронизации;

Развитие магнитометрии необходимо для картографии, навигации морских подвижных объектов, поиска затонувших объектов, защиты кораблей и судов от минного оружия, для укрытия подводных лодок (ПЛ) в магнитном поле Земли (МПЗ) от магнитометрических средств обнаружения противника и др. Учитывая важность для ВМФ магнитометрических систем, представляется целесообразным рассмотреть достигнутый уровень их развития, а также возможные пути совершенствования известных способов использования и появления новых перспективных.

Рассмотрение темы статьи логично начать с анализа основных характеристик МПЗ, которое меняется в пределах 50 000–70 000 нТл. Оно подвержено вековым изменениям, которые достигают 100–120 нТл в год. Магнитный полюс не стоит на месте. В настоящее время он перемещается со скоростью около 40 км/год.

МПЗ имеет две составляющие: нормальную и аномальную. Магнитные аномалии могут иметь размеры от нескольких километров до сотен. Значительные аномалии МПЗ, в частности, имеют место в Баренцевом, Балтийском и Белом морях. Особенностью аномальной составляющей МПЗ (в отличие от нормальной) является ее высокая стабильность во времени, поскольку ее источниками служат ферромагнитные минералы, находящиеся в океане на глубинах до 1,5–3 км. Градиенты нормальной составляющей МПЗ – сотые и тысячные доли нТл/м. Пространственный градиент аномальной составляющей – 10–30 нТл/м.

Анализ состояния разработок и использования морской магнитометрической аппаратуры показывает, что перспективы ее развития связаны, в первую очередь, с возможностью размещения их чувствительных элементов непосредственно на борту объекта.

В последние годы предложено семь новых методов борьбы с магнитными помехами объекта. Два из них проверены на разработанных, созданных и испытанных в стендовых (на метрологическом полигоне ВНИИМ им. Д. И. Менделеева) и морских условиях (на гидрографических судах) макетных образцах магнитометрических систем, способных работать непосредственно на борту корабля, судна или иного морского объекта [1]. В этих системах в качестве магниточувствительного элемента (МЧЭ) использованы феррозонды, способные в отличие от существующих МЧЭ морских магнитометров измерять не модуль, а полный вектор магнитной индукции и три его составляющие. Чувствительность феррозондов порядка 0,01 нТл, динамический диапазон $+(-) 2 \cdot 10^5$ нТл, погрешность измерения – 0,02%. Они обладают высокой надежностью и устойчивостью к механическим и температурным воздействиям.

- при вынесении предварительных решений эффективно использование порога, т. е. исключение из анализа «проблемных» участков: интервалов около перехода через нуль действительной части дискретного сигнала.

При обработке суммы сигнала с некоррелированными отсчетами шума – белым шумом – для нормальной работы алгоритма следует выполнить простую подготовку данных – отсчеты квадратур берутся через промежуток дискретного времени, в целое число раз меньший единичного интервала, и усредняются на этом промежутке.

По трем отсчетам квадратуры выносятся промежуточные решения независимо от того, какова фаза f_s . Когерентный эталон не требуется.

Вычислительная сложность алгоритма обычно оценивается числом умножений. В логическом алгоритме умножений нет. ■

НОВЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МОРСКИХ МАГНИТОМЕТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ

*П. И. Малеев, д-р техн. наук, вед. науч. сотрудник АО «ГНИНГИ»,
контакт. тел. (812) 322 2113*

В основе этих методов борьбы с магнитными помехами объекта лежат уравнения Пуассона, имеющие вид

$$\begin{aligned} V_x &= (1+a)V_{xвн} + bV_{yвн} + cV_{zвн} + V_{xp}; \\ V_y &= dV_{xвн} + (1+e)V_{yвн} + fV_{zвн} + V_{yp}; \\ V_z &= gV_{xвн} + hV_{yвн} + (1+k)V_{zвн} + V_{zp}, \end{aligned}$$

где x, y, z – продольная, поперечная и вертикальная оси объекта; V_x, V_y, V_z – компоненты магнитной индукции Земли, искаженные влиянием ферромагнитного объекта; $V_{xвн}, V_{yвн}, V_{zвн}$ – компоненты магнитной индукции МПЗ (вдоль осей x, y, z); $a, b, c, d, e, f, g, h, k$ – параметры Пуассона (коэффициенты пропорциональности между компонентами внешнего магнитного поля и вызываемыми ими составляющими индуктивной намагниченности объекта); V_{xp}, V_{yp}, V_{zp} – проекции вектора «жесткой» намагниченности объекта на координатные оси x, y, z соответственно.

Реализация новых методов борьбы с магнитными помехами объекта позволяет значительно улучшить существующие методы использования магнитометрических систем на морских объектах и разработать новые.

Съемка МПЗ в интересах картографии. Как уже отмечалось, магнитные полюса Земли постоянно перемещаются. Это ведет к необходимости систематического (через три–пять лет) обновления морских карт МПЗ. В настоящее время съемка этого поля в морских условиях (для исключения влияния магнитного поля самого объекта) выполняется с помощью магнитометров, буксируемых за объектом на расстоянии 100–200 м, что крайне ограничивает возможности использования этих систем. Один буксируемый магнитометр обеспечивает магнитную съемку с погрешностью 10–15 нТл в средних широтах и 30–40 нТл – в высоких. При использовании двух разнесенных буксируемых магнитометров (градиентный метод) погрешность съемки снижается до 5–10 нТл во всех широтах.

Использование бортовых магнитометрических систем позволит значительно упростить съемку МПЗ на морских акваториях.

Судовые магнитные компасы. В соответствии с рекомендациями Международной морской организации по вопросам судовождения (ИМО) магнитные компасы должны устанавливаться на всех судах. Точность измерения курса магнитными компасами находится в пределах 0,5–2 град.

В настоящее время серийно выпускается значительное число модификаций магнитных компасов. Для снижения влияния на их работу магнитных помех самого объекта компасы стараются размещать по возможности вдали от металлических корабельных построек и, как правило, на верхней палубе. Это ведет к необходимости дистанционной трансляции курса внутрь корабля, что осуществляется с помощью: вращающихся трансформаторов (КМ145 и КМ145-П), электрической следящей системы (КДЭ-П), индукционной следящей системы (МИК-1, «Зонд-М») или оптической передачи с помощью волоконной оптики (КМО-Т).

Отмеченные выше методы борьбы с магнитными помехами объекта – носителя магнитного компаса позволяют надеяться на возможность их размещения непосредственно внутри объекта.

Абсолютные магнитометрические лаги. Для измерения скорости морских объектов относительно Земли в современных условиях широко используются абсолютные гидроакустические лаги. Одним из существенных недостатков таких лагов, особенно при их использовании на ПЛ, является возможность демаскирования объекта. Рассматривая перспективы развития флота, главнокомандующий ВМФ отмечал, что «главное направление совершенствования и развития ПЛ мы видим в радикальном снижении шумности» [2]. Это диктует необходимость поиска новых путей решения и проблемы измерения абсолютной скорости, в частности, за счет использования магнитных полей.

Успехи методов борьбы с магнитными помехами дают основание надеяться на положительное решение проблемы определения скорости морских подвижных объектов.

Способы определения абсолютной скорости по МПЗ можно условно подразделить на четыре группы:

- магнитокорреляционные (по транспортному запаздыванию);
- магнитогradientометрические (по градиентам поля);
- геоэлектроманнитные (по ЭДС, наводимой в проводящем контуре, перемещающемся в поле);
- магнитореperные.

1. В состав аппаратуры *магнитокорреляционных измерителей скорости* входят (как минимум) два датчика магнитного поля, разнесенных в направлении движения объекта на известное расстояние, и устройство сравнения. При движении объекта сигналы от разнесенных датчиков магнитного поля будут сдвинуты по времени на величину запаздывания. Совмещение сигналов в устройстве сравнения может проводиться по совпадению показаний датчиков путем корреляционной обработки. При размещении на объекте датчиков поля и в ортогональной плоскости появляется возможность измерения не только путевой скорости, но и угла сноса.

Проверка способа при стендовых испытаниях осуществлялась с помощью имитатора магнитной аномалии, расположенного на движущейся тележке. Морские испытания макетного образца бортового магнитометрического лага проводились на гидрографическом судне ГС-403 по специально разработанной методике. К сожалению, на этом судне система, позволяющая определять угловые положения судна (курс, крен и дифферент), обладала точностью лишь 6 угл. мин. (при необходимой точности не хуже 0,7 угл. мин), что ограничивало точность измерения скорости. Измеренная макетным образцом скорость сравнивалась с данными по скорости, вырабатываемыми штатной для этого судна спутниковой навигационной аппаратурой «Бриз». Испытания такого лага проводились как по естественным аномалиям МПЗ, так и по искусственному магнитному источнику.

Результаты испытаний макетного образца магнитометрического лага, работающего по МПЗ, подтвердили возможность его использования при наличии градиента аномалий МПЗ в десятки доли нТл/м. В абсолютных значениях погрешности измерения скорости находились в пределах 0,08–0,5 уз при

времени осреднения показаний не более 20 секунд. Погрешности определения скорости судна, вырабатываемых судовой аппаратурой «Бриз», оказалась в пределах от 0,01 до 0,1 уз.

Основные положительные стороны магнитометрического лага:

- недемаскирующий характер работы;
- относительно малые массогабаритные характеристики;
- малое потребление энергии;
- возможность работы как по естественным аномалиям МПЗ, так и по искусственным магнитным телам (затонувшим объектам, искусственным магнитным реперам и т. п.).

2. В основе работы *магнитогradientометрических лагов* лежит использование пространственного градиента магнитного поля. При этом применение одного датчика магнитного поля требует предварительного знания градиента поля. При наличии двух разнесенных датчиков предварительного знания градиента поля не нужно. Величину скорости находят по разности синхронных показаний датчиков поля. Такой лаг может быть использован лишь в полях с постоянным (по крайней мере, на длине измерительной базы), отличным от нуля, пространственным градиентом. Кроме того, градиент должен быть постоянным во времени (по крайней мере, за цикл измерения).

3. Работу *магнитореperного измерителя скорости* можно представить следующим образом: с помощью разнесенных на известное расстояние датчиков поля периодически, через известные промежутки времени, определяются векторы магнитной индукции источников поля. Разность этих векторов, деленная на промежуток времени соответствует скорости объекта.

4. *Геоэлектроманнитные лаги* известны давно. Однако в силу ряда их недостатков они к настоящему времени не получили должного развития. Возможные пути повышения эффективности работы таких лагов рассмотрены нами в [3].

Магнитометрические способы определения координат места морских объектов. Известны две группы способов определения местоположения подвижного морского объекта по магнитному полю. В основе *первой группы* лежит использование распределения нормальной составляющей МПЗ. Эти способы не требуют предварительной магнитной съемки Земли. Однако достижимая точность определения места по этой составляющей МПЗ невелика, по оценкам, погрешность может достигать 10 км и более.

Более информативными для решения проблемы определения координат места подвижного морского объекта являются способы *второй группы*, которые используют аномальные магнитные поля. Эти способы основаны на сопоставлении тех или иных параметров магнитного поля, измеренных в процессе observations, с заранее определенными этими же параметрами и нанесенными на соответствующих носителях (карте, ЭВМ).

Задача определения места на предварительно подготовленном «магнитном полигоне» может быть решена по меньшей мере тремя способами:

- поисковым, путем сравнения измеренного параметра с аналогичным параметром, определенным заранее [4];
- поисковым с помощью формул Бейса [5];
- беспoисковым, методом рекуррентной оценки по произвольной траектории движения [6].

Нами предложено два новых способа таких определений. Суть одного из них состоит в одновременном измерении трехкомпонентными магнитометрами проекций вектора магнитной индукции или их разности в трех разнесенных точках пространства. Другой способ представляется более перспективным. Он предполагает использование четырех или пяти трехкомпонентных магнитометров, размещенных на объекте на одинаковом расстоянии от выбранной точки объекта.

Помимо МПЗ для решения рассматриваемой проблемы могут быть использованы и специальные уложенные на морском дне намагниченные тела, в том числе затонувшие объекты, координаты которых заранее определены.

Подтверждением перспективности использования магнитометрических методов определения координат места морского объекта по магнитному полю являются результаты стендовых и объектовых натурных испытаний макетного образца магнитометрической системы на гидрографическом судне ГС-270 в акватории Финского залива. Информация об углах крена и дифферента (как и при измерении скорости, описанной выше) бралась с опытной аппаратуры «Шар», а курс – со штатной системы курсоуказания объекта. За неимением карты МПЗ в районе испытания необходимо было прежде всего провести измерение данной системой МПЗ по пути следования объекта. С этой целью в процессе движения ГС-270 неизменным курсом был выбран отрезок пути длиной 800 м, на котором производился одновременный съем показаний с магнитометрической системы, аппаратуры «Шар», судового гирокомпаса и пеленгатора. По этим данным определялось МПЗ на выбранном участке акватории. Затем на обратном пути движения объекта проводились те же измерения и расчеты МПЗ. Пеленг при прямом и обратном движении судна брался на Толбухин маяк.

Испытания показали, что погрешность измерения координат места судна по МПЗ не превысила 200 м при погрешности определения координат места по пеленгам 80–100 м. Одним из наиболее существенных составляющих погрешностей является погрешность в определении качек и курса объекта.

Коррекция навигационных комплексов подводных лодок по магнитному полю. Одной из существенных проблем современных навигационных комплексов (НК) пЛ является демаскирующий характер использования гидроакустического лага и необходимость периодической коррекции погрешностей, накапливающихся со временем из-за дрейфа используемых гироскопов и акселерометров. Проведенный анализ состояния развития средств коррекции НК [7, 8] показал, что решение проблемы возможно за счет использования аномальных составляющих МПЗ. А в тех местах акватории, где аномалии МПЗ малые, а необходимость коррекции имеется, можно использовать искусственные намагниченные тела–реперы (затонувшие объекты, специально размещенная магнитная руда и т. п.). При таком использовании магнитного поля для коррекции НК пЛ необходимо на борту пЛ иметь бортовую магнитометрическую систему, а на акватории – предварительно определенные координат места аномалий МПЗ или магнитных реперов. Существенно отметить, что координаты аномалий МПЗ и реперов остаются неизменными пока их не разрушит какая-нибудь катастрофа.

Повышение точности инерциальной навигационной системы пЛ за счет использования магнитометрического способа снижения погрешностей в определении уклонения отвесной линии. Одним из параметров, влияющих на точность работы НК пЛ и ее инерциальной системы, а также на точность ракетных стрельб является уклонение отвесной линии (УОЛ), которая связана с аномальной составляющей гравитационного поля Земли. Дальнейшее повышение точности автономной навигации с использованием ИНС без повышения точности определения УОЛ практически невозможно. Величина УОЛ в океане может достигать 60–90 угл. с, что может привести к методической погрешности определения координат места пЛ до 2 км. Эта погрешность связана с эффектом Этвеша, возникающим при перемещении объекта по вращающейся Земле. Для уменьшения этой погрешности необходима высокоточная информация о скорости объекта. Использование для этой цели абсолютного гидроакустического лага может привести к демаскированию пЛ. Одним из возможных путей решения этой проблемы является использование описанного выше магнитометрического лага [9].

Другие перспективные направления использования морских бортовых магнитометрических систем. Возможности создания магнитометрических систем, способных работать на борту морских подвижных объектов, открыва-

ет широкие перспективы в решении ряда других, важных задач, таких как:

- 1) диагностика подводных нефтегазовых трубопроводов [10];
- 2) поддержание намагниченности морского объекта на уровне МПЗ в любом районе плавания с целью защиты от магнитных мин и обеспечения скрытности пЛ от магнитных средств обнаружения противником;
- 3) выработка информации в интересах размагничивания объекта;
- 4) скрытое обнаружение подходящих к пЛ других морских объектов;
- 5) обследование предполагаемой трассы прокладки трубопроводов на предмет затонувших объектов, мин и т. п.;
- 6) обследование районов баз, портов и других районов акватории, по которым планируется перемещение нефтегазовых танкеров и судов, на предмет обеспечения их безопасности от затонувших объектов;
- 7) обследование затонувших объектов;
- 8) снятие магнитной карты в районах установки буровых скважин и платформ для последующего использования ее в интересах определения их местоположения, а также местоположения водолазов, подводных аппаратов и т. п. относительно скважин и платформы в период обследования и ремонта этого оборудования;
- 9) поиск мест установки буровых скважин и платформ в период их временного оставления и в аварийных ситуациях;
- 10) осуществление совместно с другими средствами поиска углеводородных и железистых месторождений на шельфе и др.

Выводы

Разработанные семь новых методов борьбы с магнитными помехами более совершенны по сравнению с известными ранее. Два из них проверены на макетных образцах в стендовых и натуральных морских условиях, что и подтвердило их перспективность. Возможности остальных также заманчивы.

Точность работы бортовых магнитометрических систем тем выше, чем выше точность информации о курсе и качках объекта.

Бортовая магнитометрическая система имеет относительно малые массогабаритные параметры и потребляет незначительную мощность. Использование таких систем открывает перспективы не только для навигации и гидрографии, но и ряда других направлений, важных для ВМФ и морехозяйственной деятельности страны.

ЛИТЕРАТУРА

1. Малеев П. И. Перспективы развития магнитометрических систем для морских подвижных объектов // Навигация и гидрография. – 2010. – Вып. 29. – С. 18–25.
2. Куроедов В. И. Военно-Морской флот и национальные интересы России // Военная мысль. – 1999. – №3. – С. 22–27.
3. Малеев П. И., Муратов А. И. К вопросу повышения точности геоэлектроманнитных измерителей скорости. – Мат-лы Межотраслевой 13-й науч.-техн. конф. памяти Н. Н. Острякова, 19–21.10.1982. – СПб.: Изд. «Румб», 1983, с. 95–99.
4. The journal of Navigation. – 1977. – Vol. 30 (May). – №2. – P. 296–306.
5. Report of Center for Naval Analyses CRC 229. – 1973. – January. – P. 21–25.
6. Navigation (USA) 1969. – Vol. 16. – №3. – P. 271–278.
7. Малеев П. И., Хлыталю Ю. Г. Возможные направления развития средств коррекции корабельных навигационных комплексов // Навигация и гидрография. – 2016. – Вып. 43. – С. 7–12.
8. Малеев П. И. Возможности создания системы коррекции корабельных навигационных комплексов по магнитному полю // Навигация и гидрография. – 2016. – Вып. 44. – С. 9–15.
9. Малеев П. И. Место гравиметрической аппаратуры среди корабельных средств навигации и перспективы ее развития // Навигация и гидрография. – 2016. – Вып. 44. – С. 16–21.
10. Малеев П. И. Основные проблемы диагностики подводных нефтегазовых трубопроводов и возможные пути их решения // Морской вестник. – 2014. – №4 (52). – С. 93–96. ■

Столкновение и навал – два подвида опасности, различающиеся по энергии взаимодействия судна с установкой при контакте. В ряде случаев столкновение и навал могут стать причиной гибели установки. Так, например, в 2005 г. многоцелевое судно осуществило навал на газодобывающую платформу на морском шельфе приблизительно в 160 км от побережья Мумбаи (Индия).

В результате навала был поврежден райзер, что вызвало истечение газа и его воспламенение. Огонь перекинулся на соседние райзеры, платформа в течение двух часов была полностью уничтожена пожаром, 22 человека погибли (рис. 1).



Рис. 1. Пожар на Mumbai High North Platform в результате навала [8]

С целью снижения риска столкновения и навала нормативными документами устанавливается вокруг установки зона безопасности, которая, как правило, имеет радиус 500 м. В зону безопасности заход запрещен за исключением обслуживающих судов, движение которых допускается с ограничением по скорости хода.

Столкновения обычно происходят при движении судна своим ходом при пересечении маршрута в зоне безопасности из-за неэффективного несения вахты. Столкновению способствует плохая видимость из-за тумана или осадков, которые одновременно ухудшают работу радиолокатора.

Последствия от столкновений, как правило, достаточно серьезные (например, гибель опор установки, повреждение водоотделительной колонны – райзера и т. п.), после чего ее дальнейшая эксплуатация невозможна, а иногда она полностью разрушается.

Навал имеет место при низких скоростях движения судна во время его маневрирования вблизи установки из-за дрейфа от сильного ветра, течения, сил инерции при отказе главного двигателя, рулевого или подруливающего устройств, а также вследствие ошибок судоводителя. В подавляющем большинстве случаев навал происходит с судами, обслуживающими буровую установку: суда снабжения, крановые баржи, дежурные и водолазные суда, буксиры развозки якорей, челночные танкеры по вывозу нефти с добывающей установки и другие рабочие суда. Причем большая часть приходится на суда снабжения (табл. 1).

ВЕРОЯТНОСТЬ СТОЛКНОВЕНИЯ СУДА С МОРСКОЙ БУРОВОЙ УСТАНОВКОЙ

М.Д. Емельянов, канд. техн. наук, зав. сектором АО «ЦНИИМФ»,
контакт. тел. (812) 251 5348, 939 1353

Примерное распределение аварийных случаев по типам судов, участвующих в столкновениях и навалах, приведено на рис. 2, построенного для морского шельфа Великобритании за 1975–2001 гг.

Повреждения от навала обычно умеренные и заключаются в появлении вмятин в неотчетливых элементах, не приводящих к потере герметичности конструкций и не препятствующих дальнейшей эксплуатации установки. Ремонт таких повреждений незначителен либо выполняется по мере накопления до предельно допустимого значения.

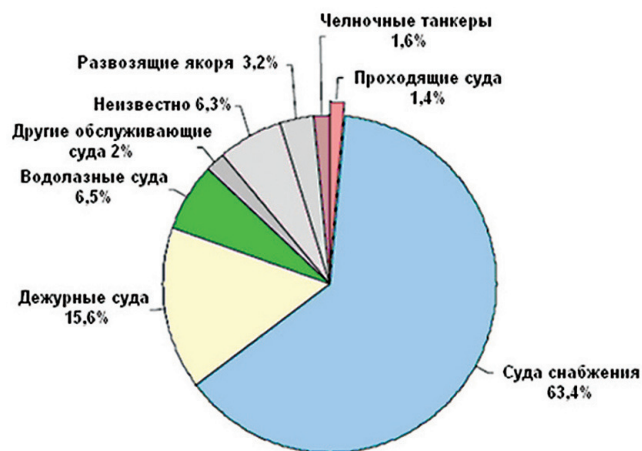


Рис. 2. Диаграмма распределения столкновений и навалов судов в зависимости от их типа [2]

Статистика аварийности свидетельствует о тенденции к уменьшению частоты столкновений/навала в последнее время (рис. 3), что явилось следствием совершенствования нормативных документов, применения автоматизированной идентификационной системы (АИС) и радарной системы раннего обнаружения (РСРО).

Частота столкновения/навала $f_{C/Н}$ (установка-год)⁻¹ может быть вычислена по формуле

$$f_{C/Н} = n \cdot P, \quad (1)$$

где n – интенсивность судоходства в непосредственной близости от установки (с курсовыми углами, пересекающими зону безопасности), судов/год; P – вероятность того, что столкновения/навала с данной установкой не избежать, 1/(установка-судно).

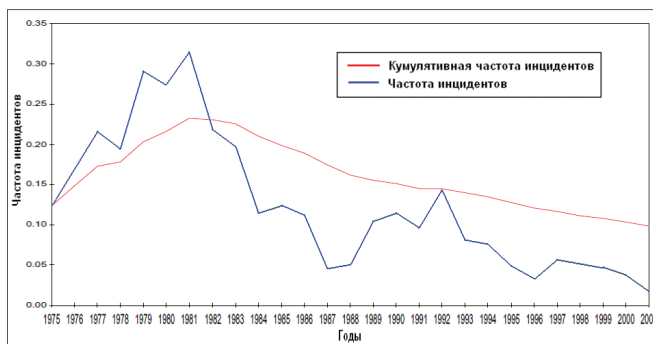


Рис. 3. Распределение частоты инцидентов всех типов установок по годам [2]

Таблица 1
Число столкновений и навалов в зависимости от типа обслуживающего судна (в мире) [1]

Тип судна	Распределение числа навалов, %, на установки	
	добывающие	буровые
Судно снабжения	34	60
Дежурное судно	19	11
Рабочее судно*	34	16
Буровая установка	7	6
Челночный танкер	3	1
Другое	3	5
Неизвестно	0	1

* Водолазное, крановое, судно развозки якорей и т.д.

Частота появления проходящих мимо судов в зоне безопасности установки может быть оценена по интенсивности судоходства около нее.

Для дрейфующих обслуживающих судов частота нахождения на курсовом угле столкновения зависит от того, где судно теряет ход или управление, а также от направления и силы течения и ветра.

Сравнение числа столкновений плавучих буровых установок (ПБУ) и буровых судов (БС) и морских стационарных платформ (МСП) с проходящими мимо судами показывает, что тяжести последствий у них практически совпадают. При этом частота аварийных случаев у ПБУ и БС несколько выше, чем у МСП, что можно рассматривать как следствие отсутствия корректировки морской навигационной карты на судне.

При навале обслуживающего судна на ПБУ и БС тяжесть последствий и частота аварийных случаев (АС) выше, чем при навале МСП, что является результатом совместного влияния качки судна и самой установки на энергию взаимодействия при контакте. При этом из-за более частого посещения обслуживающих судов ПБУ и БС частота навалов при бурении существенно выше, чем у добывающих стационарных и плавучих установок.

Распределение частоты столкновений и навалов на морском шельфе Великобритании приведены в табл. 2, полученной автором в работе [3] в результате обработки АС за 1990–2005 гг., представленных в широкоформатных таблицах Excel [4, 5].

Таблица 2

Распределение частоты столкновений и навалов

Тип установки	Частота АС f , (установка-год) ⁻¹
Столкновение мимоходящих судов:	
морские стационарные платформы	0,00485
все плавучие установки и суда	0,01043
Навал обслуживающих судов (добыча):	
морские стационарные платформы	0,01808
все плавучие добывающие установки и суда	0,07934
Навал обслуживающих судов (бурение):	
все плавучие буровые установки и суда	0,12323

СТОЛКНОВЕНИЕ МИМОПРОХОДЯЩЕГО СУДНА

Столкновение с морской платформой мимоходящего судна, не имеющего отказа СЭУ или проблем с рулевым устройством, может произойти при следующих трех условиях:

- судно находится на курсе столкновения с установкой;
- судоводитель/вахтенный не осознает, что судно держит курс на столкновение с установкой;
- команда платформы/дежурного судна неспособна своевременно обнаружить судно-нарушитель и предупредить его – «исправить» ситуацию.

К возникновению этих условий приводят следующие факторы:

- неэффективное несение вахты, в результате чего вахтенный не замечает, что судно движется с курсовым углом, приводящим к столкновению с установкой;
- погодные условия, ухудшающие видимость, рассеивающие сигнал радара и приводящие к появлению ложного эха;
- отсутствие на мимоходящем судне АИС, поломка или сбивка ее настроек;
- отсутствие системы автоматической радиолокационной прокладки (САРП) на дежурном судне;
- отсутствие АИС, радарной системы раннего обнаружения (РСРО), радарной системы, интегрированной с компьютеризированным мостиком, электронной картографической навигационной информационной системы (ЭКНИС) на дежурном судне или установке. Дальность обнаружения цели обычным судовым радаром составляет 12 миль, радарной системой дальнего обнаружения – 25 миль С 2008 г. все суда валовой вместимостью более 300 рег. т должны иметь АИС, что обеспечивает наибольшую вероятность обнаружения цели дежурным судном [6];

- высокая интенсивность судоходства в зоне охвата САРП;
- недостаточная высота установки антенны, определяющая дальность обнаружения цели;
- наличие теневых секторов от собственной металлоконструкции или группы установок;
- отсутствие на дежурно-спасательном судне световых и шумовых средств привлечения внимания.

Частота столкновений вычисляется по формуле (1), в которой интенсивность судоходства вблизи установки n может быть определена путем обработки базы данных, типа COAST [7]. Эта база содержит краткую информацию о маршрутах и типах судов, их размерах и скоростях, расстояниях до различных мимоходящих мест, к которой может получить доступ оператор для любой области. Можно самостоятельно создать требуемую базу данных, воспользовавшись веб-сайтом www.marinetraffic.com, с помощью которого можно получить информацию о маршрутах судов в интересующем районе в режиме on-line.

Вероятность P того, что столкновения не избежать, можно определить по формуле

$$P_1 = P_1(P_2 + P_3), \quad (2)$$

где P_1 – вероятность нахождения судна на курсе столкновения и неэффективного несения вахты при отсутствии (неисправности) на судне АИС, если на дежурном (многоцелевом) судне она имеется; P_2 – вероятность несвоевременного исправления режима движения судна; P_3 – вероятность попадания судна в теневую сектор.

Неэффективное несение вахты может иметь место, когда, например, вахтенный отсутствует на ходовом мостике или занят выполнением других обязанностей, либо заснул, болен или находится в состоянии опьянения. Если при этом на судне отсутствует АИС или произошла ее поломка либо сбивка настроек, то это создает предпосылку к столкновению. Относительно установок, недавно поставленных на точку, вероятность неэффективного несения вахты выше, чем давно находящегося на точке, поскольку вахтенный может не знать о ее существовании. Обычно это относится в плавучим буровым установкам и судам. Судоводитель может также не учесть, что ветер и течение могут отклонить судно от запланированного маршрута, особенно если он проложен среди групп установок. Ситуация усугубляется при плохой видимости совместно с необнаруженной радарной ошибкой.

Вероятность несвоевременного исправления режима движения судна P_2 можно рассматривать как вероятность того, что время реагирования приближающегося судна τ_p будет больше времени τ_o от момента его радарного обнаружения до входа в 500-метровую зону безопасности, т.е.

$$P_2 = \Pr[\tau_o < \tau_p].$$

Вероятность

$$P_2 = \int_0^{\tau_A} p_o(\tau) d\tau + \int_{\tau_A}^{\infty} p_p(\tau) d\tau, \quad (3)$$

где $p_o(\tau)$ и $p_p(\tau)$ – плотности вероятности времени обнаружения судна-нарушителя и на исправление ситуации, соответственно; τ_A – ордината, при которой плотности вероятности времени на обнаружение и исправление равны (точка пересечения кривых плотностей вероятности на рис. 4).

Перевод расстояния до судна-нарушителя D , мили, во время до предполагаемого входа в зону безопасности установки τ , мин, определяется по формуле

$$\tau = 60D / v,$$

где v – скорость судна-нарушителя, уз.

Вероятность P_2 соответствует затененной площади на графике рис. 4.

На основе обработки результатов экспертной оценки [7] получены данные для определения расстояния обнаружения цели (табл. 4) и времени реагирования для судна, двигающегося со скоростью 12 уз (табл. 5). Распределения вероятности

расстояния обнаружения приближающегося судна и вероятности времени его реагирования близки к нормальному закону. При этом распределение вероятности расстояния обнаружения может быть усеченным снизу (расстояние до цели $D = 0$), распределение вероятности времени реагирования судна-нарушителя – усеченным сверху ($\tau_{yc} = 45$ мин). Характер кривых плотностей вероятности представлен на рис. 5.

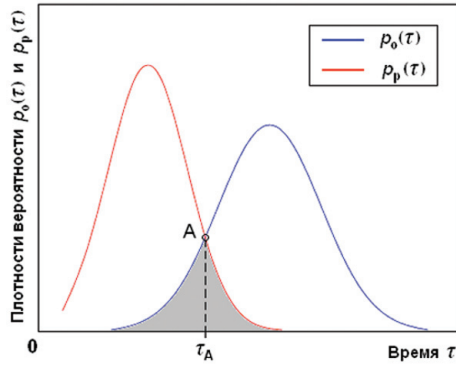


Рис. 4. Распределение времени обнаружения цели и исправления ситуации

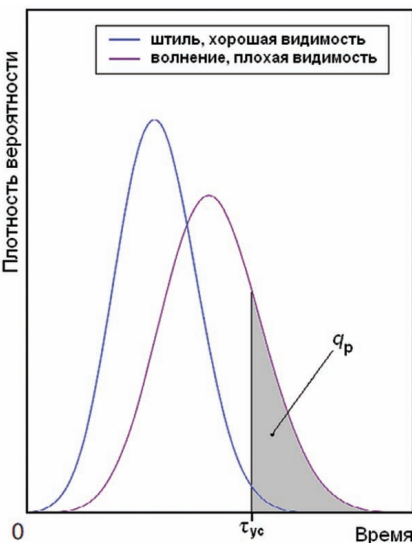
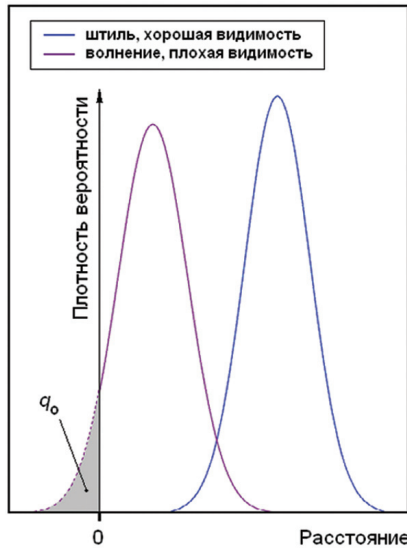


Рис. 5. Плотности вероятности распределения расстояния обнаружения приближающегося судна (а) и времени его реагирования (б)
 q_0, q_p – вероятность не обнаружить и вероятность не реагировать

При нормальных законах распределения времени обнаружения и времени реагирования вероятность несвоевременного исправления режима движения судна P_2 можно вычислить из условия $(\tau_0 - \tau_p) < 0$. Поскольку новая переменная $x = (\tau_0 - \tau_p)$ также подчинена нормальному закону с математическим ожиданием $\mu = \mu_0 - \mu_p$ и дисперсией $\sigma_2 = \sigma_0^2 + \sigma_p^2$, то вероятность вычисляется по зависимости для нормированного нормального распределения $\Phi(t)$, где $t = (-\mu/\sigma)$ – нормированное отклонение.

Вероятность попадания судна-нарушителя в теневую сектор P_3 при радарном контроле может быть вычислена как сумма углов теневых секторов φ , отнесенная к углу полного круга, т. е.

$$P_3 = \sum \varphi / 360^\circ \quad (4)$$

В случае наличия АИС на мимопроходящем и на дежурном (многоцелевом) судах теневыми секторами можно пренебречь, т. е. $P_3 = 0$.

Пример: Рассчитать вероятность столкновения f_C с одиночно стоящей МСП для грузового судна, движущегося со скоростью $v = 15$ уз, не имеющего АИС, при интенсивности судоходства в 2 раза ниже, чем на морском шельфе Великобритании. Радар установлен только на дежурном судне. Предполагается, что стандартное среднестатистическое грузовое судно оснащено АИС. Погодные условия соответствуют сценарию №1 в табл. 4 и 5.

Для стандартного среднестатистического судна

$$(n \cdot P) = n \cdot P_1 \cdot P_2 = 0,00485 \text{ (см. табл. 2),}$$

$$P_2 = q_p = (1 - 0,911) = 0,089 \text{ (см. табл. 5).}$$

$$\text{Откуда } (n \cdot P) = 0,00545 \text{ (установок-год)}^{-1}.$$

Вероятность несвоевременного исправления режима движения судна P_2 для грузового судна по формуле (3) равна 0,625 при параметрах распределения времени обнаружения (см. табл. 3):

$$\mu_0 = \frac{60\bar{x}}{v} = \frac{60 \cdot 6,58}{15} = 26,32 \text{ мин; } \sigma_0 = \frac{60\sigma_{\hat{x}}}{v} = \frac{60 \cdot 1,66}{15}$$

и при распределении времени реагирования (см. табл. 5):

$$\mu_p = 30,4 \text{ мин; } \sigma_p = 10,9 \text{ мин.}$$

Окончательно вероятность столкновения

$$f_C = \frac{(n \cdot P)}{2} P_2 = \frac{0,0545}{2} \cdot 0,625 = 0,017 \text{ (установок-год)}^{-1}.$$

НАВАЛ ОБСЛУЖИВАЮЩИХ СУДОВ

Навал в основном происходит бортом судна при ошибках судоводителя при маневрировании (45%), из-за отказа механического оборудования (33%), например, подруливающих устройств, а также из-за погодных условий (22%), таких, как неожиданные порывы ветра, вызывающие дрейф судна [7].

Влияние географического положения установки и преобладающих погодных условий на частоту навала представлено в табл. 3 [1].

Таблица 3

Частота навала обслуживающих судов в зависимости от региона

Регион	Частота навала в 1990–2002 гг. Средние значения в мире, (установка-год) ⁻¹
Африка	$0,36 \times 10^{-3}$
Азия	$0,17 \times 10^{-3}$
Центральная и Южная Америка	$0,59 \times 10^{-3}$
Европа: Северное море	$0,96 \times 10^{-2}$
Ближний Восток	$0,11 \times 10^{-3}$
США: Мексиканский залив	$0,24 \times 10^{-3}$
Морской шельф Великобритании	см. табл. 2

Пример: Рассчитать вероятность навала f_H на плавучую добывающую установку судна-снабженца для условий морского шельфа Великобритании.

В соответствии с табл. 1 и 3 вероятность навала

$$f_H = 0,34 \times 0,07934 = 0,027 \text{ (установок-год)}^{-1}.$$

В заключение необходимо отметить основные направления снижения вероятности столкновения или навала.

Для предотвращения столкновения мимопроходящего судна с установкой первостепенное значение имеет время обнаружения судна-нарушителя, движущегося с острым курсовым углом к установке. Поэтому будут эффективны такие меры, как:

Расстояние и вероятность обнаружения цели

№ сценария	Интенсивность судоходства	Видимость	Скорость ветра, м/с	Высота волны $h_{1/3}$, м	Тип радара	Расстояние обнаружения, мили		Вероятность обнаружения, p_0	Параметры исходного неусеченного распределения, мили		Зона обнаружения, мили
						Среднее	Дисперсия		Матем. ожидание \bar{x}	Стандарт σ_x	
1	Низкая	Хорошая	5	2	Морской радар на дежурном судне	6,66	2,48	0,98	6,58	1,66	12,00
					САРП на дежурном судне	11,13	1,76	1,00	14,33	2,64	12,75
					РСРО на установке	11,87	0,50	1,00	14,73	1,69	12,69
					АИС на дежурном и приближающемся судне	12,00	0	1,00	12,00	-	12,00
2	Высокая	Хорошая	5	2	Морской радар на дежурном судне	5,52	2,67	0,89	5,11	1,96	12,00
					САРП на дежурном судне	10,66	2,54	0,97	10,54	1,72	12,00
					РСРО на установке	11,87	0,50	1,00	14,73	1,69	12,69
					АИС на дежурном и приближающемся судне	12,00	0	1,00	12,00	-	12,00
4	»	Плохая (туман)	0	2	Морской радар на дежурном судне	5,09	2,66	0,86	4,57	2,02	12,00
					САРП на дежурном судне	10,66	2,54	0,99	10,62	1,65	12,00
					РСРО на установке	11,87	0,50	1,00	14,73	1,69	12,69
					АИС на дежурном и приближающемся судне	12,00	0	1,00	12,00	-	12,00
5	»	Плохая (осадки)	5	2	Морской радар на дежурном судне	4,28	2,99	0,68	2,96	2,50	12,00
					САРП на дежурном судне	8,30	3,75	0,86	7,68	2,40	12,00
					РСРО на установке	10,45	2,50	0,99	10,41	1,63	12,00
					АИС на дежурном и приближающемся судне	11,74	0,99	1,00	15,77	2,37	12,89
7	Низкая	Плохая	0	2	Морской радар на дежурном судне	5,96	2,81	0,89	5,72	1,13	12,00
					САРП на дежурном судне	11,13	2,54	1,00	14,97	3,17	13,08
					РСРО на установке	11,87	0,50	1,00	14,73	1,69	12,69
					АИС на дежурном и приближающемся судне	12,00	0	1,00	12,00	0	12,00
8	»	Хорошая	10	5	Морской радар на дежурном судне	4,28	2,99	0,68	2,96	2,50	12,00
					САРП на дежурном судне	8,30	3,75	0,86	7,68	2,40	12,00
					РСРО на установке	10,45	2,50	0,99	10,41	1,63	12,00
					АИС на дежурном и приближающемся судне	11,74	0,99	1,00	15,77	2,37	12,89

Таблица 5

Требуемое время для установления связи по УКВ с мимопроходящим судном и его уклонением от столкновения при скорости хода 12 уз ($\tau_{uc} = 45$ мин.)

№ сценария	Видимость	Высота волны $h_{1/3}$, м	Время реагирования, мин		Вероятность выполнения p_p	Параметры исходного неусеченного распределения, мин.	
			Среднее	Дисперсия		Матем. ожидание μ_p	Стандарт σ_p
1, 2	Хорошая	2	26,5	86	0,911	30,4	10,9
4, 5, 7	Плохая	2	26,0	143	0,531	43,5	19,4
8	Хорошая	5	25,5	121	0,647	38,9	16,3

– несение вахты как на дежурном судне, так и на самой установке по радарному наблюдению за проходящими мимо судами;

– применение на установке радарной системы раннего обнаружения (РСРО);

– наличие на дежурном судне системы автоматической радиолокационной прокладки (САРП);

Как следует из выполненного исследования, наиболее эффективными мерами по снижению количества навалов обслуживающих судов являются следующие:

– улучшение планирования логистики и снижение общего числа посещений установки судами снабжения;

– обработка обслуживающих судов на возможно большем удалении от установки, например, отгрузка нефтепродуктов на челночный танкер через манифольд (бакен);

– расположение грузовых кранов с обеих сторон установки с тем, чтобы грузоподъемные операции выполнялись при нахождении судна с подветренной стороны и т. п.

ЛИТЕРАТУРА

1. Risk Assessment Data Directory. Ship/Platform collision//– 2010. – Rep. №.434–16 OGP, March.
2. Ship/platform collision incident database (2001). Health and Safety Executive (HSE)//Res. Report Series. – 2003. – Rep. №.RR053.
3. Емельянов М.Д. Условный измеритель риска аварий для буровых судов, плавучих буровых установок и морских стационарных платформ//Нефть. Газ. Новации. – 2014. – № 11. – С. 59–64.
4. Accident statistics for fixed offshore units on the UK Continental Shelf 1980–2005. Det Norske Veritas/UK Health & Safety Executive//Res. Report Series. – 2007. – Rep. №. RR566.
5. Accident statistics for floating offshore units on the UK Continental Shelf 1980–2005. Det Norske Veritas/UK Health & Safety Executive//Res. Report Series. – 2007. – Rep. №.RR567.
6. Overview of collision detection in the UKCS. Health and Safety Executive (HSE)//Res. Report Series. – 2006. – Rep. №. RR514.
7. Effective Collision Risk Management for Offshore Installations, Offshore Technology//Rep. OTO 1999 052, Jan. 2000, Sudbury, Suffolk: HSE Books.
8. http://vk.com/neftegasnews?w=wall-26566316_3463/e9b746370ce7c2c244 ■

Николай Матвеевич Лужин родился 27 ноября 1927 г. в деревне Загрязская Муромского района Владимирской области.



После окончания в 1942 г. 7-го класса Николай работал в колхозе, затем был учеником токаря и токарем в паровозном депо Муром. В 1950 г. с отличием закончил судомеханический техникум в рабочем поселке Мордовшиково (ныне город Навашино Нижегородской области) и по распределению направлен на работу в Ленинград на судостроительный завод им. А. Марти (в 1957 г. переименован в «Адмиралтейский завод», в настоящее время – АО «Адмиралтейские верфи»), где был принят на должность конструктора 3-й категории в конструкторское бюро, в группу заместителя главного конструктора завода Б. И. Степанова. Группа разрабатывала карты доизношенного насыщения помещений строящегося крейсера пр. 68бис «Орджоникидзе». Впоследствии Н. М. Лужин говорил, что ему повезло с началом работ именно в этой группе, так как довелось изучить большой объем чертежей по корпусу, изоляции, размещению оборудования, механизмов, средств и систем вооружения корабля и т. п. Нужно было взаимодействовать с технологами, строителями, военпредами, другими специалистами, задействованными в технологическом процессе строительства корабля.

В 1956 г. Н. М. Лужин без отрыва от производства с отличием окончил Ленинградский кораблестроительный институт, в 1961 г. – курсы усовершенствования инженерно-технических работников Ленсовнархоза (старшая ступень).

На заводе Н. М. Лужин прошел путь от конструктора, начальника группы,

К 90-ЛЕТИЮ Н.М. ЛУЖИНА

*В.Л. Александров, д-р техн. наук, проф.,
почетный президент РосНТО судостроителей им. акад. А. Н. Крылова,
контакт. тел. (812) 315 5027*

заместителя главного конструктора по специализации «Разработка подъемно-опускных устройств надводных кораблей с обтекателями», в которых размещались гидроакустические станции, до главного инженера ОКБ – заместителя главного конструктора завода. Участвовал в строительстве крейсеров пр. 68бис, первого в мире атомного ледокола «Ленин», судов танкерного, рыбопромыслового и рыбоперерабатывающего флотов, дизель-электрических и атомных подводных лодок и др.

В 1959 г. на «Адмиралтейском заводе» создается ОКБ-194, в состав которого были включены все отделы КБ.

Главным инженером ОКБ в июле 1960 г. и был назначен Н. М. Лужин, а в январе 1961 г. – заместителем главного конструктора завода – главным инженером ОКБ. Перед этой многопрофильной проектно-конструкторской организацией стояла задача проектировать ПОУ по техзаданиям и договорам с: ЦКБ-53, ЦКБ-17, ЦКБ-363, Зеленодольским ЦКБ. Наблюдение за проектированием со стороны ВМФ вели НИИ в/ч 10729, НИИВК в/ч 27727. Согласование проектов осуществлялось с разработчиком гидроакустических систем НИИ-3, впоследствии НИИ «Морфизприбор», затем НПО «Океанприбор». Исследовательские работы по обтекателям выполняли ЦНИИ им. акад. А. Н. Крылова и ЦАГИ им. Жуковского. Технологическое сопровождение вел отдел главного технолога и БТП цеха № 16, в котором размещался испытательный стенд и осуществлялось макетирование.

В середине 50-х гг. на «Адмиралтейском заводе» началась подготовка к строительству судов с атомной энергетикой. Нужно было осваивать новые технологические процессы, переоснастить производство новым оборудованием по обработке и сварке высокопрочной корпусной стали. Специфические главные размерения и обводы ледокола потребовали разработки нового спускового устройства с наклонного стапеля с применением носового понтона. С созданием спускового устройства, проектированием и изготовлением испытательных стендов КБ завода успешно справилось в тесном творческом содружестве с другими специалистами предприятия, учеными ЛКИ и НИИ Ленинграда. Помощь заводу оказывал научный руководитель академик А. П. Александров.

К строительству первого в мире атомного ледокола было привлечено внимание научно-технической общественности и политических деятелей всего мира. Завод посетили многие высокопоставленные делегации разных стран. Был на заводе и на ледоколе и будущий Президент США, вице-президент Р. Никсон.

В 1959 г. ледокол «Ленин» был передан морскому флоту страны. Несколько дней он стоял на Неве, где его посетили десятки тысяч ленинградцев и гостей города. «Адмиралтейский завод» был награжден орденом Ленина. Орденами и медалями награждена большая группа участников строительства ледокола, в том числе конструкторов завода.

В начале 60-х гг. «Адмиралтейский завод» приступил к подготовке строительства восьми атомных подводных лодок пр. 671 (главный конструктор Г. Н. Чернышев, СПМБМ «Малахит»).

До этого завод серийно строил плавающие рыбоконсервные заводы пр. 398, ледоколы пр. 97 и его модификаций, танкеры по проектам ЦКБ «Балтсудопроект». Переход к постройке АПЛ коллектив завода во многом обязан инициативе его директора Б. Е. Клопотова.

В связи с этим потребовалось значительно реконструировать завод, обучить ИТР и рабочих новым специальностям. Специалисты ОКБ-194 принимали активное творческое участие в подготовке производства, в частности, нужно было спроектировать устройство по выводу подводной лодки из цеха № 12 на спусковой док. При решении этой задачи встретились трудности из-за соотношения высот между уровнем пола цеха и уровнем реки Фонтанки. Эта задача была успешно решена применением спускового устройства по наклонной плоскости с кривизной большого радиуса. Выбор схемы вывода АПЛ из цеха и конструкторские разработки главный инженер ОКБ рассматривал на технических совещаниях конструкторов с участием специалистов ГСПИ «Союзпроектверфь» и ОКС завода. Впоследствии с продолжавшейся реконструкцией цеха № 12 система вывода АПЛ из цеха была существенно усовершенствована. Важно подчеркнуть, что реконструкция завода и строительство АПЛ на заводе велись параллельно. В этих условиях специалистам ОКБ и ОГТ приходилось принимать неординарные решения.

Осенью 1962 г. Н. М. Лужина избирают секретарем парткома «Адмиралтей-

ского завода». Он полагал, что единство целей предопределяет поиск администрации и парткомом, директором и секретарем парткома оптимального в сложившейся ситуации решения. Ему пришлось изучать деятельность основных цехов завода и их кадров.

Производственная программа завода была насыщенной: серийно строились рыбоконсервные базы пр. 398 типа «Андрей Захаров», достраивались дизельные подводные лодки пр. А615, завод приступил к строительству танкеров грузоподъемностью 25 000 т пр. 1552 ЦКБ 32 («Балтсудопроект»). Головной танкер проекта «София» строился на «Балтийском заводе». Несколько позднее «Адмиралтейский завод» начал строить головной и первый серийный танкер «Ханной» со сдачей на следующий год после танкера «София». Оба предприятия включились в соревнование, благодаря которому в один день – 2 ноября 1963 г. – страна получила два крупных нефтеналивных судна.

С ноября 1963 г. Н. М. Лужин был избран вторым секретарем, а с сентября 1967 г. – первым секретарем Октябрьского райкома КПСС Ленинграда. В этот период он избирался кандидатом в члены и членом Ленинградского горкома, членом Ленинградского обкома КПСС, был депутатом Октябрьского районного и Ленинградского городского Советов трудящихся. В ведении второго секретаря райкома была работа партийных

организаций предприятий, НИИ, КБ промышленности, транспорта и связи, расположенные на территории района, в том числе судостроительной отрасли.

Н. М. Лужин подчеркивал: «Главное направление в партийной работе – обеспечение нормального ритма деятельности промышленных предприятий, строительных организаций, всех структур и сфер социально-экономической системы советского государства ...».

26 марта 1969 г. Б. Е. Бутома, возглавлявший Минсудпром, подписал приказ о назначении Н. М. Лужина главным инженером – заместителем директора «Адмиралтейского завода», главная задача которого – строительство АПЛ.

1 апреля Н. М. Лужин приступил к исполнению новых обязанностей. В подчинении главного инженера завода в числе прочих находился отдел №81, где работала группа операторов по управлению атомной энергетической установкой и группа физиков, которая занималась подготовкой сборок (комплектов) урановых тепловыделяющих элементов, для каждого из двух реакторов подводной лодки, а также загрузкой сборок в реакторы. Специалисты отдела были из числа выпускников Московского физико-технического института.

Вместе с В. В. Маленковым – главным технологом – заместителем главного инженера завода Н. М. Лужин рассмотрел первоочередные задачи, в частности, оснащение ИВЦ электронно-вычисли-

тельной техникой, приобретение ЭВМ «Минск-22».

Особое внимание Н. М. Лужин вместе с главным строителем АПЛ Р. А. Бондаревым уделял ходу работ на сдаточных и других заказах серийного строительства подводных лодок пр. 671.

30 сентября 1969 г. Государственная комиссия подписала Приемный акт, состоялся торжественный подъем флага ВМФ Советского Союза на АПЛ пр. 671 (зав. № 603), которая вступила на боевую службу Краснознаменного Северного флота.

В 1973 – 1992 гг. Н. М. Лужин работает заместителем, затем первым заместителем заведующего Отделом оборонной промышленности ЦК КПСС. И в этой должности оказались востребованы его опыт судостроителя, знание производства, умение работать с людьми.

Николай Матвеевич Лужин хорошо знал и понимал жизнь, был прост в житейском отношении, но как партийный руководитель строго следовал всему, что было предписано партийной дисциплиной.

Н. М. Лужин награжден орденом Октябрьской Революции, тремя орденами Трудового Красного Знамени, орденом «Знак Почета», многими медалями. Он – лауреат Государственной премии СССР.

С 1992 г. – на пенсии. Активно участвует в общественной жизни ветеранов-судостроителей, общественных организациях «Землячество ленинградцев» и «Союз судостроителей России». ■



Участники совещания на СМП, проходившего под руководством Д.Ф. Устинова, по вопросу строительства атомных подводных лодок третьего поколения. Северодвинск, май 1973 г. Третий ряд (второй – справа) – Н.М. Лужин

На сегодняшний день многие страны мира имеют собственные военно-морские силы, но лишь немногие из них способны самостоятельно проектировать и строить боевые корабли, являющиеся, безусловно, одними из наиболее высокотехнологичных и наукоемких произведений инженерного гения. На рубеже XIX–XX вв. к числу автономных в военно-морском отношении государств относились Великобритания, Германия, Голландия, Дания, Испания, Италия, Россия, США, Франция. В самом начале XX в. к ним присоединилась Япония, а позже еще несколько стран (в частности, Китай и Индия). Однако еще короче список тех государств, которые не только самостоятельно проектируют и строят боевые единицы для собственных флотов, но и поставляют их на экспорт. Поэтому владение всем комплексом работ по созданию корабля, начиная от формирования его облика (исходя из потребностей конкретного заказчика) и кончая строительством и проведением испытаний, востребовано на мировом рынке вооружений. В значительной степени это относится и к труду конструкторов-корабелов, среди которых российские специалисты прочно занимают одно из первых мест в мировом рейтинге разработчиков проектов боевых кораблей.

В этой связи уместно напомнить, что только за 1953–2004 гг. в рамках военно-технического сотрудничества СССР, а затем Россия поставили в 45 государств мира 2050 боевых кораблей, подводных лодок и патрульных катеров, а также 130 вспомогательных судов различного назначения.

Начиная с 1957 г. Болгарии, Польше, ГДР, ОАР, Индонезии, Финляндии и КНР поставлялись корабли, спроектированные в «Северном ПКБ». В их числе – эсминец пр. 30бис (30БА, 30БК), 31 и 56А, а также СКР пр. 50. При этом часть сторожевых кораблей построена в КНР при технической помощи ЦКБ 53.

Особо необходимо остановиться на современном этапе развития военно-технического сотрудничества (ВТС), осуществляемого «Северным ПКБ» под эгидой ФГУП «Рособоронэкспорт», единого российского госпосредника при ведении всех операций и сделок в сфере военно-технического сотрудничества. Представители «Рособоронэкспорта» А.Н. Сосанкин, О.Р. Азизов, И.Б. Пономарев, Е.В. Одинцов, С.А. Куприянов, В.В. Ипатов, П.Е. Костыгов во многом способствовали ОАО «Северное ПКБ» в работе с зарубежными партнерами в области кораблестроения.

Большое значение для «Северного ПКБ» имеет ВТС с Республикой Индия. На основании распоряжения Совета Министров СССР бюро в 1974–

ВОЕННО-ТЕХНИЧЕСКОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО СЕВЕРНОГО ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСКОГО БЮРО С ИНДИЕЙ

В.Е. Юхнин, д-р техн. наук, проф., советник ген. директора АО «Северное ПКБ», контакт. тел. (812) 784 7674, 936 7132



Эсминец Ranjivee пр. 61МЭ ВМС Индии

Таблица 1

Основные этапы постройки кораблей пр. 61МЭ

Название корабля	Заклад. №	Заложен	Спущен на воду	Вступил в строй ВМФ	Передан ВМС Индии	Название в ВМС Индии
«Надёжный»	2201	11.09.1976	17.09.1977	30.11.1979	04.05.1980	«Rajput»
«Губительный»	2202	29.11.1976	27.09.1978	30.09.1981	10.02.1982	«Rana»
«Ловкий»	2203	29.06.1977	16.06.1979	20.07.1983	24.11.1983	«Ranjit»
«Твёрдый»	2204	24.10.1981	12.03.1983	30.12.1985	21.04.1986	«Ranvir»
«Толковый»	2205	19.03.1982	01.02.1986	15.10.1987	24.02.1988	«Ranjivee»

1976 гг. на базе отечественного пр. 61М разработало проект фрегата 61МЭ, предназначенного для Индии (позже он был классифицирован в ВМС этой страны как эскадренный миноносец). Главным конструктором 61МЭ был А.Д. Шишкин, который внес огромный вклад в развитие ВТС в области ВМФ между нашей страной и Индией. Под его руководством в 1980-е гг. были спроектированы, построены, испытаны и переданы Индии пять фрегатов пр. 61МЭ.



А.Д. Шишкин

Кроме того, под его руководством были спроектированы фрегаты и корветы индийских ВМС пр. 16, 16А, 25, 25А и

15. Это проектирование велось в Индии (г. Нью-Дели) в конструкторском бюро индийских ВМС, где работала большая группа наших конструкторов.

Впервые в практике отечественного кораблестроения были спроектированы и построены для зарубежного заказчика боевые корабли большого (около 5000 т) водоизмещения.

С этого момента стало возможным говорить о переходе Советского Союза на новый этап ВТС с зарубежными странами, заключающийся не просто в продаже уже готового изделия, а в создании изделия под конкретные (порой весьма сложные и противоречивые) требования партнера по ВТС.

Корабли пр. 61МЭ были оснащены ударным и зенитным ракетным вооружением, артиллерийскими 76,2-мм и 30-мм установками, реактивными бомбометными установками и пятитрубным торпедным аппаратом. На их борту имелись гидроакустический комплекс с подкильной и буксируемой антеннами, вертолет с ангаром в прочном корпусе, а также радиотехническое вооружение и современные средства связи.

Строительство пяти кораблей данного проекта велось на заводе им. 61 Коммунара в Николаеве. Головной фрегат

серии «Раджпут» — был передан ВМС Индии в 1980 г., а последний — в 1987 г.

Корабли пр. 61МЭ находятся на вооружении ВМС Индии. Они прошли модернизацию, заключающуюся, в частности, в оснащении этих эсминцев индийско-российским противокорабельным комплексом «БрахМос», а также современным ЗРК.

По просьбе индийского правительства и согласно распоряжению Совета Министров СССР «Северное ПКБ» совместно с представителями ВМФ в свое время определили состав вооружения и военной техники советского производства для установки на кораблях, проектируемых в Индии. В 1984–1986 гг. в Дели были командированы специалисты «Северного ПКБ», а также ряда контрагентских предприятий для участия в разработке эскизных и технических пр. 15 и пр. 25 для ВМС Индии.

В дальнейшем работники бюро участвовали в монтаже, наладке и испытаниях вооружения и военной техники отечественного производства, установленных на этих кораблях.

В настоящее время корабли, построенные по пр. 15, 16, 16А, 25 и 25А на судостроительных заводах Индии при техническом содействии специалистов «Северного ПКБ» и контрагентов, успешно несут службу в составе ВМС Индии.



Переговоры с индийской стороной в «Северном ПКБ», 1998 г.

В течение 1999–2000 гг. «Северное ПКБ» оказывало техническое содействие в проектировании индийскими специалистами корабля пр. 17. В частности, бюро совместно со специалистами ВМФ подготовило и утвердило состав российского вооружения этого корабля.

ВМС Индии приняли на вооружение головной фрегат «Shivalik», построенный по национальному пр. 17 с применением технологии Stealth. Передача корабля ВМС состоялась 21 апреля 2010 г. на судостроительном заводе Мазагон Dock, в г. Мумбаи. Проектирование и строительство кораблей данного проекта велось при техническом содействии специалистов ОАО «Северное ПКБ» под руководством главного конструктора М.Н. Агличинова, а также В.И. Голяка и Г.И. Ивашкина.



М.Н. Агличинов

М.Н. Агличинов участвовал в проектировании пр. 15, 1135.6 и модернизации 61МЭ для Республики Индия, был главным конструктором пр. 15А и пр. 17, он — заслуженный конструктор РФ.

Ярким примером сотрудничества является совместная разработка боевой информационно-управляющей системы для пр. 17, направленная на создание принципиально новой боевой системы, способной решать задачи боевого управления вооружением не только собственного корабля, но и всего корабельного соединения.

Фрегаты «Shivalik» стали основными кораблями ВМС Индии в первой половине XXI в. Полное водоизмещение фрегатов класса «Shivalik» составляет 5300 т. Они способны развивать скорость до 30 уз. Фрегаты являются первыми кораблями, сконструированными в Индии с использованием дизель-газотурбинных двигателей. Вооружение данных кораблей включает в себя: противокорабельный ракетный комплекс Club-N; ракетные системы ПВО Штиль-1 и Barak; АУ ОТО Melara калибра 76 мм; 2 АУ АК-630М калибра 30 мм; 2 трехтрубных торпедных аппарата, 2 РБУ-6000. В состав авиагруппы фрегатов могут входить два вертолета Dhruv или Sea King. Кроме этого, корабли оборудованы локальной информационной сетью (LAN).

В конце 1990-х гг. была разработана техническая документация на новый фрегат (пр. 11356), который также создавался по заказу индийского флота.



Фрегат Tabar пр. 11356



В.А. Перевалов

Главным конструктором проекта был В.А. Перевалов. При этом за основу был взят сторожевой корабль пр. 11351, ранее созданный бюро и в 80-х гг. серийно строившийся для морских частей Погранвойск КГБ СССР.

Фрегат имел стандартное водоизмещение 3830 т и полное — 4035 т. Одной из его отличительных особенностей стало частично новое вооружение, образцы которого принимались и испытывались вместе с кораблем (Club-N, А-190 с СУ «Пума»).

Новый противокорабельный ракетный комплекс Club-N конструктивно реализован в виде универсальной вертикальной пусковой установки с крылатыми ракетами ЗМ-54Э, имеющими отделяющуюся на конечном участке траектории полета сверхзвуковую боевую часть и способными поражать хорошо защищенные цели на дальности до 200 км. Комплекс Club-N создан екатеринбургским ОАО «ОКБ «Новатор» и является первым в отечественной практике корабельным ударным комплексом с вертикальным стартом ракет.

Фрегат пр. 11356 получил и другое новейшее вооружение — 100-мм артиллерийскую установку А-190 с системой управления «Пума» и новый зенитный ракетный комплекс среднего рубежа (ранее не устанавливавшийся ни на одном из российских кораблей). Защиту от средств воздушного нападения в ближней и ближайшей зонах обеспечивает зенитный ракетно-артиллерийский комплекс «Каштан».

Тактико-технические характеристики фрегатов пр. 11356

Водоизмещение стандартное, т 3620
 Размеры, м:
 длина наиб. 124,8
 ширина наиб. 15,2
 Осадка средняя, м 4,2
 Скорость хода, уз:
 полного 30,0
 экономичного 14,0
 Дальность плавания, мили 3000 (18,0)
 Тип ГЭУ, мощность, кВт 4ДГ, 3200
 Экипаж, чел 190
 Вооружение:
 ударное 1 «Club-N», 8 ракет
 зенитное ракетное 1 «Штиль-1»,
 24 ракеты
 ракетно-артиллерийское «Каштан» 2
 ПЗРК «Игла» 8 ракет
 артиллерийское 100-мм АУ А190Э
 торпедное 2хДТА-53-11356
 бомбовое РБУ-6000
 радиоэлектронное:
 РЛС обнаружения ВЦ и НЦ
 «Фрегат-М2ЭМ»,
 НРЛС МР-212/201-1
 БИУС «Требование-М»
 средства РЭБ АСОР-11356,
 КПБР ПК-10
 ГАС ГК МГК-335ЭМ-03,
 ГАС с БА «Виньетка-ЭМ»

Помимо ударного и зенитного, на фрегате размещено противолодочное вооружение, состоящее из двух гидроакустических станций (буксируемой и в бульбовом обтекателе), двух торпедных аппаратов и реактивной бомбометной установки. Дополняет противолодочный комплекс вертолет, для постоянного базирования которого предусмотрен ангар.

Обладает своими особенностями и главная энергетическая установка корабля 11356-го проекта. Она состоит из двух маршевых и двух форсажных газовых турбин, причем на малых ходах на оба гребных вала может работать только одна турбина. Этим достигается значительная экономия топлива и моторесурса ГЭУ.

Корпус фрегата имеет не совсем привычный для отечественных кораблей внешний вид. Он проектировался с широким учетом требований по снижению радиолокационной заметности и, как следствие, имеет надстройку с большими углами завала стенок, интегрированную с основным корпусом.

По пр. 11356 на ОАО «Балтийский завод» было осуществлено строительство трех фрегатов: «Тальвар» («Меч»), «Тришул» («Трезубец») и «Табар» («Секира»). После испытаний корабли были переданы индийской стороне в 2003–2004 гг.

Возможность создания второй тройки фрегатов для ВМС Индии витала в воздухе с начала работ по строительству «Тальвара». Представители заказчика неоднократно, в неофициальной форме,

Основные этапы постройки фрегатов пр. 11356

Название корабля	Заклад. №	Заложен	Спущен на воду	Передан ВМС Индии
ОАО «Балтийский завод»				
«Talwar» («Меч»)	01301	10.03.1999	12.05.2000	18.06.2003
«Trishul» («Тризубец»)	01302	24.09.1999	24.11.2000	25.06.2003
«Tabar» («Секира»)	01303	25.05.2000	25.05.2001	19.04.2004
ОАО «ПСЗ «Янтарь»				
«Teq» («Сабля»)	01354	27.07.2007	27.11.2009	27.04.2012
«Tarkash» («Лук»)	01355	11.06.2008	24.06.2010	09.11.2012
«Trikan» («Колчан»)	01356	27.11.2008	25.05.2011	29.06.2013

выражали желание продлить серию в случае положительного опыта эксплуатации первых кораблей.

В начале августа 2005 г. бюро получило письмо из «Рособоронэкспорта», в котором сообщалось о том, что от индийской стороны поступила официальная заявка на поставку еще трех заказов пр. 11356 с предложениями по улучшению их ТТХ.

Контрактная спецификация была предоставлена заказчику в середине сентября 2005 г., а уже 26 сентября по ней были проведены первые переговоры. Изменения состава вооружения в основном коснулись ударного и зенитного комплексов. Ракетный комплекс Club-N был заменен на РК «БрахМос» индийско-российского производства, а на смену ЗРАК «Каштан» пришли 30-мм автоматы АК-630М. Кроме того, планировались различные доработки по корпусной части и улучшение условий обитаемости личного состава.

Решение об утверждении технического откорректированного пр. 253/5/5771 состоялось 20 декабря 2007 г. К этому времени головной корабль серии был уже заложен на ОАО «ПСЗ «Янтарь» в Калининграде.

В середине сентября 2009 г. индийская сторона в официальной форме сообщила название новых кораблей: «Teq» («Сабля»), «Tarkash» («Лук») и «Trikan» («Колчан»). Предполагалось, что передача фрегатов ВМС Индии состоится в 2011–2012 гг.

В конце 2008 г. ОАО «Северное ПКБ» под эгидой ФГУП «Рособоронэкспорт» приступило к налаживанию контактов с частными верфями Республики Индия в рамках программы перспективного развития индийского флота. На основе решений Министерства промышленности и торговли РФ ОАО «Северное ПКБ» было определено участником выполнения внешнеэкономических контрактов.

В настоящее время в качестве возможных направлений ВТС АО «Северный ПКБ» с другими странами рассматриваются проектирование воору-

жения и военной техники; совместное проектирование и модернизация вооружения и военной техники в интересах заказчика; проведение совместных научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ; создание совместных предприятий по разработке, производству и экспорту современных образцов вооружений; участие в проводимых тендерах по выбору перспективных образцов вооружения и военной техники для национальных вооруженных сил.

Реализация указанных выше направлений повышения эффективности ВТС невозможна без долгосрочного планирования, что требует проведения широкого круга научных исследований, в том числе маркетинговой направленности. Позитивная динамика ВТС России с иностранными государствами убедительно говорит о том, что отечественные разработчики и производители оружия сотрудничают и на равных конкурируют с ведущими мировыми производителями военной техники.

События, происходящие в современном, далеком от стабильности мире, приводят к существенным изменениям на рынках вооружений. Однако корабель АО «Северное ПКБ» готовы к этим изменениям и в реальном времени отвечать на потребности мирового рынка морских вооружений.

Высокий научно-технический потенциал, современная производственная база, а также налаженные связи с ведущими научно-техническими центрами и судостроительными компаниями позволяют АО «Северное ПКБ» создавать высокотехнологичные, наукоемкие и конкурентоспособные проекты боевых кораблей, оперативно реагировать на требования времени и потребности как Военно-Морского Флота России, так и флотов иностранных государств.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вместе с флотом России: К 65-летию ОАО «Северное ПКБ». – СПб.: ИД Информ ВС, 2011. ■

Аля нашей страны, ее промышленности, и судостроительной индустрии в том числе, это были непростые годы. Мировой экономический кризис, осложнение международной обстановки, известные украинские события заставили руководство страны мобилизовать потенциал российского судостроения для обеспечения военной и экономической безопасности государства.

Соответственно, и наше НТО, объединяющее актив судостроительной общности страны, актуализировало свою деятельность для безусловного выполнения уставных задач и решений IV Съезда, принятых в Постановлении от 16 октября 2012 г. и в Дополнении к нему, утвержденном Президиумом Центрального правления Общества 18 декабря 2012 г.

ОРГАНИЗАЦИОННОЕ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РАБОТЫ ОБЩЕСТВА И РАСШИРЕНИЕ МАСШТАБОВ ЕГО ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Выполняя решения IV Съезда, Президиум Центрального правления уделил самое серьезное внимание дальнейшему совершенствованию *планомерности работы* Общества, повысив качество ежегодных тематических планов, включающих:

- организацию научно-технических конференций, семинаров, совещаний, проводимых по специализации научно-технических секций Общества, выставок по экологии, экономике, управлению производством, мероприятиям по подготовке и переподготовке кадров, публичных мероприятий по истории судостроения, деятельности комитетов Общества;
- международное сотрудничество, определяющее участие членов НТО в международных семинарах, выставках, конференциях, встречах рабочих групп, в работе комитетов и международных проектах;
- организационные вопросы и издательскую деятельность.

При составлении тематических планов Общества было усилено внимание динамичности реализуемых задач и расширению их масштабов, что определялось приоритетами научно-технических и экономических задач развития отрасли.

Тематические планы Общества тщательно координировались с Государственной программой РФ «Развитие судостроения и техники для освоения шельфовых месторождений на 2015–2030 гг.», входящей в нее Федеральной целевой программой «Развитие гражданской морской техники» на 2009–2016 гг., долгосрочной Страте-

ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ РОССИЙСКОГО НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЩЕСТВА СУДОСТРОИТЕЛЕЙ В 2012–2017 ГГ. И ЗАДАЧИ ЕГО РАЗВИТИЯ*

В. Л. Александров, *д-р техн. наук, проф.,
президент РосНТО судостроителей им. акад. А. Н. Крылова,
контакт. тел. (812) 315 5027, 710 4693*

гией развития судостроительной промышленности на период до 2020 г. и на дальнейшую перспективу, программой «Модернизация транспортной системы России на 2010–2019 гг.», рядом других важнейших документов.

В 2013–2017 гг. Президиум Общества продолжил положительную практику выездных заседаний, в частности, для участия в работе региональных отделений и в перспективных субъектах РФ. Среди таких мероприятий можно отметить работу Президиума НТО в Чебоксарском отделении Общества в 2013, 2015 и 2017 гг., участие Президиума РосНТО в формировании Калининградского отделения в 2014 г., организацию взаимодействия с судостроительной общественностью нового субъекта России — Севастополя, в который в 2015 г. была направлена делегация Общества для участия в научно-практической конференции и определения перспектив работы РосНТО в Крыму.

В ходе выездных заседаний в регионы РФ, а также в повседневной практике Президиум Общества, выполняя уставные задачи и решения IV Съезда, проводил работу по усилению взаимодействия с федеральными и региональными исполнительными органами власти, особо в Республике Чувашия и Калининградской области, а также с предприятиями и организациями отрасли и родственными общественными организациями судостроителей. Примерами такой работы являются:

- непосредственные контакты с заинтересованными сторонами;
- обращения в федеральные органы власти, в частности, в Минпромторг и Минтранс России по вопросу создания в Архангельске Научно-технического совета, координирующего деятельность территориального кластера арктического судостроения с проектами по возрождению Северного морского пути;
- обращения в региональные органы власти, в частности, в Администрацию Сахалинской области, с предложением создать при областной ад-

министрации Морской научно-технический комитет, ответственный за развитие и эксплуатацию морской инфраструктуры и флота на острове Сахалин и Курильских островах;

- рекомендации, направленные руководителям ведущих организаций и предприятий судостроительной отрасли, по стимулированию повышения уровня научно-исследовательских и проектно-конструкторских разработок и их реального внедрения в производство;
- тесное взаимодействие с Ассоциацией судостроителей Санкт-Петербурга и Ленинградской области в выполнении общих задач развития судостроения в названных регионах.

За отчетный период 2012–2017 гг. РосНТО *расширило территориальные масштабы* своей деятельности.

Создано Калининградское региональное отделение РосНТО. Как сказано выше, значительное внимание Президиум Общества уделил вовлечению крымского и севастопольского сообществ судостроителей в орбиту своей деятельности.

Региональная политика РосНТО является приоритетным направлением его деятельности, в связи с чем в 2014 г. создан самостоятельный *Комитет по региональному развитию*, который возглавляет вице-президент Общества доктор технических наук, профессор П.А. Шауб. В комитет входят восемь известных в стране региональных отделений: Чебоксарское, Московское, Калининградское, Дальневосточное, Архангельское, Сахалинское, Волго-Вятское и Дагестанское.

С созданием самостоятельного комитета региональные отделения Общества усилили свое участие в мероприятиях Центрального правления РосНТО, в том числе за счет координации своих планов с тематическим планом Общества.

Кроме того, координация комитетом планов региональных отделений позволяет развивать их взаимную кооперацию в исследовательских и проектных направлениях. Так, например, Дагестан-

* Отчетный доклад на V Съезде Общероссийской общественной организации «Российское научно-техническое общество судостроителей имени академика А. Н. Крылова», г. Санкт-Петербург, 4 октября 2017 г.

ское и Волго-Вятское региональные отделения в последние годы соединили свои усилия по проектированию судов с аутригерами.

Заслугой комитета по региональному развитию также можно считать расширение возможностей РосНТО в оказании помощи региональным отделениям в решении тематических научных и производственных задач. Например, в создании малых экранопланов по тематике Дальневосточного регионального отделения.

За прошедшие пять лет Президиумом РосНТО организованы три новые научно-технические секции, объединившие ученых и инженеров, работающих в перспективных областях российской судостроительной науки и промышленности.

В 2014 г. создана секция № 24 «Экранопланостроение», которую возглавил председатель Дальневосточного регионального отделения А.С. Знатков. В 2015 г. созданы научно-техническая секция № 25 «Подводные технологии и гидронавтика» (руководитель – А.С. Галилин) и секция № 26 «Технология и производство сварки» (руководитель – кандидат технических наук, доцент В.В. Мурзин).

На сегодняшний день в составе РосНТО судостроителей действуют 34 научно-технических коллектива, объединенных 26 тематическими секциями и восемью подсекциями.

Собственный научно-технический потенциал Общество расширяет через развитие *международного сотрудничества* с зарубежным судостроением. Так, Президиум Общества проводит совместную работу с Российским союзом научных и инженерных обществ (г. Москва) по организации и участию членов НТО в ежегодных тематических семинарах в зарубежных странах. Также ежегодно члены РосНТО принимают участие в Морских днях в Финляндии. Вице-президент Общества, доктор технических наук, профессор К.В. Рождественский успешно организует участие делегаций нашего Общества в работе конференций судостроителей в передовых судостроительных странах, в том числе по линии сотрудничества с Институтом морского инжиниринга, науки и технологий (Лондон, Великобритания).

Президиум Центрального правления РосНТО судостроителей организует свою работу на коллегиальной и планомерной основе. За прошедшее пятилетие его работы, с октября 2012 г. по сентябрь 2017 г., проведено 18 заседаний Президиума, на которых рассматривались как вопросы организации деятельности Общества, так и выполнение задач уставной деятельности РосНТО.

УЧАСТИЕ ОБЩЕСТВА В РАЗВИТИИ РОССИЙСКОГО СУДОСТРОЕНИЯ

В первой части доклада говорилось, что свою работу наше Общество строит с учетом *фактического состояния отечественного судостроения*, которое на сегодняшний день характеризуется следующим.

Согласно официальным данным Минпромторга России, в состав российской судостроительной отрасли входят 182 предприятия с общей численностью работающих около 170 тыс. человек. Вместе с более чем двумя тысячами предприятий-смежников отечественное судостроение обеспечивает рабочими местами более 700 тыс. человек. В составе отрасли – 133 промышленных предприятия и 49 научно-исследовательских институтов и конструкторских бюро. За последний год в состав отрасли были включены 13 предприятий, расположенных в Крыму и Севастополе.

Рост общих объемов производства отрасли в 2016 г. составил 103% по отношению к 2015 г., в том числе оборонной продукции – 102,1%, гражданской продукции – 111%.

По итогам 2016 г., на российских верфях было сдано 168 судов (102 военных заказа и 66 гражданских), на 16% меньше, чем в 2015 г. Общий тоннаж сданных кораблей и судов увеличился на 3,4%, до 219 тыс. т. Выросла и общая стоимость сданных судов: в кораблестроении – на 4,4%, до 106,9 млрд руб., в гражданском судостроении – на 72%, до 34,3 млрд руб.

В товарном выпуске 2016 г. доминировал государственный оборонный заказ: кораблестроение в количественном выражении занимало более 60%, в денежном – более 75%, что, по мнению экспертов, сохраняет тенденцию несбалансированности российского судостроительного производства.

Расчеты показывают, что в 2013–2016 гг. среднегодовая стоимость сданных военных кораблей составляла 76% в стоимости товарного выпуска отрасли, а на гражданское судостроение приходилось лишь 24%. По прогнозам экспертов, в 2017 году тенденция сохраняется: на госзаказ приходится в стоимостном выражении около 70%. При этом по сравнению с 2012 г. в 2013–2016 гг. среднегодовой объем продукции, сданной по госзаказу, увеличился в 1,5 раза при снижении среднегодового выпуска продукции гражданского судостроения на 47%.

Как следует из Государственной программы РФ «Развитие судостроения и техники для освоения шельфовых месторождений на 2013–2030 гг.» в редакции Постановления Правительства от 31 марта 2017 г., недостаточные объемы гражданского судостроения на россий-

ских верфях привели к снижению доли отечественной продукции судостроительной отрасли на внутреннем рынке с 70% в 2013 г. до 52% в 2015 и 40% в 2016 гг., а также к стагнации экспорта гражданской продукции на уровне 3,5 млрд. рублей.

Эксперты подчеркивают, что решение проблемы устойчивого долгосрочного роста российского судостроения лежит не в его «военной специализации», а именно в преодолении стагнации его гражданского сектора. Именно в отечественном гражданском судостроении сохраняется несоответствие между конкурентным характером отрасли в мире и низкой конкурентной средой в российском судостроении, проектировании и производстве комплектующих.

Это тревожный симптом, так как по мере перевооружения ВМФ России современной техникой неизбежно произойдет снижение объема производства оборонной продукции, что требует ее замещения продукцией гражданского судостроения. При неготовности отрасли к этому может произойти серьезный спад производства. Об этом предупреждают как независимые, так и отраслевые эксперты.

Между тем в России существует острая потребность в продукции гражданского назначения в отраслях национальной экономики, связанных с морской и водной деятельностью.

В программных документах по развитию отечественного судостроения определены перспективные продуктовые ниши гражданской судостроительной продукции. Потребности страны в гражданской морской технике неоднократно озвучивались, в том числе и на мероприятиях РосНТО судостроителей. В число перспективных продуктов судостроения, в частности, входят: современная морская техника для освоения шельфовых месторождений углеводородов; уникальные суда для возрождения Северного морского пути, прежде всего, атомные и мощные дизельные ледоколы; крупнотоннажные морские транспортные суда; широкая линейка судов речного флота; научно-исследовательские суда различного назначения. Общая потребность национальной экономики в гражданских судах, морской технике и плавательных средствах превышает 1200 единиц.

Ключом к развитию российского гражданского судостроения является *повышение конкурентоспособности продукции отрасли*. Как известно, в судостроении конкурентоспособность продукта обеспечивается его высокими потребительскими качествами, адекватной этому качеству ценой и сроком постройки судна.

Конкурентное качество судна определяется возможностями воплощения

достижений научно-технического прогресса на научно-исследовательском и проектно-конструкторском этапах его создания и обеспечивается передовыми технологиями в производственном процессе его строительства. Цена во многом зависит от издержек производства на приобретение комплектующего оборудования и от уровня производительности труда работников, определяющей как затраты на оплату труда, так и длительность строительства судна.

В своем отчетном докладе на IV Съезде в 2012 г. я подробно остановился на *проблеме отставания производительности труда* в отечественном гражданском судостроении от уровней, обеспечивающих конкурентно-способность его продукции.

За прошедшие годы положение в данной области несколько улучшилось. Так, согласно официальным данным, средний рост производительности труда по показателю выработки на одного работника в стоимостном выражении составил в 2016 г. по промышленным предприятиям судостроительной отрасли 67%, а в научных и проектных организациях 31% по отношению к 2013 г.

В число лидеров роста производительности труда в 2016 г., согласно отчету Правительства РФ, вошла Объединенная судостроительная корпорация, обеспечившая рост производительности труда на 23% по отношению к 2015 г. Однако экспертное сообщество отмечает, что абсолютный уровень производительности труда на российских судостроительных предприятиях все еще серьезно отстает от показателей передовых судостроительных стран. Так, на производство одной тонны металлоконструкций на отечественных судостроительных предприятиях затрачивается в 3 раза больше рабочего времени, чем на верфях Южной Кореи, а производительность труда по показателю выработки компенсированных регистровых тонн (CGT) на одного работника наших судостроительных заводов в 3–7 раз ниже, чем на верфях Западной Европы, Южной Кореи и Японии.

Бессспорно, что развитие передовых научных идей и прогрессивных конструкторских разработок, внедрение современных технологий в гражданском судостроении, новых форм организации производства и труда, эффективных методов управления, а также локализация производства комплектующего оборудования на отечественных предприятиях позволяют преодолеть трудности повышения конкурентоспособности отечественной гражданской судостроительной продукции и составляют основной потенциал развития отрасли.

Реализацию этого потенциала можно обеспечить только *комплексной ин-*

новационной деятельностью. Сегодня именно в этом направлении работает отечественная судостроительная наука и практика при активном участии Российского НТО судостроителей.

В отчетном периоде *работа НТО по участию в решении задач инновационного развития отрасли* традиционно базировалась на деятельности, как сказано выше, 26 специализированных научно-технических секций и восьми подсекций Общества.

Специализация секций НТО охватывает практически все важнейшие научные направления кораблестроения, экономики, организации и управления производства. Работа секций осуществляется планомерно и включает, как правило, ежеквартальные заседания. На них обсуждаются научные, инженерные и организационные решения проблем по специализации секции, осуществляется обмен опытом, рассматриваются научные достижения членов секций, особенно молодых ученых и специалистов.

Сжатые рамки доклада не позволяют подробно охарактеризовать масштаб работ, выполняемых научно-техническими секциями общества, в содействии инновационному развитию отечественного судостроения. Для детального ознакомления с этим вопросом отсылаю участников Съезда к изданному в 2016 г. юбилейному сборнику «Общество российских корабелов: традиции диктуют будущее».

Здесь же ограничусь отдельными примерами участия научно-технических секций в инновационной деятельности, направленной на развитие российского, прежде всего гражданского, судостроения.

В области *продуктовых инноваций*, которые способствуют созданию судостроительной продукции с новыми потребительскими качествами и выводят российское судостроение на передовые рубежи мирового арктического судостроения, обеспечивая отрасли высокую конкурентоспособность, можно назвать следующие исследования.

Создание новых судостроительных материалов – это одна из важнейших проблем создания отечественного арктического флота и морской техники для освоения шельфовых месторождений углеводородов в российских высоких широтах. Решение стоящих в этой области задач требует использования последних достижений научно-технического прогресса, в частности, нанотехнологий. Судостроительная наука и практика активно развивают это направление. Соответственно, в НТО судостроителей создана специализированная научно-техническая секция «*Нанотехнологии в судостроении*» (руководитель секции – доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель

науки РФ В.А.Мальшевский). Члены секции – ведущие ученые и специалисты отрасли, работающие в данном научном направлении.

Достижениями этих ученых и производителей стало получение листовых сталей с элементами наноструктуры, которые использованы для строительства уникальных буровых платформ «Приразломная» и «Арктическая». Кроме обеспечения высоких свойств (свариваемости, хладостойкости, пластичности и т. д.) эти работы открывают возможности унификации химического состава сталей и, следовательно, снижения их стоимости.

Не менее важной инновационной задачей арктического судостроения является повышение эффективности и безопасности эксплуатации судов при работе в высоких широтах. Практика показывает, что создание арктических судов нового поколения представляет собой системную проблему, решение которой требует комплексного рассмотрения конструктивно-технологических, организационных, экономических и экологических вопросов. Причем большинство этих вопросов порождаются специфическими условиями плавания во льдах.

Проводимые в отрасли исследования позволяют предложить новые научные идеи и нетрадиционные решения. Так, в области обеспечения ледовой прочности и надежности корпусов транспортных судов в условиях круглогодичной навигации отечественной наукой создаются активные средства защиты корпуса судна, что достигается благодаря новым информационно-технологическим подходам к решению задач этого класса.

В создаваемых методах используются *интеллектуальные системы* контроля в интерактивном режиме прочности корпусов в процессе эксплуатации судна. Здесь наряду с традиционными математическими методами применяются достижения искусственного интеллекта и новые принципы функционирования интеллектуальных систем в режиме реального времени.

Данная научная проблема находится в центре внимания научно-технической подсекции «Интеллектуальные технологии технических систем» (руководитель – доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ Ю.И.Нечаев) и имела практическое развитие при строительстве танкеров ледового класса в АО «Адмиралтейские верфи».

Примером успешных *технологических инноваций*, поддержанных потенциалом НТО судостроителей им. акад. А.Н. Крылова, является работа по подготовке к строительству отечественных газозовозов.

Актуальность создания собственного газовозного флота и сложность этой проблемы вызвали необходимость выделения из научно-технической секции «Технологии судостроения» специализированной *подсекции «Газовозы России»* (руководитель – лауреат Государственной премии РФ в области науки и техники Ю.Б.Рыбальченко). Задачей подсекции стал поиск практических решений конструкторско-технологической и материально-технической подготовки строительства газовозов на предприятиях отечественного судостроения с максимальной локализацией производства в России.

За короткий период подсекция НТО стала практическим штабом координации работ многих НИИ и КБ, а также промышленных предприятий по подготовке строительства отечественных газовозов.

На заседаниях подсекции рассматривалась информация о строительстве газовозов за рубежом, конструктивных типах различных систем хранения груза и необходимом комплексе мероприятий для проектирования и строительства газовозов в России.

По результатам деятельности организаций, представители которых входят в подсекцию «Газовозы России», можно заключить, что технические вопросы подготовки производства для строительства газовозов в России успешно решены.

Важным направлением деятельности НТО судостроителей является *содействие внедрению организационно-управленческих инноваций* в судостроительное производство. Это направление реализует научно-техническая секция «Управление судостроительным производством» (руководитель – кандидат технических наук А.Е. Богданов).

Работа секции нацелена на масштабное *внедрение информационных технологий* в управление предприятиями судостроительной отрасли. В своей практической деятельности данная секция НТО стала значимым отраслевым экспертно-внедренческим центром, способствующим внедрению информационных технологий в следующих основных областях управления:

- совершенствование проектирования, инженерной подготовки и процессов управления строительством кораблей и судов на основе применения информационных технологий;
- информационное обеспечение послепродажного обслуживания вооружений и военной техники, судов и прочей промышленной продукции;
- подготовка персонала по направлениям информационных технологий для задач проектирования кораблей и судов, подготовки производства и управления судостроительным предприятием.

Инновационная деятельность РосНТО судостроителей все в большей степени нацеливается на научно-экспертный инструментальный продвижения в практику наиболее перспективных проектов членов НТО.

В рамках этой стратегии перспективные инновации получают целевую поддержку действующего в составе Общества Инновационного (экспертного) комитета по поиску и оценке инновационных идей. Комитет создан в 2011 г. В его состав вошли руководители профильных специализированных секций Общества.

Комитетом по решению IV Съезда Общества разработаны и опубликованы требования к описанию инновационных проектов, а также показатели и критерии их оценки с пояснениями и рекомендациями.

Первые инновационные проекты в Комитет начали поступать уже в 2013 г. За отчетный период комитетом рассмотрены 10 инновационных проектов. Одни проекты направлены авторам на доработку, другие находятся в различных стадиях их дальнейшего использования потенциальными инвесторами.

Пять проектов направлены в Комитет по промышленной политике и инновациям Правительства Санкт-Петербурга с ходатайством об их инвестировании для реального внедрения в производство. Однако до настоящего времени проекты не рассмотрены, что сделало невозможным выполнение решения IV Съезда РосНТО об активизации вовлечения в хозяйственный оборот результатов научной и научно-технической деятельности Общества.

Работа РосНТО судостроителей в важнейших направлениях развития судостроительной науки и практики постоянно сочетается с решением новых сложных задач, которые возникают перед российской судостроительной промышленностью. Одной из таких задач, остро возникших в 2014–2017 гг., стало *импортозамещение комплектующего судового оборудования*.

Антироссийская санкционная политика Запада и недружественная позиция Украины достаточно серьезно коснулись отечественного судостроения. В список компаний, в отношении которых применены ограничения, входит акционерное общество «Объединенная судостроительная корпорация» – основной производитель как военной, так и гражданской продукции.

В военном кораблестроении уровень зависимости от импортных комплектующих ниже, чем в гражданском, но проблемы, тем не менее санкции уже вызвали.

Для гражданского судостроения в настоящее время российская промыш-

ленность не производит многие виды судового оборудования. Стоимостные параметры закупаемого иностранного оборудования являются одним из факторов, снижающих конкурентоспособность российской продукции. Суммарная стоимость ввезенных в Россию импортных судовых комплектующих и оборудования, по экспертным оценкам, достигла 7 млрд. долл. Доля иностранных комплектующих в новых судах доходит до 80%. В результате стоимость иностранных комплектующих в цене судна может достигать 50–60%.

Федеральное государственное унитарное предприятие «Крыловский государственный научный центр» разработало Программу по импортозамещению в сферах военного и гражданского судостроения. Документ предполагает стратегию развития по замене импортной продукции на отечественные аналоги до 2020 г. В рамках реализации масштабной программы на территории России должно быть налажено производство более 600 видов узлов и агрегатов и локализована сборка 14 типов судовых комплектующих.

Проблема импортозамещения судового комплектующего оборудования может быть частично решена посредством трансфера зарубежных технологий. В этой работе может принять участие и наше Общество, которое располагает определенным опытом международного сотрудничества и партнерских отношений с зарубежными коллегами.

УЧАСТИЕ ОБЩЕСТВА В РЕШЕНИИ КАДРОВЫХ ПРОБЛЕМ РОССИЙСКОГО СУДОСТРОЕНИЯ

В решениях IV Съезда НТО уделено значительное внимание активизации его участия в подготовке и переподготовке кадров судостроителей. В частности, научно-техническим секциям предложено нацелить свою работу на преодоление оттока квалифицированных кадров с предприятий отрасли, на повышение престижа инженерных специальностей и улучшение подготовки рабочего персонала судостроителей.

В решении этих вопросов определяющая роль принадлежит научно-технической секции «Современных технологий подготовки и переподготовки кадров» (руководитель – кандидат технических наук, доцент Г.В. Проценко).

В отчетном периоде секция продолжила работу по внедрению в учебный процесс подготовки и переподготовки инженерных кадров судостроителей современных методов и технологий обучения. В сферу работы секции входят организация взаимодействия системы профессионального образования с работодателями, создание и развитие це-

левой подготовки кадров, выработка рекомендаций по разработке учебных программ для отраслевой системы образования, ориентированных на практику судостроительной индустрии и адаптированных к месту будущей работы выпускников отраслевых высших учебных заведений. Работа секции и решение задач, стоящих перед ней, осуществляются на планомерной основе, в большинстве случаев совместно с действовавшим многие годы Институтом морской техники и технологии факультета целевой контрактной подготовки Санкт-Петербургского морского технического университета.

Конкретными делами секции в прошедшие годы стали:

- участие в формировании базовых кафедр вузов на предприятиях и в организациях петербургского судостроительного кластера;
- оказание помощи в создании Центра подготовки и переподготовки кадров на базе Санкт-Петербургского государственного морского технического университета;
- содействие в создании системы дополнительного профессионального образования для кадровой политики Объединенной судостроительной корпорации.

В актив секции в 2012–2014 гг. можно записать участие в реализации Президентской программы повышения квалификации инженерных кадров, утвержденной в мае 2012 г. Секцией был выполнен комплекс работ по общепрофессиональным перспективным научным и практическим методам развития российского судостроения, выработанных специализированными секциями Общества. Эта работа стала полезным источником актуальной тематики для разработки программ, в частности СПбГМТУ, и выдвижения этих программ на конкурс для финансирования из фондов Президентской программы повышения квалификации инженерных кадров.

Итоги этой работы были представлены в докладе «Пути повышения инженерных знаний как фактора развития российского судостроения» на международном научно-практическом семинаре, проведенном Российским союзом НИО в 2013 г. в Греции.

Однако в кадровой работе нашего Общества имеются недоработки. Так, из-за отказа руководства СПбГМТУ поддержать инициативу РосНТО не удалось выполнить поручение IV Съезда по разработке комплексной программы улучшения профессионального образования в отрасли для всех категорий персонала.

В работе РосНТО по решению кадровых проблем российского судостроения приоритет по-прежнему отдается работе с молодыми судостроителями.

Новый импульс это направление получило после создания в 2014 г. в результате реорганизации комитетов Общества самостоятельного Комитета по молодежной политике и связям со средствами массовой информации (председатель — кандидат технических наук Б.А. Барбанель).

Основными инструментами работы комитета с молодыми специалистами являются предложения по участию в ежегодных научно-технических конкурсах и конференциях, оказание содействия в подготовке и размещении статей в научно-производственных сборниках и журналах, помощь в оформлении заявок на патенты и изобретения.

Первый научно-технический конкурс молодых специалистов под патронажем комитета был проведен в 2013–2014 гг. В нем приняли участие молодые специалисты из 14 организаций отрасли, представившие 26 работ.

Уже через год, в 2015–2016 гг. в научно-техническом конкурсе «Молодой кораблестроитель – инженер года 2016» приняли участие 73 молодых специалиста из 23 предприятий и организаций отрасли; 22 победителя награждены денежными премиями и памятными медалями Общества. На базе конкурсных работ в научно-производственные журналы направлено 12 статей.

К сожалению, в области молодежной политики Обществу не удалось реализовать инициативу, поддержанную IV Съездом, о внедрении в практику заключения предприятиями отрасли образовательных производственно-семейных контрактов. Ни Объединенная судостроительная корпорация, ни ведущие концерны отрасли оказались не готовы к реализации этой, на наш взгляд, полезной практики.

Говоря о работе комитета по молодежной политике и связям со средствами массовой информации, необходимо отметить его ведущую роль в *просветительской научно-технической деятельности Общества* среди судостроительной общественности, которая осуществляется в различных формах.

РосНТО развило такие формы работы, как издание учебников для вузов, монографий, книг, посвященных истории судостроения и выдающимся деятелям отрасли. По рекомендации Президиума Общества и при его координирующей роли научные работы ученых и специалистов публикуются в судостроительных периодических изданиях – журналах «Судостроение», «Морской вестник», «Вестник технологии судостроения» и научно-технических сборниках «Крыловского государственного научного центра», «Кончерна «Электроприбор».

Особое место в распространении идей о значимости российского судо-

строения для развития страны и в повышении привлекательности профессий судостроителей, прежде всего в молодежной среде, имеет *историко-просветительская деятельность* нашего Общества.

В отчетном периоде состоялись два исторических события, на которых была сосредоточена работа РосНТО: 150-летие со дня рождения выдающегося российского ученого-корабеля, академика Алексея Николаевича Крылова и 150-летний юбилей со дня основания нашего Общества как IV отдела «Судостроения, морской техники, артиллерии и оружейного производства» Русского Технического Общества.

В дни празднования юбилея Алексея Николаевича Крылова в июне 2013 г. делегация Общества участвовала в торжественных мероприятиях в Чебоксарах и на его родине в дер. Крылово Порецкого района Чувашской республики. В средствах массовой информации помещены статьи о деятельности великого русского кораблестроителя. На средства, собранные судостроительными предприятиями по инициативе нашего Общества, в 2015 г. изготовлен и установлен на берегу реки Волги в Чебоксарах шестиметровый бронзовый памятник Алексею Николаевичу Крылову. На открытии памятника присутствовала делегация РосНТО.

К юбилею А.Н. Крылова были выпущены памятные золотая и серебряная медали, которыми награждены активные члены нашего Общества.

2016 г. был проведен под знаком 150-летия со дня основания нашего Общества и 150-летия со дня учреждения Русского Технического Общества. Юбилей со дня основания нашего Общества отмечен торжественным Пленумом, который состоялся 30 мая 2016 г. Материалы Пленума изданы в Трудах РосНТО судостроителей им. акад. А.Н. Крылова. Как упоминалось, издан содержательный сборник «Общество российских корабелов: традиции диктуют будущее». Решения Пленума приняты руководящими органами Общества к исполнению.

В подготовке торжественных мероприятий, посвященных юбилею РосНТО, особо хочется отметить роль секции «Истории судостроения» и лично ее руководителя В.В. Козыря за содержательный доклад об истоках и деятельности нашего научно-общественного объединения на протяжении 150 лет его истории, его роли в развитии судостроения и морского дела в Российском государстве.

В ознаменование юбилея РосНТО судостроителей выпущена Юбилейная медаль, лауреатами которой стали заслуженные члены нашего общества кораблестроителей.

Наше Общество приняло самое активное участие в подготовке и праздновании 150-летия со дня создания Русского Технического Общества. Торжественное заседание по этой памятной дате прошло 20–21 октября 2016 г. во Дворце Труда с участием делегации Российского общества судостроителей. Практически данное мероприятие стало продолжением торжеств, связанных со 150-летним юбилеем со дня основания РосНТО судостроителей.

4 октября 2017 г. в Санкт-Петербурге, в АО «ЦТСС» проходил V съезд Российского и Международного НТО судостроителей им. акад. А.Н.Крылова, на котором были подведены итоги деятельности за 2012–2017 гг. На съезде были заслушаны следующие доклады:

- президента НТО судостроителей им. акад. А.Н.Крылова В.Л. Александрова «О работе Российского НТО судостроителей им. акад. А.Н.Крылова в 2012–2017 гг.»;
- генерального директора ФГУП «Крыловский государственный научный центр» В.С. Никитина «Инновационные технологии в судостроении»;
- генерального директора АО «Адмиралтейские верфи» А.С. Бузакова «О системной роли НТО в развитии АО «Адмиралтейские верфи»;
- зам. генерального директора АО «Концерн «Гранит-Электрон» Ю.Ф. Подоплёткина «Развитие инновационных технологий в создании перспективной радиолокационной техники для корабельных и береговых комплексов»;
- зам. руководителя Архангельского регионального отделения НТО судостроителей Н.Г. Щербинина «Работа Архангельского НТО судостроителей за 5 прошедших лет»;
- зам. руководителя регионального отделения Чувашии И.В. Царевского «Решение задач регионального отделения НТО судостроителей в Чувашии»;
- руководителя регионального отделения НТО судостроителей на о.Сахалин В.Н. Храмушина «Проблемы конференций, семинаров и круглых столов, а также их решения по региональному отделению НТО судостроителей на о.Сахалин»;
- руководителя регионального отделения Калининградского НТО судостроителей С.И. Корягина «Роль регионального отделения Калининградского НТО судостроителей в продвижении работ по судостроению в регионе»;
- председателя Комитета по молодежной политике и связям со СМИ НТО судостроителей им.акад. А.Н.Крылова Б.А. Барбанеля «О молодежной политике Центрального Правления НТО судостроителей им. акад. А.Н.Крылова»;

Уважаемые делегаты съезда!

Таковы итоги работы нашего Общества за прошедшие пять лет. Оценку этой работы определять вам.

В связи с этим хочу искренне поблагодарить актив нашего Общества, членов его Центрального правления и Президиума, руководителей региональных отделений, вице-президентов и особо первого вице-президента Л.А. Промышлова за слаженную, ответственную, а порой и самоотверженную работу на благо

Российского НТО судостроителей.

Лично со своей стороны хочу отметить, что моя 15-летняя работа на посту президента Общества судостроителей сопряжена с деятельностью талантливых ученых, инженеров и руководителей предприятий, составляющих важнейший потенциал развития отечественного судостроения, которая, без сомнения, является залогом процветания судостроительной промышленности России. ■

ПОСТАНОВЛЕНИЕ V СЪЕЗДА РОССИЙСКОГО И МЕЖДУНАРОДНОГО НАУЧНО- ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЩЕСТВА СУДОСТРОИТЕЛЕЙ ИМ. АКАД. А.Н. КРЫЛОВА

*РосНТО судостроителей им. акад. А.Н.Крылова,
контакт. тел. 315 5027*

– генерального директора АНО «Иннопром» И.В. Фомина «Инновационные материалы нового поколения для применения в огнетеплозащите».

В результате обсуждения докладов участники V съезда постановили:

1. Признать работу Центрального правления и аппарата Российского и Международного НТО судостроителей им. акад. А.Н. Крылова за отчетный период удовлетворительной.

2. Избрать президентом РосНТО судостроителей им. акад. А.Н. Крылова генерального директора ФГУП «Крыловский государственный научный центр» В.С. Никитина; В.Л. Александрова – почетным президентом РосНТО.

3. Утвердить протокол V съезда РосНТО судостроителей им. акад. А.Н. Крылова.

4. Отметить, что на 3 октября 2017 г. в НТО судостроителей работают 26 научно-технических секций и 8 подсекций, в том числе:

- «Мореходные качества судов» (К.Е. Сазонов); подсекция «Мореходные качества в штормовых условиях» (В.Н. Храмушин);
- «Проектирование судов» (А.И. Гайкович);
- «Прочности и конструкции корпуса судна» (Е.А. Шишенин); подсекция «Дизельные установки» (В.К. Румб), подсекция «Арктическое судостроение» (В.М. Попов);
- «Технологии судостроения» (Л.Г. Горбов); подсекция «Газовозы России» (Ю.Б. Рыбальченко);
- «Электроэнергетических систем» (Л.И. Чубраева); подсекция «Электро-

магнитная совместимость судовых технических средств» (Г.Н. Цицикян);

«Приборное и радиоэлектронное оснащение кораблей и судов» (Г.А. Коржавин);

подсекция «Интеллектуальные технологии технических систем» (Ю.И. Нечаев);

«Техническая эксплуатация и судоремонт» (Г.Н. Муру);

«Морская навигация, гидрография, геофизика и гидрометеорология» (П.И. Малеев);

«Судостроительные материалы» (Г.И. Николаев); подсекция «Развитие литейного производства» (А.А. Гетьман);

«Судовое машиностроение» (М.А. Александров);

«Судовая арматура» (А.В. Кузнецов);

«Акустика в судостроении» (С.В. Попков);

«История судостроения» (В.В. Козырь);

«Экономики и управления» (М.Ю. Алёхин);

«Экология и безопасность в судостроении» (Н.А. Вальдман); подсекция «Охрана труда» (В.Л. Суслов, зам.руководителя А.Л. Промыслов);

«Современные технологии подготовки и переподготовки кадров» (Г.В. Проценко);

«Управление судостроительным производством» (А.Е. Богданов);

«Нанотехнологии в судостроении» (В.А. Малышевский);

«Надежность технических систем» (О.В. Щербаков);

«Поисково-спасательная техника и технологии» (В.Н. Илюхин);

«Малотоннажное судостроение» (Г.С. Адрианов);

«Общесистемные вопросы развития радиоэлектронного оборудования су-

дов и радиоэлектронного вооружения» (В.В. Ханычев);
«Экранопланостроение» (Г.А. Федорев);
«Подводные технологии и гидронавтика» (А.С. Гадалин);
«Технология и производство сварки» (В.В. Мурзин).

5. Утвердить три комитета РосНТО судостроителей им. акад. А.Н. Крылова в том числе:

Комитет по молодежной политике и связям со средствами массовой информации (СМИ) – руководитель Б.А. Барбанель;

Инновационный (экспертный) комитет по поиску и оценке инновационных идей – руководитель П.И. Малеев;

Комитет по региональному развитию – руководитель Г.Н. Муру, зам. руководителя П.А. Шауб.

6. Продолжить работу по следующим направлениям:

– решение задач продвижения инновационных проектов и программ, а также критических и высоких технологий, обеспечивающих развитие отрасли;

– подготовка и переподготовка молодых инженерных кадров для судостроения, проведение ежегодных конкурсов молодых специалистов;

– расширение сотрудничества с судостроительными регионами России; создание южного регионального отделения НТО, объединяющего Северный Кавказ, Ростов-на-Дону, Таганрог, Астрахань;

– создание регионального отделения НТО в Мурманске;

– обеспечение вовлечение в хозяйственный оборот результатов научной и научно-технической деятельности путем создания необходимых условий для их коммерциализации;

– определение деятельности РосНТО судостроителей им. акад. А.Н. Крылова, направленной на обеспечение Государственной программы – «Развитие судостроительной промышленности до 2030 года».

7. Принять участие в мероприятиях Чувашской Республики в 2018 г., посвященных 155-летию А.Н. Крылова.

8. Организовать с участием заинтересованных судостроительных предприятий, научных и образовательных организаций судостроения проведение необходимых мероприятий по выдвижению кандидатур (коллективов), результаты научных исследований и уровень разработок которых соответствуют требованиям Положения о Премии Президента РФ в области науки и инноваций для молодых ученых.

9. Поручить Президиуму РосНТО судостроителей им. акад. А.Н. Крылова, выбранному на V съезде, рассмотреть предложения, поступившие от руководителей регионов и делегатов съезда, отредактировать их и при положитель-

ном решении включить как дополнение к данному постановлению.

10. Утвердить состав Президиума РосНТО судостроителей им. акад. А.Н. Крылова на 2017 – 2022 гг.:
Никитин Владимир Семенович
Александров Михаил Владимирович
Барбанель Борис Аронович
Бузаков Александр Сергеевич
Вильнит Игорь Владимирович
Дорофеев Владимир Юрьевич
Кадилов Алексей Васильевич
Коржавин Георгий Анатольевич
Кузнецов Александр Викторович
Муру Георгий Николаевич
Орыщенко Алексей Сергеевич
Пешехонов Владимир Григорьевич
Промыслов Леонид Александрович
Рождественский Кирилл Всеволодович
Середохо Владимир Александрович
Соловьев Александр Сергеевич
Туричин Глеб Андреевич
Шауб Петр Александрович
Шилов Константин Юрьевич
Шляхтенко Александр Васильевич

11. Утвердить состав Центрального правления РосНТО судостроителей им. акад. А.Н. Крылова на 2017 – 2022 гг.:
Акимов Александр Петрович
Александров Михаил Александрович
Александров Михаил Владимирович
Архипов Андрей Викторович
Барбанель Борис Аронович
Будниченко Михаил Анатольевич
Бузаков Александр Сергеевич
Горбач Владимир Дмитриевич
Вильнит Игорь Владимирович
Вихров Николай Михайлович
Волков Виталий Юрьевич
Горелик Борис Александрович
Дерябина Марина Александровна
Дорофеев Владимир Юрьевич
Дударенко Вячеслав Васильевич
Дьячков Андрей Аркадьевич
Знатков Александр Сергеевич
Илюхин Виктор Николаевич
Кадилов Алексей Васильевич
Колодяжный Дмитрий Юрьевич
Конов Эдуард Александрович
Коржавин Георгий Анатольевич
Корягин Сергей Иванович
Кузнецов Александр Викторович
Кузнецов Леонид Григорьевич
Максименко Михаил Романович
Максимов Николай Михайлович
Малеев Павел Иванович
Малышевский Виктор Андреевич
Муру Георгий Николаевич
Неуступова Алина Серафимовна
Никитин Владимир Семенович
Орыщенко Алексей Сергеевич
Пешехонов Владимир Григорьевич
Плавник Павел Гарьевич
Подоплекин Юрий Федорович
Половинкин Валерий Николаевич
Попов Вячеслав Михайлович
Промыслов Леонид Александрович
Рождественский Кирилл Всеволодович

Середохо Владимир Александрович
Соловьев Александр Сергеевич
Суховинский Игорь Семенович
Татарский Виктор Сергеевич
Туричин Глеб Андреевич
Фомичев Андрей Борисович
Хаустов Андрей Николаевич
Храмушин Василий Николаевич
Шауб Петр Александрович
Шилов Константин Юрьевич
Шишенин Евгений Александрович
Шляхтенко Александр Васильевич
Якушенко Евгений Иванович

12. Избрать почетными членами РосНТО судостроителей им. акад. А.Н. Крылова:

Акимов Александр Петрович
Багерман Анатолий Захарович
Байков Владимир Павлович
Барбанель Борис Аронович
Богданов Александр Евгеньевич
Бородин Юрий Леонидович
Бузаков Александр Сергеевич
Вальдман Николай Александрович
Вебер Альберт Владимирович
Вильнит Игорь Владимирович
Вихров Николай Михайлович
Гайкович Александр Иосифович
Гетьман Анатолий Антонович
Горбач Владимир Дмитриевич
Горелик Борис Александрович
Григорьев Борис Васильевич
Дорофеев Владимир Юрьевич
Дударенко Вячеслав Васильевич
Илюхин Виктор Николаевич
Клячко Лев Михайлович
Конов Эдуард Александрович
Коновалов Юрий Михайлович
Коржавин Георгий Анатольевич
Кузнецов Александр Викторович
Малеев Павел Иванович
Малышевский Виктор Андреевич
Муру Георгий Николаевич
Нечаев Юрий Иванович
Николаев Герман Иванович
Орыщенко Алексей Сергеевич
Пашкевич Игорь Александрович
Перельгин Александр Васильевич
Подоплекин Юрий Федорович
Половинкин Валерий Николаевич
Попков Сергей Владимирович
Попов Вячеслав Михайлович
Промыслов Леонид Александрович
Проценко Геннадий Васильевич
Рождественский Кирилл Всеволодович
Румб Виктор Карлович
Сазонов Кирилл Евгеньевич
Столяров Сергей Павлович
Суховинский Игорь Семенович
Татарский Виктор Сергеевич
Храмушин Василий Николаевич
Чубраева Лидия Игоревна
Шейнин Марк Абрамович
Шилов Константин Юрьевич
Шишенин Евгений Александрович
Шляхтенко Александр Васильевич
Щербаков Олег Вячеславович
Юхнин Владимир Евгеньевич ■

27 сентября 2017 г. в ЦТСС состоялась очередное собрание судостроительной общественности города и области, на котором присутствовали директора или заместители директоров 39 предприятий из 49 предприятий – членов Ассоциации, ответственный секретарь Морского Совета при Правительстве Санкт-Петербурга Т. И. Чекалова, представители НТО им. акад. А. Н. Крылова, председатель территориальной организации профсоюзов Н. С. Чалов, председатель Союза ветеранов судостроения Санкт-Петербурга А. И. Затчаев, пресса и ТВ. Вел собрание президент Ассоциации В. Л. Александров.

В повестке дня были доклады «Состояние и перспективы развития ледокольного флота России» В. И. Трифоновко, главного инженера ПАО «ЦКБ «Айсберг» и «Перспективные проектные разработки проектной фирмы «Союзпроектверф» ЦТСС для Северо-Западного Федерального округа» В. Н. Киреева, заместителя генерального директора АО «ЦТСС», директора ПФ «Союзпроектверф».

Кроме того, о подготовке и праздновании профессионального «Дня судостроителя» 30 октября 2017 г. сообщил А. А. Затчаев, председатель Союза ветеранов судостроения Санкт-Петербурга, а о проекте Постановления Правительства РФ о порядке выполнения задний по госзаказу выступил И. Л. Вайсман, заместитель генерального директора завода «Пелла», эксперт Ассоциации.

После обмена мнениями собрание отметило, что технический проект атомного ледокола-лидера мощностью 120 МВт близок к завершению в ПАО «ЦКБ «Айсберг». С целью получения лицензии на строительство этого ледокола присутствующие вынесли решение просить Минпромторг РФ изыскать возможность финансирования необходимого комплекта разрешительно-лицензионной документации силами ПАО «ЦКБ «Айсберг» и его контрагентов в 2018 г. Кроме того, считать целесообразным разработку технического проекта многофункционального атомного ледокола мощностью 40 МВт по модели, согласованной с заказчиком, рекомендовать ПАО «ЦКБ «Айсберг» продолжить работы по определению потенциальных заказчиков на этот многоцелевой атомный ледокол, эскизный проект которого представляет интерес.

Проработки «Союзпроектверфи» АО «ЦТСС» по перспективному развитию 16 судостроительных предприятий Северо-Западного Федерального округа с оценкой необходимых инвестиций стали базой для предложений предпри-

ИТОГИ СОВМЕСТНОГО СОБРАНИЯ АССОЦИАЦИИ СУДОСТРОИТЕЛЕЙ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА И ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ И СЕКЦИИ СУДОСТРОЕНИЯ МОРСКОГО СОВЕТА ПРИ ПРАВИТЕЛЬСТВЕ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

*Ассоциация судостроителей Санкт-Петербурга
и Ленинградской области,
контакт. тел. (812) 786 1172*



Слева-направо: В. И. Трифоновко, В. Л. Александров, Л. Г. Грабовец

ятий по формированию государственной программы «Развитие ОПК РФ на период 2018–2025 гг.». Было решено просить председателя Совета коллегии ВПК РФ по кораблестроению В. Я. Поспелова включить в повестку дня одного из заседаний Совета вопрос об обоснованности строительства верфи крупнотоннажного судостроения в Северо-Западном Федеральном округе.

Интерес вызвало сообщение И. Л. Вайсмана, который рассказал о том, что проект постановления содержит методы, процедуры, порядок и другие механизмы выполнения госзаказа. Постановление должно вступить в силу с 1 января 2018 г.; предусматривает отмену ряда нормативных актов Правительства РФ по выполнению госзаказа.

Данный проект согласовали ФАС России, Минпромторг РФ, Минобороны РФ, Минфин РФ, ГК «Ростех», ГК «Роскосмос», ГК «Росатом», а вот АО «ОСК», АО «Вертолеты России» и ПАО «ОАК» по причине низкого уровня плановой рентабельности и прибыли, что не позволяет обновлять и развивать производство, привлекать частные инвестиции и получать кредиты банков на эти цели, пока не утвердили его. В связи с этим собрание поручило исполнительный дирекции Ассоциации подготовить обращение от имени ее президента в адрес Администрации Президента РФ и

заместителя Председателя Правительства РФ Д. О. Рогозина с предложением и просьбой включить в действующую Рабочую группу представителя Ассоциации для рассмотрения разногласий и принятия консолидированного решения, учитывающего мнение производственных предприятий.

В заключение участники 38 головами приняли АО «Концерн «Моринформсистема-Агат» в члены Ассоциации, заявка о котором была доложена Г. В. Голотоном, руководителем представительства АО «Концерн «Моринформсистема-Агат» в Санкт-Петербурге по доверенности генерального директора концерна Г. В. Анцева.

В октябре 2017 г. судостроители города отметили профессиональный праздник «День судостроителя» согласно Закону Санкт-Петербурга от 22.05.2013 г. № 283–48. Однако в связи с выходом Постановления Правительства РФ от 30.05.2017 г. № 659 «О дне кораблестроителя» собрание поручило председателю Союза ветеранов судостроения Петербурга А. И. Затчаеву обратиться к президенту ОСК А. Л. Рахманову с просьбой разрешить данную коллизию.

Решение собрания разослано всем членам Ассоциации, участникам мероприятия, а также в ВПК РФ, Минпромторг РФ и АО «ОСК». ■

30 октября 2017 г. в БКЗ «Октябрьский» состоялся торжественный вечер, посвященный Дню судостроителя.

Идея введения праздника была обнародована весной 2014 г. на заседании представителей исполнительной и законодательной власти города, Санкт-Петербургского государственного морского технического университета, научно-исследовательских институтов, конструкторских бюро и верфей.

Дата празднования – 30 октября – была выбрана не случайно: в этот день в 1696 г. Боярская дума по инициативе Петра I постановила «Морским судам быть!», чем положила начало строительства в Воронеже 52 кораблей для Азовской флотилии.

С профессиональным праздником работников и ветеранов отрасли поздравили губернатор Санкт-Петербурга Георгий Полтавченко и председатель Законодательного Собрания Вячеслав Макаров.

В праздничном мероприятии приняли участие первый вице-президент Союза промышленников и предпринимателей Санкт-Петербурга Михаил Лобин, исполнительные вице-президенты Евгений Горин и Александр Медведев.

Георгий Полтавченко отметил, что День судостроителя – это особый праздник для нашего города, который создавался Петром Первым как Морская столица России. «Именно здесь ковалась мощь военно-морского флота нашей страны, создавались уникальные, не имеющие аналогов исследовательские суда. Петербург и сегодня является лидером в этой сфере, – сказал он – только в этом году в Петербурге заложено восемь судов и столько же спущено на воду. В настоящий момент на петербургских верфях выполняются заказы Министерства обороны, других федеральных ведомств, частных компаний на сумму более 200 миллиардов рублей.

Профессия судостроителя очень почетна, она требует особых навыков и знаний, в том числе умения заглядывать вперед и понимания, какими должны быть новые современные корабли, которые должны прославлять Россию, укреплять ее имидж как мировой флотской державы», – подчеркнул губернатор.

В заключение Георгий Полтавченко пожелал судостроителям новых трудовых свершений и вручил лучшим сотрудникам предприятий награды:

Почетные грамоты от имени губернатора за большой вклад в развитие судостроительной промышленности в Санкт-Петербурге и в связи с Днем судостроителя судовому слесарю-монтажнику 5-го разряда ООО «Балтийский завод – Судостроение» А. В. Калайде и генеральному директору АО «Адмиралтейские верфи» А. С. Бузакову.

ДЕНЬ СУДОСТРОИТЕЛЯ В САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ

*Ассоциация судостроителей Санкт-Петербурга
и Ленинградской области,
контакт. тел. (812) 786 1172*



С Днем судостроителя поздравляют председатель Законодательного Собрания В. Макаров и губернатор Санкт-Петербурга Г. Полтавченко

Благодарностей губернатора удостоены генеральный директор АО «Завод «Двигатель» Б. Ф. Калмыков, маляр 4-го разряда ООО «Балтийский завод – Судостроение» В. В. Барышников.

Благодарностями Законодательного Собрания Санкт-Петербурга за высокий профессионализм, значительный вклад в развитие промышленности Санкт-Петербурга, добросовестный труд были отмечены: ведущий инженер АО «Концерн «Центральный научно-исследовательский институт «Электроприбор» А. А. Крюков, ведущий инженер-конструктор ПАО «ЦКБ «Айсберг» С. Н. Ранфиусов, генеральный директор АО «ЭлектроРадиоАвтоматика» В. С. Татарский.

Кроме того, Почетными грамотами Комитета по промышленной политике и инновациям Санкт-Петербурга за боль-

шой вклад в развитие судостроительной промышленности в Санкт-Петербурге удостоены: ведущий инженер-программист АО «НПФ «Меридиан» Г. И. Курилович и начальник сектора – заместитель начальника отдела филиала «ЦНИИ судовой электротехники и технологии» ФГУП «Крыловский государственный научный центр» Д. В. Мингалёв.

Благодарности этот Комитет также выразил: генеральному директору АО «Концерн «Гранит-Электрон» Г. А. Коржавину; ведущему инженеру Научно-производственного комплекса № 11 ФГУП «ЦНИИ КМ «Прометей» М. В. Корнюхиной; слесарю механосборочных работ 5-го разряда АО «НПП «Компенсатор» В. Н. Черняку; инженеру-электрику 1-й категории ООО «Балтийский завод – Судостроение» Л. Л. Амельченко. ■



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 (полугутоновые), TIFF BITMAP (штриховые), EPS, JPEG, с разрешением 300 dpi для полугутоновых, 600 dpi для штриховых и в размерах, желательных для размещения.

2. Статья должна содержать реферат объемом до 300 знаков, ключевые слова и библиографо-библиотечный индекс УДК. Автор указывает ученую степень, ученое звание, место работы, должность и контактный телефон, а также дает в письменной форме разрешение редакции журнала на размещение статьи в Интернете и Научной электронной библиотеке после

публикации в журнале. Статья представляется с рецензией.

3. Статьи соискателей и аспирантов принимаются к публикации на бесплатной и безгонорарной основе.

4. Контрольное рецензирование этих статей осуществляет редакционная коллегия с привлечением при необходимости профильных специалистов. Рецензии на статьи хранятся в редакции журнала в течение 5 лет.

5. В случае отказа в публикации автору высылается рецензия. Копии рецензий направляются в Минобрнауки России при поступлении соответствующего запроса в редакцию журнала.

6. Содержание журнала ежеквартально представляется на рассмотрение редакционному совету. Решение о выпуске очередного номера оформляется протоколом.

РЕФЕРАТЫ

- УДК 621.639:621.165 **Ключевые слова:** СФ «Алмаз», патрульное судно, буксир ледового класса, ледокол, ледопродоходимость
Д.В. Спиридонов. Судостроительная фирма «Алмаз» уверена в своих силах // Морской вестник. 2017. №4(64). С. 7
Подробно рассмотрен переход СФ «Алмаз» от постройки малотоннажных судов –катеров для военных нужд – к среднетоннажному судостроению – постройке кораблей и судов любых проектов военного и гражданского назначения. Особое внимание уделено строительству патрульного судна ледового класса пр. 22120 и ледокола пр. 21180М. Показано, что сделать такой рывок позволила реконструкция производственных мощностей. Т. 1. Ил. 8.
- УДК 629(091) **Ключевые слова:** суда внутреннего плавания, суда смешанного река-море плавания, анализ риска, опасности, ущерб, проектирование, надежность, прогноз
Г.В. Егоров, А.Г. Егоров. Перспективы классических сухогрузных судов типа «Волго-Дон» и «Волжский» // Морской вестник. 2017. № 4(64). С. 11
Выполнен анализ происшедших аварий с сухогрузными судами смешанного плавания пр. 507А, 507Б, 1565 (с модификациями) типа «Волго-Дон» и пр. 05074 (с модификациями) типа «Волжский». Всего было обработано 146 аварийных случаев. Выявлены основные опасности, приведшие как к авариям, так и к катастрофам. Наблюдается устойчивый рост аварийности для судов старше 15 лет с пиками аварий для судов возрастом 23–26 и 33–40 лет. Установлено, что главными опасностями являются водотечность непроницаемого корпуса, сознательное нарушение установленных ограничений по району и сезону плавания, а также «внепроектные» контакты (контакты со стенками шлюзов, причалов, посадки на мель, столкновения с другими судами и т.п.). Т. 3. Ил. 10. Библиогр. 8 назв.
- УДК 629.5 **Ключевые слова:** электронная база знаний, проектная методика, расчетный модуль, алгоритм расчета, структура информации о судне
Лян Янь, А.Н. Сулосов. Разработка электронной базы знаний – электронного справочника проектных методик // Морской вестник. 2017. №4(64). С. 19
В статье рассмотрены принципы формирования электронной базы знаний на основе совокупности проектных методик, позволяющих определить основные характеристики проектируемого судна на различных этапах проектирования. Ил. 3. Библиогр. 3 назв.
- УДК 336.7:330 **Ключевые слова:** ОАО «Пелла», рентабельность, госзаказ, внебюджетные средства
И.Л. Вайсман, А.А. Юрчак. Рентабельность (прибыль) по государственным контрактам // Морской вестник. 2017. №4(64). С. 23
Предложения Ассоциации судостроителей Санкт-Петербурга и Ленинградской области по снижению затрат головных исполнителей госзаказов, привлечению собственных средств и внебюджетных инвестиций для развития производственных мощностей. Приведены примеры укрупненного расчета величины валовой прибыли и основных направлений её использования, а также экспертная оценка СПбГЭУ работ ОАО «Пелла» по созданию на внебюджетные средства новых производственных мощностей.
- УДК 629.12 **Ключевые слова:** судно, постройка, интегрированный блок, качество, преимущества
А.С. Соловьев. Управление качеством при строительстве судов интегрированными крупными блоками // Морской вестник. 2017. №4(64). С. 25
Изложены направления развития судостроительных предприятий в условиях стабильной загрузки. Особый акцент сделан на развитие систем управления качеством, подчеркнута значительное влияние качества корпуса на мореходные и эксплуатационные качества судов.
Указаны причины возникновения погрешностей при изготовлении корпусных конструкций и предложены конструктивные, технологические и организационные методы и подходы для их уменьшения в условиях внедрения технологии интегрированного крупноблочного строительства.
Кратко описаны система управления качеством, которая позволяет прогнозировать и управлять качеством строящихся судов на ПАО «Выборгский судостроительный завод». Библиогр. 3 назв.
- УДК 629.5.083 **Ключевые слова:** ведомость, сервисное обслуживание, корабль, ВМФ
Е.В. Копылов. История создания, состав и порядок применения в ВМФ типовых ведомостей сервисного обслуживания и ремонта кораблей и судов // Морской вестник. 2017. № 4(64). С. 27
Рассмотрены предназначение и порядок построения типовых ведомостей сервисного обслуживания кораблей (судов)– ТВСО ВМФ. Показаны состав, структура, организация разработки и согласования ТВСО, позволяющие планировать и контролировать реализацию различных стадий жизненного цикла корабля (судна). Также обозначены проблемные места при разработке и использовании ТВСО, требующие системного подхода к вопросам обеспечения, учета и планирования при прохождении кораблем (судном) различных стадий жизненного цикла. Т. 1. Библиогр. 4 назв.
- УДК 67.02 **Ключевые слова:** наплавка, коэффициент расширения, многослойная наплавка, металл
И.А. Савицкая. Внедрение новейших наплавочных материалов в АО «Армалит» // Морской вестник. 2017. №4(64). С. 29
Описан процесс автоматической наплавки уплотнительной износостойкой поверхности с применением новейших наплавочных материалов.
- УДК 658.5.012.2 **Ключевые слова:** ГИС, распределенное производство, управление активами, отраслевые корпорации
О.Ю. Аксенов, П.А. Иванов. Оптимизация распределенного производства с применением геоинформационных технологий // Морской вестник. 2017. №4(64). С. 32
Замена избыточных мощностей в отраслевых корпорациях на кооперацию сдерживается недостатком информации. Объединение данных о мощностях, их загрузке и логистике в геоинформационной системе позволит оптимизировать стоимость постройки судна или оборудования и сократить активы при соблюдении сроков. Ил. 2. Библиогр. 6 назв.
- УДК 621.79 **Ключевые слова:** гидроабразивная резка, преимущества, характеристики
Д.В. Гарагуля. Преимущества гидроабразивной резки при раскрое листового металла // Морской вестник. 2017. № 4(64). С. 37
Представлена гидроабразивная установка производства компании CMS Tesposcut.
Показаны ее преимущества по сравнению с другими способами резки: лазером, плазмой, электроэрозионными машинами. Приведены характеристики установки. Ил. 2.
- УДК 621.37 **Ключевые слова:** статический преобразователь, классификация, электромашинный преобразователь, вспомогательная система, система компенсации, зарядное и согласующее устройство, активный фильтр
А.С. Петрушенко. Статические преобразователи в кораблестроении // Морской вестник. 2017. №4(64). С. 39
Рассмотрены новые производственные решения в отрасли силовой электроники и появление новых возможностей с применением современной элементной базы.
Особое внимание уделено актуальности применения в кораблестроении устройств силовой электроники, которые позволяют добиться ранее недостижимых показателей качества регулирования энергетических процессов.
Показано, что силовая электроника будет развиваться благодаря новым возможностям. Ил. 7.
- УДК 621.82 **Ключевые слова:** показатели надёжности, резервирование мажоритарное, дублирование, объект, интегральный критерий, закон распределения, наработка на отказ, время восстановления, хранение
М.А. Александров, А.Г. Богданов, В.Ю. Каминский, Д.А. Скороходов. Надёжность изделий судового машиностроения // Морской вестник. 2017. №4(64). С. 45
Показано, что при оценке надёжности проектируемых судовых устройств необходимо тщательно подходить к выбору критериев надёжности, от которых в значительной степени зависит реальная эксплуатационная надёжность судна. При этом надо учитывать, что большинство проектируемых объектов не резервируются целиком, так как являются сложными техническими системами. Резервируются лишь отдельные наименее надёжные в составе проектируемых устройств составляющие, резервирование или дублирование которых существенно повышает надёжность объекта проектирования в целом. Следует вывод о том, что, если время эксплуатации объекта проектирования существенно меньше наработки на отказ, то оптимальными критериями надёжности восстанавливаемых элементов являются: средняя частота отказов и функция готовности. Необходимо отметить, что выбор критериев для оценки надёжности судовых устройств в процессе хранения зависит от вида контроля их состояния в условиях хранения. Библиогр. 7 назв.
- УДК 629.5.061 **Ключевые слова:** автоматизация технологических процессов на судне, дизель-генераторные агрегаты, интегрированная мостиковая система, энергобережение, экономия электроэнергии
П.В. Голубев. Распределение нагрузки при параллельной работе судовых дизель-генераторных агрегатов методом квадратичного программирования // Морской вестник. 2017. №4(64). С. 47
Рассмотрен алгоритм расчета экономических режимов работы судовых генераторных агрегатов с различными расходными характеристиками. Ил. 1. Библиогр. 6 назв.
- УДК 660.782 **Ключевые слова:** компрессор водорода, сплав, металлогидрид, высокое давление, компримирование
М.С. Бочарников, Ю.Б. Яненко, Б.П. Тарасов. Металлогидридные компрессоры водорода // Морской вестник. 2017. № 4(64). С. 53
Приведены результаты разработки, изготовления и исследования двухступенчатых металлогидридных компрессоров водорода. Показано, данный тип компрессоров может быть альтернативой механическому компрессору не только для наполнения стальных и композитных водородных баллонов, но и в области специальных назначений. Ил. 8. Библиогр. 10 назв.

- УДК 629.12:637 **Ключевые слова:** азот, мембраны, компрессор, воздуходеление
Л.Г. Кузнецов, Ю.Л. Кузнецов, А.В. Бураков, А.С. Перминов, С.Н. Серебренников. Мембранные технологии в установках получения азота из воздуха для ВМФ, нефтегазового сектора и энергетики // *Морской вестник*. 2017. №4(64). С. 57
В статье рассмотрены вопросы мембранного воздуходеления, проанализирован опыт применения предприятием мембран для воздуходеления, выявлены основные факторы, влияющие на процесс воздуходеления, определены оптимальные рабочие параметры для энергоэффективного получения азота чистотой 99,0% и выше. Т. 2. Ил. 10. Библиогр. 4 назв.
- УДК 621.039 **Ключевые слова:** биологическая защита, транспортные реакторные установки, полимерные композитные материалы, органоластики, защита от нейтронов
А.С. Соболева. Разработка предложений по перспективному материалу биологической защиты паропроизводящей установки // *Морской вестник*. 2017. №4(64). С. 61
Представлены совершенно новые перспективные полимерные композитные материалы для применения в качестве биологической защиты паропроизводящей установки. Дана краткая характеристика материалов, их основные достоинства и преимущества. Приведены результаты проработок композитных материалов. Т. 4. Библиогр. 4 назв.
- УДК 621.314.5 **Ключевые слова:** мостовой выпрямитель, прерывный ток, непрерывный ток, коэффициент пульсаций
Г.Н. Цицикия, Ю.Д. Баранов, А.И. Сенченко. Об основах функционирования преобразователя ОПЕД-12,5–115 экспортного исполнения // *Морской вестник*. 2017. №4(64). С. 64
Описаны основы функционирования преобразователя ОПЕД-12,5–115 как однофазного мостового выпрямителя с Г-образным фильтром при 2-х режимах работы: с прерывным током и с непрерывным током. Получены расчетные выражения для коэффициента пульсаций. Проведен анализ нелинейных искажений, вносимых выпрямительной установкой с учетом резонансного фильтра и параллельной нагрузки. Т. 1. Ил. 4. Библиогр. 6 назв.
- УДК 629.12.06 **Ключевые слова:** ледокол, валопровод, прочность, долговечность, ледовые нагрузки
В.К. Румб, Хоанг Ван Ты. Прочность и долговечность валопроводов ледоколов и судов ледового плавания // *Морской вестник*. 2017. №4(64). С. 68
Рассмотрены методические основы прогнозирования усталостной долговечности судовых валопроводов с привлечением имитационного моделирования, благодаря которому удается с наибольшим приближением к действительности учитывать рассеяние характеристик прочности материала валов и действующих в них напряжений, а также имитировать различные сценарии развития усталостных трещин. Это позволяет лучше понимать поведение материала при циклических нагружениях и точнее прогнозировать ресурс валов. Т. 1. Ил. 3. Библиогр. 6 назв.
- УДК 629.5.06.001.2:621.643 **Ключевые слова:** трубопроводы, проектирование, монтаж, отклонение, область компенсации
Нго Жа Вьет, К.Н. Сахно. Экспериментальные исследования процесса компенсации отклонений перемещением трасс трубопроводов // *Морской вестник*. 2017. №4(64). С. 70
Посвящена актуальной проблеме повышения технологичности трубопроводов судовых систем на стадии проектирования. Представлены пути решения вопроса изготовления и монтажа судовых трубопроводов без снятия размеров по месту. Проведены экспериментальные исследования компенсации отклонений в два этапа: определение области компенсационных возможностей и замеры фактических отклонений трасс трубопроводов. Подтверждены концептуальные основы компенсации суммарных отклонений перемещением трасс трубопроводов и разработан алгоритм компенсации отклонений трасс трубопроводов с использованием взаимно параллельных участков с соединениями труб и дополнительными припусками. Т. 4. Ил. 3. Библиогр. 7 назв.
- УДК 621.314.2 **Ключевые слова:** адаптивный алгоритм, статистический преобразователь частоты, устройство подстройки по фазе, стабилизатор напряжения
С.С. Стародед, А.И. Ивановский, А.Н. Богданов. Исследование адаптивного алгоритма параллельной работы двух стабилизаторов трехфазного напряжения // *Морской вестник*. 2017. №4(64). С. 75
Применение адаптивного алгоритма синхронизации по фазе в СПЧ, включаемых на параллельную работу, позволяет стабилизаторам подстраиваться под фазу выходного напряжения без внешних связей по цепям управления. При этом полная подстройка фазы напряжения происходит за время, не превышающее 0,2 с. Ил. 5. Библиогр. 4 назв.
- УДК 629.764.7 **Ключевые слова:** мониторинг, беспилотный аппарат, ледовая разведка, система поддержки принятия решений, геомониторинг, дистанционное зондирование
Д.А. Кондратьев, А.Г. Юрескул, В.В. Каманин, Ю.Ф. Подпелкин. Проработка решений комплекса разведки ледовой обстановки // *Морской вестник*. 2017. №4(64). С. 79
Статья посвящена современным перспективным средствам и технологиям исследования океана и ледяного покрова при решении задачи разведки ледовой обстановки. Обсуждается возможность дистанционного зондирования как основы мониторинга окружающей среды, источника оперативной и объективной информации о состоянии морского ледяного покрова. Рассмотрены вопросы экспериментальных методов исследования морского льда с целью повышения эффективности и уменьшения рисков функционирования системы разведки ледовой обстановки. Ил. 7. Библиогр. 8 назв.
- УДК 629.5.012.212.1 **Ключевые слова:** индукционный магнитный компас, размагничивающее устройство
В.Я. Матисов, А.Н. Петухов. Цифровое сопряжение размагничивающего устройства корабля с индукционным магнитным компасом // *Морской вестник*. 2017. №4(64). С. 83
Установлена возможность формирования и передачи информации от индукционного магнитного компаса в размагничивающее устройство корабля для его работы. Представлены результаты эксперимента по нахождению зависимости точности определения индукционным магнитным компасом составляющих магнитного поля Земли от точности показаний магнитного курса. Для перспективных кораблей предложен новый режим работы размагничивающего устройства. Т. 1. Библиогр. 4 назв.
- УДК 517.9:629.5 **Ключевые слова:** нейронечеткое моделирование, активная динамическая система, многорежимное управление, теория катастроф
Ю.И. Нецаев. Ледовые моделирования динамики судов активного ледового плавания // *Морской вестник*. 2017. №4(64). С. 87
Рассмотрена проблема нейронечеткого моделирования активных динамических систем в мультипроцессорной вычислительной среде. Анализ проведен применительно к системе многорежимного управления, характеризующей поведение судов активного ледового плавания. Модели взаимодействия и концептуальные решения основаны на теоретических принципах динамической теории катастроф. Ил. 9. Библиогр. 13 назв.
- УДК 621.314 **Ключевые слова:** крен, дифферент, измерение, погрешность, система контроля и управления техническими средствами
В.М. Амбросовский, Е.Б. Амбросовская, И.С. Колпакова. Измерительные каналы в системах контроля и управления техническими средствами // *Морской вестник*. 2017. №4(64). С. 93
Проанализированы особенности измерительных каналов уровня жидкостей в системах управления техническими средствами, устанавливаемых на морских подвижных объектах. Приведены зависимости погрешности измерения и предложены алгоритмы коррекции уровня от статического крена и дифферента. Ил. 10. Библиогр. 10 назв.
- УДК 621.396.537 **Ключевые слова:** частотно-модулированный сигнал (ЧМ), цифровой алгоритм, модель, тестирование
Н.Г. Бикчинтаева, В.В. Дмитриев, О.В. Орлова. Логический алгоритм демодуляции цифрового частотно-модулированного сигнала // *Морской вестник*. 2017. №4(64). С. 99
Рассмотрен цифровой демодулятор ЧМ сигнала, являющийся неоптимальным и некогерентным. Показано, что обладая беспрецедентной простотой выполнения, этот алгоритм даёт хорошие результаты при тестировании на модели канала с аддитивным шумом, нестабильностью скорости передачи, расфазированием квадратур, наличии вторичных лучей при приеме, адаптивно подстраивается под качество канала, не требует побитовой синхронизации. Т. 1. Ил. 11.
- УДК 629.783.05:629.1.053 **Ключевые слова:** Магнитное поле Земли (МПЗ), магнитометрическая система, съемка МПЗ, навигационный комплекс, инерциальная система, компас, лаг
П.И. Малеев. Новые направления использования морских магнитометрических систем // *Морской вестник*. 2017. №4(64). С. 104
Приведены результаты анализа состояния развития магнитометрических систем, способных работать непосредственно на ферромагнитном объекте. Рассмотрены возможные пути совершенствования известных методов использования таких систем на морских объектах и предлагаемые новые. Показано, что использование бортовых магнитометрических систем открывает широкие перспективы не только в интересах навигации и гидрографии, но и в ряде других важных для ВМФ направлениях. Библиогр. 10 назв.
- УДК 553.981.2:553.982.2:622.06 **Ключевые слова:** вероятности столкновения и навала, проходящие мимо суда, обслуживающие суда
М.Д. Емельянов. Вероятность столкновения судна с морской буровой установкой // *Морской вестник*. 2017. №4(64). С. 107
Проанализированы опасности столкновения с морской буровой установкой мимопроходящих судов и навала на нее обслуживающих судов. Представлен анализ причин аварийных случаев и указана их частота для различных типов судов и морских буровых установок. Предложен способ приближенной оценки вероятности столкновения и навала. Т. 5. Ил. 5. Библиогр. 8 назв.
- УДК 629.5 **Ключевые слова:** Н.М. Лужин, судостроитель, биография
В.Л. Александров. К 90-летию Н.М. Лужина // *Морской вестник*. 2017. №4(64). С. 112
Знакомит с биографией Николая Матвеевича Лужина, много лет проработавшего на Адмиралтейском заводе, где он прошел путь от рядового конструктора до главного инженера – заместителя директора завода. Был избран секретарем партийного комитета завода, секретарем Октябрьского районного комитета КПСС г. Ленинграда, затем назначен заместителем, первым заместителем заведующего Отделом оборонной промышленности ЦК КПСС. Ил. 2.
- УДК 629.5 **Ключевые слова:** Северное ПКБ, Индия, военно-техническое сотрудничество
В.Е. Юхин. Военно-техническое сотрудничество Северного проектно-конструкторского бюро с Индией // *Морской вестник*. 2017. №4(64). С. 115
Подробно рассмотрены этапы военно-технического сотрудничества Северного проектно-конструкторского бюро с ВМС Индии при создании кораблей пр. 61МЭ и пр. 11356. Приведены ТТХ кораблей и их вооружения. Особое внимание уделено роли российских конструкторов: А.Д. Шишкина, М.Н. Агличинова, В.А. Перевалова. Т. 2. Ил. 6. Библиогр. 1 назв.
- УДК 629.5 **Ключевые слова:** РосНТО судостроителей, работа, совершенствование
В.Л. Александров. Деятельность Российского научно-технического общества судостроителей в 2012–2017 гг. и задачи его развития // *Морской вестник*. 2017. №4(64). С. 119
Представлен отчетный доклад президента РосНТО судостроителей им. акад. А.Н. Крылова на V съезде общества, который состоялся в Санкт-Петербурге 4 октября 2017 г. Подведены итоги работы и участия РосНТО в развитии российского судостроения.

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.

SUMMARIES

UDC 621.639:621.165 **Keywords:** JSC SF Almaz, patrol vessel, ice class tug, ice breaker, ice-breakability

D.V. Spiridonov. Shipbuilding firm Almaz is confident in its abilities // Morskoy Vestnik. 2017. № 4 (64). P. 7

The transition of SF Almaz from the construction of small tonnage vessels for military needs to medium-tonnage shipbuilding – the construction of ships and vessels of any military and civil projects – has been considered in detail. Particular attention is paid to the construction of an ice-class patrol vessel pr. 22120 and an icebreaker pr. 21180M. It is shown that such a breakthrough was made possible by the reconstruction of production facilities. T. 1. Fig. 8.

UDC 629 (091) **Keywords:** inland navigation vessels, mixed river-sea navigation vessels, risk analysis, hazards, damage, design, reliability, forecast

G.V. Egorov, A.G. Egorov. Prospects of classical dry cargo vessels type «Volgo-Don» and the «Volzhsky» // Morskoy Vestnik. 2017. № 4 (64). P. 11

The analysis of the occurred accidents with dry cargo vessels of mixed floating projects 507A, 507B, 1565 (with modifications) of the type «Volgo-Don», etc. 05074 (with modifications) of the type «Volzhsky». A total of 146 emergencies were handled. The main dangers that led to both accidents and disasters were identified. There is a steady increase in accidents for ships older than 15 years with peaks of accidents for vessels aged 23–26 and 33–40 years. It has been established that the main hazards are the impermeability of the impenetrable hull, deliberate violation of the established restrictions on the area and season of navigation, as well as «non-project» contacts (contacts with the walls of locks, berths, grounding, collision with other vessels, etc.). T. 3. Fig. 10. Bibliography 8 titles.

UDC 629.5 **Keywords:** electronic knowledge base, design methodology, calculation module, calculation algorithm, ship information structure

Liang Yan, A.N. Suslov. Development of an electronic knowledge base – an electronic reference book of project methods // Morskoy Vestnik. 2017. № 4 (64). P. 19

The article considers the principles of the formation of an electronic knowledge base on the basis of a set of design techniques that allow to determine the main characteristics of a projected vessel at various design stages. Fig. 3. Bibliography 3 titles.

UDC 336.7: 330 **Keywords:** Pella OJSC, profitability, state order, off-budget funds

I.L. Vaisman, A.A. Yurchak. Profitability (profit) under state contracts // Morskoy Vestnik. 2017. № 4 (64). P. 23

Proposals of the Association of Shipbuilders of St. Petersburg and the Leningrad Region to reduce the costs of the main executors of state orders, raise own funds and extra-budgetary investments for the development of production capacities. The examples of the gross calculation of gross profit and the main directions of its use are given, as well as the expert evaluation of Saint-Petersburg University of Economics of Pella's work on the creation of new production capacities for off-budget funds.

UDC 629.12 **Keywords:** ship, construction, integrated block, quality, advantage

A.S. Solov'yov. Quality management in the construction of ships with integrated large blocks // Morskoy Vestnik. 2017. № 4 (64). P. 25

The directions of development of shipbuilding enterprises in conditions of stable loading are outlined. Particular emphasis is placed on the development of quality management systems, emphasized the significant impact of the quality of the hull on the seaworthiness and performance of the vessels.

The reasons for errors in the manufacture of hull structures are indicated, and constructive, technological and organizational methods and approaches are proposed for their reduction in the conditions of introduction of integrated large-block construction technology. The quality management system is briefly described, which allows to predict and manage the quality of ships under construction at PJSC Vyborg Shipyard. Bibliography 3 titles.

UDC 629.5.083 **Keywords:** list, service, ship, Navy

E.V. Kopylov. The history of creation, composition and application procedure in the navy of typical statements of service service and repair of ships and ships // Morskoy Vestnik. 2017. № 4 (64). P. 27

The purpose and procedure for the construction of standard service sheets for ships of the Navy – TVSO. The composition, structure, and organization of the development and approval of the TVSO are shown, which allow planning and monitoring the implementation of various stages of the life cycle of the ship. Also, problem areas are identified in the development and use of TVSO, requiring a systematic approach to the issues of providing, accounting and planning when passing by a ship of different stages of the life cycle. T. 1. Bibliography 4 titles.

UDC 67.02 **Keywords:** surfacing, expansion coefficient, multilayer surfacing, metal

I.A. Savitskaya. Introduction of the newest surfacing materials in the Armalit JSC // Morskoy Vestnik. 2017. № 4 (64). P. 29

The process of automatic surfacing of a sealing wear-resistant surface with the use of the newest surfacing materials is described.

UDC 658.5.012.2 **Keywords:** GIS, distributed production, asset management, industry corporations

O.Yu. Aksenov, P.A. Ivanov. Optimization of distributed production with the application of geoinformation technologies // Morskoy Vestnik. 2017. № 4 (64). P. 32

The replacement of excess capacity in industry corporations with cooperation is constrained by a lack of information. Combining data on capacities, their loading and logistics in the geographic information system will allow to optimize the cost of building a ship or equipment and to reduce assets while meeting deadlines. Fig. 2. Bibliography 6 titles.

UDC 621.79 **Keywords:** hydroabrasive cutting, advantages, characteristics

D.V. Garagulya. Advantages of waterjet cutting when cutting sheet metal // Morskoy Vestnik. 2017. № 4 (64). P. 37

A hydroabrasive unit manufactured by CMS Tecnocut is presented. Its advantages are shown in comparison with other cutting methods: laser, plasma, electroerosive machines. The characteristics of the installation are given. Fig. 2.

UDC 621.37 **Keywords:** static converter, classification, electromechanical converter, auxiliary system, compensation system, charging and matching device, active filter

A.S. Petrushenko. Static transducers in shipbuilding // Morskoy Vestnik. 2017. № 4 (64). P. 39

New production solutions in the field of power electronics and the emergence of new capabilities with the use of a modern element base are considered.

Particular attention is paid to the relevance of the use in the shipbuilding of power electronics devices, which allow achieving previously unattainable indicators of the quality of regulation of energy processes.

It is shown that the power electronics will develop due to new possibilities. Fig. 7.

UDC 621.82 **Keywords:** reliability factors, majority redundancy, duplication, object, integral criterion, distribution law, mean-time-between-failures, recovery time, storage

M.A. Aleksandrov, A.G. Bogdanov, V.Yu. Kaminsky, D.A. Skorokhodov. Reliability of shipboard machine-building products // Morskoy Vestnik. 2017. № 4 (64). P. 45

It is shown that when assessing the reliability of designed ship equipment, it is necessary to be scrupulous about the selection of reliability criteria, the choice of which largely influences on the actual operational reliability of the vessel. It should be noted that most of the design facilities may not be reserved as a whole, because they are complex technical systems. Only the separate, least reliable components being a part of the designed devices, should be reserved, as their redundancy or duplication significantly increases the reliability of the design object as a whole. It is concluded that if the operating time of the design object is significantly less than the time between failures, the optimum criteria of reliability of renewing components are: the average frequency of failures and the function of readiness. It is noted that the choice of criteria for assessment of ship equipment reliability during storage depends on the type of control of their state in storage conditions.

UDC 629.5.061 **Keywords:** automation of technological processes on the ship, diesel-generator sets, integrated bridge system, energy saving, energy saving

P.V. Golubev. Load distribution for parallel operation of marine diesel generator sets by the method of quadratic programming // Morskoy Vestnik. 2017. № 4 (64). P. 47

An algorithm for calculating the economical operation modes of ship generator sets with different consumption characteristics is considered. Fig. 1. Bibliography 6 titles.

UDC 66.078.2 **Keywords:** hydrogen compressor, alloy, metal hydride, high pressure, compression

M.S. Bocharnikov, Yu.B. Yanenko, B.P. Tarasov. Metal hydride compressors of hydrogen // Morskoy Vestnik. 2017. № 4 (64). P. 53

Results of development, manufacturing and research of two-stage metal hydride hydrogen compressors are given. It is shown that this type of compressor can be an alternative to a mechanical compressor, not only for filling steel and composite hydrogen cylinders, but also for special applications. Fig. 8. Bibliography 10 titles.

UDC 629.12: 637 **Keywords:** nitrogen, membranes, compressor, air separation

L.G. Kuznetsov, Yu.L. Kuznetsov, A.V. Burakov, A.S. Per-

minov, S.N. Serebrennikov. Membrane technologies in installations of production of nitrogen from the air for the navy, oil-and-gas sector and energy // *Morskoy Vestnik*. 2017. № 4 (64). P. 57

The paper discusses the issues of membrane air separation, analyzes the experience of the company using membranes for air separation, identifies the main factors that affect the air separation process, and determines the optimal operating parameters for energy-efficient nitrogen production with a purity of 99.0% and higher. T. 2. Fig. 10. Bibliography 4 titles.

UDC 621.039 **Keywords:** biological protection, transport reactor installations, polymer composite materials, organoplastics, neutron shielding

A.S. Soboleva. Development of proposals on perspective materials of biological protection of a steam production unit // Morskoy Vestnik. 2017. № 4 (64). P. 61

Absolutely new promising polymeric composite materials for use as biological protection of the steam-producing plant are presented. A brief description of the materials, their main advantages and advantages is given. The results of studies of composite materials are presented. T. 4. Bibliography 4 titles.

UDC 621.314.5 **Keywords:** bridge rectifier, discontinuous current, continuous current, ripple coefficient

G.N. Tsitsikyan, Yu.D. Baranov, A.I. Senchenko. On the fundamentals of the OPED-12,5–115 converter performance of the converter // Morskoy Vestnik. 2017. № 4 (64). P. 64

The fundamentals of the OPED-12,5–115 converter functioning as a single-phase bridge rectifier with a G-shaped filter are described with 2 modes of operation: with a discontinuous current and with a continuous current. The calculated expressions for the pulsation coefficient are obtained. The analysis of the nonlinear distortions introduced by the rectifier with regard to the resonance filter and the parallel load is carried out. T. 1. Fig. 4. Bibliography 6 titles.

UDC 629.12.06 **Keywords:** icebreaker, shafting, strength, durability, ice loads

V.K. Rumb, Hoang Wang Ty. Strength and durability of shafts of ice-halls and ice ships // Morskoy Vestnik. 2017. № 4 (64). P. 68

The methodological basis for predicting the fatigue life of ship shaft lines with the use of simulation modeling is considered, thanks to which it is possible to take into account, with the greatest approximation to reality, the scattering of the strength characteristics of the shaft material and the stresses acting in them, and to simulate various scenarios for the development of fatigue cracks. This makes it possible to better understand the behavior of the material under cyclic loading and more accurately predict the shaft resource. T. 1. Fig. 3. Bibliography 6 titles.

UDC 629.5.06.001.2: 621.643 **Keywords:** pipelines, design, installation, deviation, compensation area.

Ngo Zha Viet, K.N. Sakhno. Experimental investigations of the process of compensation of divergencies by distribution of pipeline traps // Morskoy Vestnik. 2017. № 4 (64). P. 70

It is devoted to the topical problem of improving the processability of pipelines of ship systems at the design stage. The ways of solving the issue of manufacturing and installation of ship pipelines are presented without removing dimensions in place. Experimental studies of compensation of deviations in two stages have been carried out: the determination of the area of compensation capabilities and the measurement of the actual deviations of pipeline routes. The conceptual basis for compensating for total deviations by moving the pipeline routes has been confirmed and an algorithm for compensating deviations in the pipeline routes has been developed using mutually parallel sections with pipe connections and additional allowances. T. 4. Fig. 3. Bibliography 7 titles.

UDC 621.314.2 **Keywords:** adaptive algorithm, static frequency converters, phase-adjusting device, voltage regulator

S.S. Staroded, A.I. Ivanovsky, A.N. Bogdanov. Investigation of the adaptive algorithm of parallel operation of two stabilizers of three-phase voltage // Morskoy Vestnik. 2017. № 4 (64). P. 75

The use of an adaptive phase synchronization algorithm in the FHP, switched on for parallel operation, allows the stabilizers to be adjusted to the phase of the output voltage without external connections along the control circuits. In this case, the complete adjustment of the voltage phase occurs within a time not exceeding 0.2 s. Fig. 5. Bibliography 4 titles.

UDC.629.764.7 **Keywords:** monitoring, unmanned, ice reconnaissance, decision support system, geomonitoring, remote sensing

D.A. Kondrat'ev, A.G. Yureskul, V.V. Kamanin, Yu.F. Podpolyokin. Processing the decisions of the complex of exploration of ice situation // Morskoy Vestnik. 2017. № 4 (64). P. 79

The article is devoted to modern, promising means and technologies for studying the ocean and ice cover in solving the problem of reconnaissance of ice conditions. The possibility of remote sensing as a basis for monitoring the environment, a source of operational and objective information on the state of the sea ice cover is discussed. The questions of experimental methods of sea ice research are considered with the aim of increasing the efficiency and reducing the risks of the ice reconnaissance system operation. Fig. 7. Bibliography 8 titles.

UDC 629.5.012.212.1 **Keywords:** induction magnetic compass, demagnetizing device

V.Ya. Matsov, A.N. Petukhov. Digital connection of demagnetizing device of a ship with induction magnetic compass // Morskoy Vestnik. 2017. № 4 (64). P. 83

The possibility of forming and transferring information from an induction magnetic compass to a demagnetizing device of a ship for its operation is established. The results of the experiment on finding the dependence of the accuracy of the determination of the components of the Earth's magnetic field by the magnetic induction compass on the accuracy of the magnetic course readings are presented. A new mode of operation for the demagnetizing device is proposed for prospective ships. T. 1. Bibliography 4 titles.

UDC 517.9: 629.5 **Keywords:** neuron-fuzzy modeling, active dynamic system, multimode control, catastrophe theory

Yu.I. Nechaev. Problems of modeling the dynamics of ships of active ice swimming // Morskoy Vestnik. 2017. № 4 (64). P. 87

The problem of neuron-fuzzy modeling of active dynamic systems in a multiprocessor computing environment is considered. The analysis was carried out with reference to a multimode control system characterizing the behavior of active ice navigation vessels. Models of interaction and conceptual solutions are based on the theoretical principles of the dynamic theory of catastrophes. Fig. 9. Bibliography 13 titles.

UDC 621.314 **Keywords:** roll, trim, measurement, error, system of control and management of technical means

V.M. Ambrosovsky, E.B. Ambrosovskaya, I.S. Kolpakova. Measuring channels in systems of control and management of technical means // Morskoy Vestnik. 2017. № 4 (64). P. 93

Features of measuring channels of a level of liquids in control systems of the technical means established on sea mobile objects are analyzed. Dependences of measurement error are presented and algorithms for level correction from static roll and trim are proposed. Fig. 10. Bibliography 10 titles.

UDC 621.396.537 **Keywords:** frequency-modulated signal, digital algorithm, model, testing
N.G. Bikhintaeva, V.V. Dmitriev, O.V. Orlova. Logical

algorithm for demodulation of digital FM signal // Morskoy Vestnik. 2017. № 4 (64). P. 99

A digital FM demodulator is considered, which is non-optimal and incoherent. It is shown that, having unprecedented simplicity of execution, this algorithm gives good results when testing on a channel model with additive noise, transmission speed instability, quadrature phase out, presence of secondary beams at reception, adapts adaptively to channel quality, does not require bit synchronization. T. 1. Fig. 11.

UDC 629.783.05.629.1.053 **Keywords:** Earth's magnetic field (MPZ), magnetometric system, MPZ survey, navigation complex, inertial system, compass, log

P.I. Maleev. New directions for the use of marine magnetometric systems // Morskoy Vestnik. 2017. № 4 (64). P. 104

The results of the analysis of the state of development of magnetometric systems capable of operating directly on a ferromagnetic object are given. Possible ways of improving known methods of using such systems in offshore facilities and proposed new ones are considered. It is shown that the use of onboard magnetometric systems opens wide prospects not only in the interests of navigation and hydrography, but also in a number of other important areas for the Navy. Bibliography 10 titles.

UDC 553.981.2: 553.982.2: 622.06 **Keywords:** collision and naval probabilities passing by court serving vessels

M.D. Emel'yanov. Probability of collision of a ship with a marine drilling rig // Morskoy Vestnik. 2017. № 4 (64). P. 107

The dangers of a collision with a marine drilling rig past passing ships and the loading of servicing ships into it are analyzed. The analysis of the causes of accidents is presented and their frequency is indicated for different types of vessels and offshore drilling rigs. A method is proposed for an approximate estimation of the probability of collision and bulk. T. 5. Fig. 5. Bibliography 8 titles.

UDC 629.5 **Keywords:** N.M. Luzhin, shipbuilder, biography

V.L. Alexandrov. For 90th anniversary of N.M. Luzhin // Morskoy Vestnik. 2017. № 4 (64). P. 112

He acquainted with the biography of Nikolai Matveyevich Luzhin, who worked for many years at the Admiralty Plant. He passed the way from an ordinary designer to the chief engineer – deputy director of the plant. He was elected secretary of the party committee of the plant, secretary of the Oktyabrsky district committee of the CPSU in Leningrad, then appointed deputy, first deputy head of the Defense Industry Department of the CPSU Central Committee. Fig. 2.

UDC 629.5 **Keywords:** Northern PKB, India, military-technical cooperation

V.E. Yukhnin. Military-technical cooperation of the Northern Design Bureau with India // Morskoy Vestnik. 2017. № 4 (64). P. 115

The stages of military-technical cooperation of the Northern Design Bureau with the Indian Navy in the creation of ships of pr. 61 ME and pr. 11356 are considered in detail. The characteristics of ships and their weapons are given. Particular attention is paid to the role of Russian designers: A.D. Shishkin, M.N. Aglychinov, V.A. Perevalov. T. 2. Fig. 6. Bibliography 1 title.

UDC 629.5 **Keywords:** RosNTO shipbuilders, work, improvement

V.L. Alexandrov. Activity of the Russian scientific and technical society of shipbuilders in 2012–2017 and problems of its development // Morskoy Vestnik. 2017. № 4 (64). P. 119

The report of the president of Russian scientific and technical society of shipbuilders named after acad. A.N. Krylov at the Vth Congress of the Society, which was held in St. Petersburg on October 4, 2017. The results of Society's work and participation in the development of Russian shipbuilding were summed up.