

Морской



Вестник

№4(56)
декабрь
2015
ISSN 1812-3694

Morskoy Vestnik



**29 октября 2015 года
на Выборгском судостроительном заводе
спущен на воду
ледокол “Новоросийск” проекта 21900М,
строящийся для Федерального агентства
морского и речного транспорта**

ОСК
ОБЪЕДИНЕННАЯ
СУДОСТРОИТЕЛЬНАЯ
КОРПОРАЦИЯ



5 ноября 2015 г. в 311-ю годовщину со дня основания на АО «Адмиралтейские верфи» состоялась торжественная церемония подъема Военно-морского флага на большой дизель-электрической подводной лодке «Краснодар». Корабль передан Военно-Морскому Флоту РФ практически на месяц раньше запланированного срока.

В торжественном мероприятии приняли участие начальник Управления боевой подготовки ГК ВМФ Виктор Кочемазов и генеральный директор АО «Адмиралтейские верфи» Александр Бузаков.

Достойным подарком к очередной годовщине предприятия назвал торжественную церемонию подъема флага Александр Бузаков: «Символично, что это событие происходит 5 ноября – в день рождения «Адмиралтейских верфей». Недавние ходовые и государственные испытания заказа убедительно подтвердили высокие мореходные и боевые качества нового корабля «Краснодар» и полностью соответствует всем техническим характеристикам, заложенным в проекте».

Особую значимость события подчеркнул контр-адмирал Виктор Кочемазов: «Сегодня знаменательный день в жизни военно-морского флота. Мы поднимаем Андреевский флаг на четвертой подводной лодке в серии, которая является наглядным результатом успешного труда проектантов и ко-



мандованию лодок этой серии не только для Черноморского, но и для других флотов РФ».

Подводная лодка «Краснодар» пр. 636.3 заложена в феврале 2014 г. Благодаря опыту, накопленному на пре-

кших подводных лодок для Военно-Морского Флота России. Все шесть кораблей данной серии, строящейся сегодня на АО «Адмиралтейские верфи», названы в честь городов, носящих почетное звание «Город воинской славы».

В прошлом году военно-морскому флоту переданы две первые лодки – «Новороссийск» и «Ростов-на-Дону», в июле 2015 г. поднят Военно-морской флаг на третьем корабле серии «Старый Оскол». Строительство двух завершающих серию подводных лодок – «Великий Новгород» и «Колпино» – идет в соответствии с контрактными обязательствами. В марте и апреле 2016 г. корабли будут спущены на воду, а до конца года – переданы флоту.

Подводные лодки модифицированного 636-го проекта имеют более высокую (по сравнению с предыдущими проектами) боевую эффективность. Оптимальное сочетание акустической скрытности и дальности обнаружения целей, новейший инерциальный навигационный комплекс, современная автоматизированная информационно-управляющая система, мощное быстродействующее торпедно-ракетное вооружение обеспечивают мировой приоритет кораблей этого класса в области неатомного подводного кораблестроения. «Адмиралтейские верфи» являются безусловным лидером в строительстве субмарин такого класса и с 1983 г. успешно поставляют их на экспорт. ■



раблестроителей. Три первых корабля, построенных по модернизированному проекту, уже завершили испытания и успешно отрабатывают задачи боевой подготовки. О высоких технических характеристиках кораблей данного проекта говорит и тот факт, что главным командованием военно-морского флота прорабатывается вопрос о стро-

дыдущих заказах, ее постройка завершена, как уже сказано, с опережением графика.

Строительство лодки стало продолжением реализации долгосрочного плана Министерства обороны России по восстановлению боевой готовности Черноморского флота и программы совершенствования дизель-электричес-

Морской Вестник



Morskoy Vestnik

№4(56)
декабрь
2015

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Редакционный совет

Председатель

А.Л. Рахманов, президент

АО «Объединенная судостроительная корпорация»

Сопредседатели:

В.Л. Александров, президент

Международного и Российского НТО

судостроителей им. акад. А.Н. Крылова

Е. М.Аполонов, и.о. ректора ФГБОУ ВПО СПбГМТУ

Члены совета:

С.О. Барышников, ректор ФГБОУ ВПО

«ГУМРФ им. адмирала С.О. Макарова»

А.С. Бузаков, генеральный директор

АО «Адмиралтейские верфи»

Н.М. Вихров, генеральный директор

ЗАО «Канонерский судоремонтный завод»

Л.Г. Грабовец, генеральный директор ОАО «СФ «Алмаз»

В.Ю. Дорофеев, генеральный директор

АО «СПМБМ "Малахит"»

В.В. Дударенко, председатель совета директоров

ООО «Судпромкомплект»

Г.В. Егоров, генеральный директор

ЗАО «Морское инженерное бюро СПб»

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

М.А. Иванов, генеральный директор

ОАО «Системы управления и приборы»

В.Н. Илюхин, председатель НО «АРПСТТ»

Л.М. Клячко, генеральный директор АО «ЦНИИ "Курс"»

Е.В. Комраков, генеральный директор

ЗАО «ОСК-Транзас»

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

А.А. Копанев, генеральный директор

АО «НПФ "Меридиан"»

Г.А. Коржавин, генеральный директор

ОАО «Концерн "Гранит-Электрон"»

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

Л.Г. Кузнецов, председатель совета директоров

АО «Компрессор»

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

Н.В. Орлов, председатель

Санкт-Петербургского Морского Собрания

К.Г. Пальников, генеральный директор ФАУ

«Российский морской регистр судоходства»

А.В. Самсонов, ВРИО директора ЗАО «ЦНИИ СМ»

А.Г. Селезнев, генеральный директор

ОАО «СЗ "Северная верфь"»

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

А.С. Соловьев, генеральный директор

ПАО «Выборгский судостроительный завод»

В.И. Спиридопуло, генеральный директор

АО «Северное ПКБ»

И.С. Суховинский, директор ООО «ВИНЕТА»

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

А.Н. Тихомиров, генеральный директор

ЗАО «Транстех Нева Эксбишнс»

Р.А. Урусов, генеральный директор

АО «Новая ЭРА»

С.Г. Филимонов, генеральный директор

ЗАО «Концерн "Морфлот"»

Г.Р. Цатуров, генеральный директор

ОАО «Пелла»

В.В. Шаталов, генеральный директор

ОАО «КБ "Вымпел"»

К.Ю. Шилов, генеральный директор

ОАО «Концерн "НПО "Аврора"»

А.В. Шляхтенко, генеральный директор –

генеральный конструктор АО «ЦМКБ "Алмаз"»

И.В. Щербаков, генеральный директор

ООО «ПКБ "Петробалт"»

СОДЕРЖАНИЕ

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И КОНСТРУКЦИЯ СУДОВ

<i>Подводная лодка «Краснодар» передана в состав Военно-Морского Флота Российской Федерации</i>	1
<i>Л.Г. Грабовец. «Алмаз» достойно завершает трудовой год</i>	7
<i>Н.Н. Комаров, Д.Ю. Литинский. Эволюция проекта арктического патрульного корабля ВМС Канады</i>	9
<i>Г.В. Егоров, А.В. Демидюк, А.Г. Егоров. Экспериментальное определение коэффициента счала составного судна смешанного плавания с большой полнотой обводов</i>	13
<i>Г.Ф. Демешко, С.Н. Рюмин. Нормативно-правовые и проектные аспекты создания современных танкеров. Часть 2</i>	18
<i>А. А. Асташов. Разработка новых подводно-подледных технологий исследовательского бурения в Арктике</i>	23
<i>Г.А. Федореев, А.С. Знатков, Д.И. Кизилов, П.А. Шауб, С.В. Московкина. Экранопланы сегодня</i>	26

ТЕХНОЛОГИЯ СУДОСТРОЕНИЯ, СУДОРЕМОНТА И ОРГАНИЗАЦИЯ СУДОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

<i>Б.А. Горелик. Технические и экономические основы создания импортозамещающих и диверсификационных инновационных проектов</i>	31
<i>О.А. Бельский. Методы освидетельствования кабельных изделий с целью продления срока их службы на кораблях и судах ВМФ</i>	32
<i>А.В. Иванкович. Моделирование финансового цикла для повышения экономической эффективности и конкурентоспособности предприятия</i>	35
<i>И.Л. Вайсман. «Пелла»: вклад в инновационное развитие промышленности</i>	38
<i>А.С. Дринберг, Ю.В. Улашкевич, И.А. Уденко. Инфракрасная идентификация лакокрасочных покрытий – технология двойного назначения</i>	39
<i>Н.М. Вихров, А.Г. Филимонов. Паром «Принцесса Анастасия» прошел доковый ремонт в Петербурге</i>	43
<i>Н.М. Вихров, В.П. Лянзберг. Об иллюминаторах высокого давления со светопрозрачным элементом в форме диска</i>	45
<i>А.С. Соловьев, Г.В. Тарица, А.В. Филиппов. Оценка технического уровня и качества судового оборудования, комплектующих и материалов</i>	49

СУДОВЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ И ИХ ЭЛЕМЕНТЫ

<i>В.В. Романовский. Гребные электрические установки для арктических ледоколов</i>	53
<i>С.А. Милавин, Д.В. Умяров, В.Г. Титов. Об особенностях проектирования электроэнергетической системы ледокола проекта 21900М</i>	57
<i>А.П. Емельянов, В.И. Вершинин, А.Н. Богданов. Питание кораблей от береговой электросети</i>	59
<i>М.Н. Покусаяев, П.А. Дорохов. Термодинамический анализ внутрицилиндровых процессов поршневого двигателя как одно из средств выбора его конструкционного оформления</i>	63
<i>В.К. Румб, О.В. Серажутдинов. Добавка воздуха в топливо – средство снижения оксидов азота и дымности отработавших газов судовых ДВС</i>	66
<i>П.В. Наливкин, М.М. Ливкова. Импортозамещение: проблемы и пути их решения на примере ООО «Винета»</i>	68



А.С. Петрушенко, В.В. Николаев, О.В. Епифанов. Четвертьоборотный электропривод судовой арматуры на основе четырехзвенного механизма..... 73

Б.Ю. Семенов. Современные системы компенсации магнитных полей корабельных корпусных конструкций: взгляд сквозь призму мирового опыта 77

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ И УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ

К.Ю. Шилов, В.К. Болховитинов. Управляемый процесс движения в геометрических оценках фазовых параметров состояния..... 81

Б.В. Грек, С.Н. Сурин. Унифицированные рабочие места операторов в системах управления техническими средствами надводных кораблей..... 85

О.С. Селивохин, М.А. Ермолина, Д.В. Першин. К задаче управления конечным положением движущихся объектов 91

В.В. Каманин, А.Г. Юрескул, И.В. Симановский. Пути повышения точности полунатурного моделирования при отработке сложных систем управления 95

В.В. Ровник. Объектовые испытания систем управления маневрированием. Опыт работы и пути оптимизации 99

В.В. Ханьчев, А.В. Уланов. Методический подход к оценке эффективности применения морских робототехнических комплексов 103

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА, СУДОВОЖДЕНИЕ

В.А. Катенин, В.А. Горбачев, А.В. Катенин, С.П. Мелешонок. Паровоздушное антенное устройство для подледного приема сигналов спутниковых навигационных систем..... 111

ВЫСТАВКИ И КОНФЕРЕНЦИИ

В.С. Кожневиков. Участие АО «Морские Навигационные Системы» в выставке «Нева–2015» 115

Е. А. Горин, К.С. Чернов. Мировое судоходство и морская техника. Часть 1. Состояние и перспективы (по итогам «Norshipping–2015») 116

МОРСКОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

А.В. Солдатов, М.М. Шевченко, В.И. Медведев. Естественнонаучная и гуманитарная среда вуза как фундаментальная основа формирования специалиста будущего (на примере СПбГМТУ) 120

ИСТОРИЯ СУДОСТРОЕНИЯ И ФЛОТА

В.Е. Юхнин. Военно-техническое сотрудничество Северного ПКБ с Китаем 123

Присуждение премии Правительства России кораблям Санкт-Петербурга 126

В АССОЦИАЦИИ СУДОСТРОИТЕЛЕЙ

Общее собрание Ассоциации судостроителей Санкт-Петербурга и Ленинградской области и Секции по судостроению Морского Совета при правительстве Санкт-Петербурга..... 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

Ю.В. Баглюк, канд. техн. наук, ст. науч. сотр.
В.Н. Глебов, канд. эконом. наук
Е.А. Горин, д-р эконом. наук
Е.В. Игошин, канд. техн. наук
Б.П. Ионов, д-р техн. наук, проф.
Р.Н. Караев, канд. техн. наук
Ю.Н. Кормилицин, д-р техн. наук, проф.
А.И. Короткин, д-р техн. наук, проф.
С.И. Логачев, д-р техн. наук, проф.
П.И. Малеев, д-р техн. наук
Ю.И. Нечаев, д-р техн. наук, проф.
В.Г. Никифоров, д-р техн. наук, проф.
Ю.Ф. Подоплекин, 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. Шаманов, д-р техн. наук, проф.

Редакция

Тел./факс: (812) 6004586
 E-mail: morvest@gmail.com

Редактор

Т.И. Ильичева

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 № 1986.
 Ответственность за содержание информационных и рекламных материалов, а также за использование сведений, не подлежащих публикации в открытой печати, несут авторы и рекламодатели. Перепечатка допускается только с разрешения редакции.

Морской Вестник



Морской Вестник

№4 (56)
December
2015

SCIENTIFIC, ENGINEERING, INFORMATION AND ANALYTIC MAGAZINE

Editorial Council

Chairman

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

Co-chairman:

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

E.M. Appolonov, Acting rector SPbSMTU

Council Members:

S.O. Baryshnikov, Rector Admiral Makarov State
University of Marine and Inland Shipping

A.S. Buzakov, General Director

JSC Admiralty Shipyards

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

L.G. Grabovets, General Director JSC SF Almaz

M.A. Ivanov, General Director

JSC Control Systems and Instruments

V.N. Ilukhin, Chairman NO ASRTD

L.M. Klyachko, General Director

JSC ZNII KURS

E.V. Komrakov, General Director

JSC USC-Transas

E.A. Konov, Director,

JSC Publishing House Mor Vest

A.A. Kopanev, General Director,

JSC SPF Meridian

G.A. Korzhavin, General Director,

JSC Concern Granit-Elektron

A.V. Kuznetsov, General Director JSC Armalit

L.G. Kuznetsov, Chairman of the Board of Director

JSC Compressor

G.N. Muru, General Director JSC 51 CCTIS

N.V. Orlov, Chairman

St. Petersburg Marine Assembly

K.G. Pal'nikov, General Director FAI Russian Maritime

Register of Shipping

A.V. Samsonov, Acting General Director JSC CRISM

A.G. Seleznev, Acting General Director

JSC SBY Severnaya Verf

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 –

General Designer JSC ZMKB Almaz

K.A. Smirnov, General Directors JSC MNS

A.S. Solov'yev, General Director

JSC Vyborg Shipyard

V.I. Spiridopulo, General Director

JSC Severnoye Design Bureau

I.S. Sukhovinsky, Director JSC VINETA

V.S. Tatarsky, General Director JSC ERA

A.N. Tikhomirov, General Director

JSC Transtech Neva Exhibitions

G.R. Tsaturov, General Director

JSC LSBY Pella

R.A. Urusov, General Director JSC New ERA

N.M. Vikhrov, General Director

JSC Kanonersky Shiprepairing Yard

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

CONTENTS

SHIP DESIGN AND CONSTRUCTION

- Submarine «Krasnodar» transferred to the Russian Federation Navy* 1
L.G. Grabovets. «Almaz» appropriately completes a year's work 7
N.N. Komarov, D.Yu. Litinsky. The evolution of the project of an Royal Canadian
Navy Arctic patrol ship 9
G.V. Egorov, A.V. Demidyuk, A.G. Egorov. Experimental determination
of the coefficient of the row of a composite ship for mixed navigation
with a great completeness of contours 11
G.F. Demeshko, S.N. Ryumin. Legal and regulatory and designing aspects
of the creation of modern tankers. Part 2 18
A.A. Astashov. The development of new underwater and subglacial technologies
of research drilling in the Arctic 23
G.A. Fedoreev, A.S. Znatkov, D.I. Kizilov, P.A. Shaub, S.V. Moskovkina.
Ekranoplans today 26

TECHNOLOGY OF SHIPBUILDING, SHIP REPAIR AND ORGANIZATION OF SHIPBUILDING

- B.A. Gorelik**. Technical and economic basis for the creation of import substitution
and diversification innovative projects 31
O.A. Bel'sky. Methods of examination of cable products in order to extend
their service life on the ships and vessels of the Navy 32
A.V. Ivankovic. Modeling of the financial cycle to improve economic efficiency
and competitiveness of the enterprise 35
I.L. Vaisman. «Pella»: a contribution to the innovative development of the industry 38
A.S. Drinberg, Yu.V. Ulashkevich, I.A. Udenko. Infrared identification
of lacquer coatings – dual-use technology 39
N.M. Vikhrov, A.G. Filimonov. Ferry «Princess Anastasia» underwent dock
repair in St. Petersburg 43
N.M. Vikhrov, V.P. Lyanzberg. About high pressure portholes with
a translucent element in the form of a disk 45
A.S. Solovyov, G.V. Taritsa, A.V. Filippov. Evaluation of the technical level
and quality of marine equipment, components and materials 49

SHIP POWER PLANTS AND THEIR ELEMENTS

- V.V. Romanovskiy**. Electrical propulsion plants for Arctic icebreakers 53
S.A. Milavin, D.V. Umyarov, V.G. Titov. On peculiarities of designing
an electric power system for the project 21900M icebreaker 57
A.P. Emel'yanov, V. I. Vershinin, A.N. Bogdanov. Power supply for ships
from a coastal power network 59
M.N. Pokusaev, P.A. Dorokhov. Thermodynamic analysis of intracylinder
processes of the piston engine as one of means of selecting its structural design 63
V.K. Rumb, O.V. Serazhutdinov. Addition of air to fuel as a means of reducing
nitrogen oxides and smoke of exhaust gas of marine ICE 66
P.V. Nalivkin, M.M. Livkova. Import substitution: problems and solutions
by the example of «Vineta» LLC 68



A.S. Petrushenko, V.V. Nikolaev, O.V. Epifanov. Quarter-electric ship fittings drive on the basis of a four-link mechanism 73

B.Yu. Semenov. Modern systems of compensation of the magnetic fields of ship hull structures: a view through the prism of international experience 77

INFORMATION-MEASURING AND MANAGEMENT SYSTEMS

K.Yu. Shilov, V.K. Bolkhovitinov. The controlled movement process in the geometric estimations of the basic parameters of the state 81

B.V. Grek, S.N. Surin. Unified operator workstations in the control systems for surface ships hardware 85

O.S. Selivohin, M.A. Ermolina, D.V. Pershin. On the problem of controlling the end position of moving objects 91

V.V. Kamanin, A.G. Yureskul, I.V. Simanovsky. The ways to improve the accuracy of semi-natural modeling when developing sophisticated control systems 95

V.V. Rovnik. The object management systems maneuvering tests. Experience and ways of optimization 99

V.V. Khanychev, A.V. Ulanov. The methodical approach to the performance evaluation of maritime robotic systems 103

OPERATION OF WATER TRANSPORT, SHIP NAVIGATION

V.A. Katenin, V.A. Gorbachev, A.V. Katenin, S.P. Meleshonok. Steam-air antenna device for under-ice reception of signals of satellite navigation systems 111

EXHIBITIONS AND CONFERENTIONS

V.S. Kozhevnikov. Participation of «Marine Bridge and Navigation Systems» LTD in the Neva-2015 exhibition 115

E.A. Gorin, K.S. Chernov. Global shipping and marine engineering. Part 1. States and prospects (based on «Norshipping-2015») 116

MARITIME EDUCATION

A.V. Soldatov, M.M. Shevchenko, V.I. Medvedev. The natural science and humanities environment of a higher school as a fundamental basis for the formation of a future professional (by the example of SPbSMTU) 120

THE HISTORY OF SHIPBUILDING AND FLEET

V.E. Yukhnin. Military-technical cooperation with China, the Severnoye Design Bureau 123

The award of the Government of the Russian Federation to the shipbuilders of Saint-Petersburg 126

IN THE ASSOCIATION OF SHIPBUILDERS

General meeting of the shipbuilder's association of Saint-Petersburg and Leningrad region and the shipbuilding workshop of the Marine Council of the Saint-Petersburg Government 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

Yu.V. Baglyuk, Ph. D.

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

V.N. Glebov, Ph. D.

E.A. Gorin, D. Sc.

E.V. Igoshin, Ph. D.

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

R.N. Karaev, Ph. D.

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

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

S.I. Logachev, D. Sc., Prof.

P.I. Maleev, D. Sc.

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

V.G. Nikiforov, D. Sc., Prof.

Yu.F. Podoplekin, 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. Rozhdestvensky, 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 № 1986.

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.

2015 год выдался для ОАО «Судостроительная фирма «Алмаз» насыщенным и интересным.

Предприятие приняло участие в седьмом Международном военно-морском салоне, который проходил с 1 по 5 июля 2015 г. в Санкт-Петербурге, являющемся одной из ведущих мировых выставок в области кораблестроения, морского вооружения и военной техники. На стенде фирмы были представлены проекты, выполненные «Алмазом» для Пограничной службы ФСБ России, а также для Министерства обороны РФ.

В рамках проведения Салона состоялось подписание акта приемки Государственной комиссией третьего самоходного плавучего крана пр. 02690, построенного фирмой «Алмаз» в интересах Министерства обороны Российской Федерации, прошли встречи с отечественными и зарубежными партнерами.

«АЛМАЗ» ДОСТОЙНО ЗАВЕРШАЕТ ТРУДОВОЙ ГОД

Л.Г. Грабовец, ген. директор ОАО «Судостроительная фирма «Алмаз»,
контакт. тел. (812) 235 4820, 235 5148



Стенд ОАО «СФ «Алмаз» на МВМС-2015



Подписание приемного акта плавучего крана пр. 02690

В сентябре 2015 г. «Алмаз» сдал два катера пр. 12200 «Соболь», пограничный корабль пр. 10410 «Светляк» (зав. №312) для Пограничной службы ФСБ России. Усиленное артиллерийское вооружение этого корабля и современная



Пограничный сторожевой корабль «Светляк» пр. 10410

система управления стрельбой позволяет эффективно поражать воздушные, надводные и береговые цели. Полное водоизмещение – 375 т, длина – 49,5 м, ширина – 9,2 м, дальность плавания – 2200 миль, скорость хода – 30 уз,

автономность – 10 сут., экипаж – 28 человек. Корабль модернизирован согласно современным запросам военных.

Всего в этом году были переданы заказчику – военному флоту России пять морских самоходных плавучих кранов пр. 02690, предназначенных для выполнения всех видов грузоподъемных работ, ведения погрузок разрядных грузов на надводные корабли, подводные лодки и суда, обтяжки цепей крепления плавучих причалов, установки и съёмки рейдового оборудования, перевозки грузов на верхней палубе. Полное водоизмещение крана – около 2000 т, длина – около 50 м, ширина – около 22 м, дальность плавания – 3500 миль, автономность – 10 сут., грузоподъемность – 35–150 т, экипаж – 22 человека.



Морской самоходный плавучий кран пр. 02690

В 2015 г. на предприятии состоялось много важных и значимых событий, что еще раз показало: судостроительная фирма «Алмаз» – надежный партнер, всегда в срок и качественно выполняющий свои обязательства. ■

В конце 2006 – начале 2007 гг. во исполнение политических установок правительства и премьер-министра С. Харпера* штаб ВМС Канады обосновал необходимость усиления своего постоянного присутствия в исключительной экономической зоне (ИЭЗ), включая Канадскую Арктику. ВМС выполняют задачи по патрулированию восточного и западного побережья страны, однако не располагают возможностями для эффективного патрулирования всего континентального шельфа. В северных водах флот может действовать в течение непродолжительного времени, когда там отсутствует ледовый покров. Многоцелевые малые корабли типа MCDV (970 т) неспособны выполнять задачи за пределами ИЭЗ, поэтому ВМС вынуждены задействовать крупные надводные корабли, дорогостоящие в эксплуатации и перегруженные выполнением других боевых задач.

Правительство Канады объявило о намерении построить для ВМС три тяжелых вооруженных ледокола, однако вскоре это трансформировалось в программу закупок одного арктического ледокола для Береговой охраны (БОХР) и от шести до восьми патрульных кораблей арктической зоны (Arctic Offshore Patrol Ship – AOPS).

Предложенная концепция сразу же вызвала споры. Дело в том, что корабли Береговой охраны Канады традиционно не имеют вооружения (это, вероятно, стало главной причиной отказа от создания вооруженных ледоколов БОХР), а использование в Арктике фактически неледогольного корабля серьезно ограничивает его возможности. Концепция использования AOPS предусматривала четырехмесячные «летние» (с окончанием в начале ноября) патрулирования с 2015 г. с перспективой увеличения их продолжительности до полугода.

Весной 2007 г. правительство Канады приняло решение о строительстве шести-восьми AOPS и создании необходимой инфраструктуры базирования в Арктике (Нанисивик и Эскимолт). В 2008 г. был назначен руководитель программы AOPS от ВМС (C.D. Soule) и заключен контракт (Definition, Engineering, Logistics and Management Support – DELMS) стоимостью около 4,5 млн. канад. долл. с компанией «BMT Fleet Technology Limited». В мае 2008 г. к работам подключилась «Aker Yards Marine Inc.» (впоследствии – «STX Marine Europe»), которая разработала инициативный проект корабля.

Первоначальные, весьма расплывчато сформулированные требования, сводившиеся к достижению «одинаковой эффективности патрулирования в открытом океане и во льдах», которые определялись как «средний однолетний лед толщиной 70–120 см», и оговаривавшие обязательность использования в проекте корабля коммерческих стандартов, пришлось уточнять и конкретизировать в течение 2008–2009 гг. в несколько этапов. Наибольшую сложность для проектантов представлял выбор обводов подводной части корпуса, чтобы добиться компромисса между противоречивыми требованиями, предъявляемыми к судам ледового плавания, с одной стороны, и к океанским патрульным кораблям (OPV), с другой.

Сначала определялись с ледовым классом (IACS Polar Class 5), затем с дальностью плавания и авиационным вооружением (возможность постоянного базирования коммерческих и военных вертолетов). Специалисты ВМС и Береговой охраны отмечали, что для патрулирования в открытых океанских водах дальность 6800 миль недостаточна, и предлагали увеличить ее до 9500–10 000 миль за счет снижения

* Правительство С. Харпера, считающее своей приоритетной задачей укрепление суверенитета в Арктике, утверждает, что Северо-Западный проход (Northwest Passage), позволяющий сократить морской путь в страны Азии на 5 тыс. км, находится под канадской юрисдикцией. США и ряд других стран рассматривают его как международные воды.

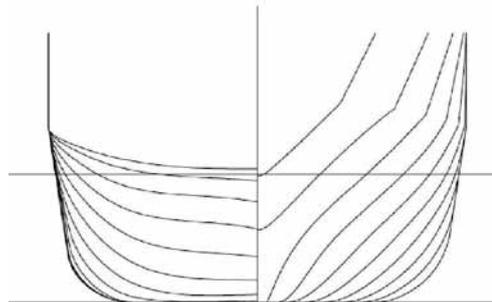
ЭВОЛЮЦИЯ ПРОЕКТА АРКТИЧЕСКОГО ПАТРУЛЬНОГО КОРАБЛЯ ВМС КАНАДЫ

*Н.Н. Комаров, зам. гл. конструктора,
Д. Ю. Литинский, вед. инженер,
АО ЦМКБ «Алмаз»,
контакт. тел. (812) 369 5598*

экономического хода до 10 уз. Сформулировали требование обеспечить постоянное базирование на корабле 13-тонного вертолета СН-148 «Cyclone» и возможность приема и заправки СН-149 «Cormorant», полетный вес которого более 14 т. При этом говорилось о негативном с точки зрения использования вертолетов опыте эксплуатации датских кораблей типа «Knud Rasmussen», оборудованных только ВППл и не имеющих ангара.

Концепция AOPS как «никудашного ледокола» и тихоходного корабля вызвала резкую критику многих влиятельных политиков, в том числе сенатора от провинции Онтарио Дж. К. Кенни, который не раз публично заявлял, что такие корабли будут «способны колоть лед только в коктейльном бокале» и «не смогут догнать даже рыболовный траулер».

В предэскизном проекте, представленном в ноябре 2008 г., «STX Marine Europe» предложила корпус сравнительно большого удлинения ($L/B=5,74$) с дизель-электрической пропульсивной установкой. Масса корпуса в первом приближении была определена в 3335 т, механизмов – 805 т, оборудования – 1177 т. Водоизмещение порожнем – 5860 т (запас водоизмещения – 543 т) [1].



Характер обводов AOPS

Для достижения заданной скорости полного хода на чистой воде 20 уз буксировочная мощность по результатам модельных испытаний составила около 14 500 кВт. Несмотря на меньшее значение буксировочной мощности, полученное для традиционной двухвальной схемы, проектанты предложили концепцию судна ледового плавания «double acting hull form» с двумя движителями типа Azipod мощностью по 7500 кВт, получающих электроэнергию от четырех одинаковых главных дизель-генераторов, расположенных на 4-й палубе в одном отсеке протяженностью более трети длины корабля. Вариант традиционной двухвальной установки выглядел значительно сложнее – два спаренных дизеля (4500+3300 кВт), через редукторы приводящие два вала с ВРШ диаметром 4,25 м, и два ГЭД малого хода.

Общие архитектурные решения аналогичны норвежскому «Svalbard»: несколько смещенная в нос развитая надстройка с ангаром в ДП в кормовой части, полностью закрытый полубак с 40-мм артиллерийской установкой (АУ) Vofors, поднятой на 1-й ярус надстройки, просторный полуют для транспортировки контейнеров с 10-тонным краном по ЛБ, размещение спальных (две закрытого типа, на 70 чел. каждая) и рабочих шлюпок в бортовых нишах надстройки на главной палубе.

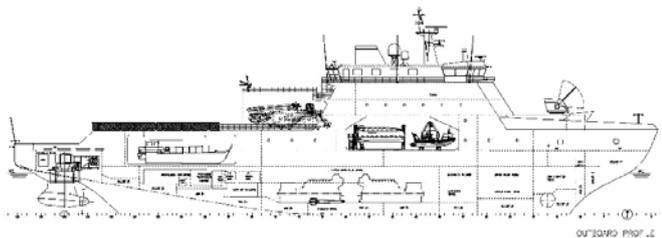


Схема общего расположения AOPS проекта 2008 года

Отличия: десантный катер типа LCVP Mk.V по ПрБ на 2-й палубе (под ВППл) и 12-местная жестко-надувная шлюпка (РИБ) по ЛБ, между которыми в ДП расположен небольшой гараж для колесно-гусеничной техники (типа Hagglunds BV 206).

В проекте, выполненном в соответствии с правилами классификационных обществ и коммерческими стандартами, удовлетворялись основные требования заказчика – категория ледовых усилений, скорость полного хода на чистой воде и достаточная мореходность (по STANAG 4154, с применением бортовых управляемых рулей), размещение на борту 85 чел. (45 – основная команда и 40 – спецперсонал), вооружение, возможность базирования и приема гражданских и военных вертолетов (кроме системы принудительной посадки, что ограничивало использование вертолетов волнением 3 балла), номенклатура бортовых плавсредств, размещение стандартных контейнеров.

Концептуальный проект, представленный «BMT Fleet Technology» и «STX Marine Europe», специалисты ВМС признали неприемлемым. Главной причиной стала слишком высокая расчетная стоимость корабля, которую значительно увеличивали не только сами движители Azipod, но и необходимость отчислений за запатентованную ледовую концепцию «двойного действия», в эффективности и необходимости применения которой на AOPS канадцы справедливо усомнились.

Такой вердикт вызвал острую реакцию и новый всплеск споров в обществе и профессиональных кругах. Как реакция на публичную критику выглядело решение отложить начало реализации проекта AOPS почти на два года – до получения результатов предварительного проектирования и уточнения расчетов стоимости создания кораблей, которая оценивалась в диапазоне от 1,8 до 3,1 млрд. канад. долл.

Мировой экономической кризис оказал серьезнейшее влияние на концепцию AOPS – естественно, в направлении снижения стоимости проектирования и строительства, что заставило ВМС, ранее рассматривавшие будущие корабли как неотъемлемый элемент своей системы, резко понизить планку требований. Это выразилось в провозглашении концепции использования кораблей в «отсутствии военной угрозы». Дискуссии в ходе уточнения технических требований к будущим кораблям продолжились.

Вдвое (с 40 до 20 чел.) уменьшили количество постоянно размещаемого на корабле спецперсонала, пересмотрели требования к приему, транспортировке и выгрузке грузов, остановились на традиционной двухвальной дизель-электрической пропульсивной установке, снизив максимальную скорость до 17 уз. Было решено предусмотреть необходимые площади и объемы для усиления оборонительного вооружения корабля. Специфицировали прием на борт стандартных контейнеров и грузовые помещения, предусмотрели резервы для размещения оборудования для поисково-спасательных операций и работ по борьбе с экологическими бедствиями. Также приняли решение о выделении объемов для размещения центра управления совместными операциями (10 чел.). Наконец, в связи с переносом сроков строительства новых военно-морских баз, решили отказаться от ориентации на

специальную инфраструктуру базирования, максимально обеспечив «самодостаточность» корабля, работающего «во враждебном окружении» [2].

В середине 2009 г. основные элементы проекта AOPS выглядели следующим образом: длина наибольшая – 97,5 м, длина по КВЛ – 87,0 м, ширина наибольшая – 19,0 м, осадка расчетная – 5,7 м, водоизмещение – 5730 т. Мощность ГЭУ – 9000 кВт. Для определения буксировочного сопротивления и ледовых качеств корпуса новых главных размеров провели модельные испытания в ледовом бассейне Aker Arctic, ходкость и мореходность отработывалась с использованием математического моделирования (CFD программы «Comet», «Star CD», «Star CCM+») специалистами «STX Canada Marine» в главном офисе в Ванкувере и филиала в Хьюстоне [3].

Осенью 2010 г. появился 200-страничный документ – AOPS System Requirement, содержание которого представляет интерес для специалистов.

В разделе общих требований указан район круглогодичного плавания – Канадская Арктика и примыкающие к ней акватории, открытые воды Северного Ледовитого океана и воды, покрытые сплоченными льдами и сплошным однолетним льдом, в котором могут попадаться многолетние включения толщиной до 1 м. Класс ледовых усилений LR*100 A1 (IACS Polar Class Notation PC5). Температура воздуха – от -29°C до $+35^{\circ}\text{C}$, воды – от -2°C до $+29^{\circ}\text{C}$.

Корабль должен иметь возможность плавания по морскому пути Св. Лаврентия (от Монреаля до озера Верхнее) в навигационный период (ограничение по ширине 23,20 м, по осадке – 7,92 м, по высоте – 33,50 м).

В разделе «Operational Requirements» констатируется, что проект корабля основывается на коммерческих стандартах, а к военным стандартам прибегают только в тех случаях, когда отсутствует подходящий коммерческий. В классификационном проекте, который передается заказчиком исполнителю, определены форма корпуса (Drawing №920-085-01 – AOPS Project Definition Design Lines Plan) и конструкция его основных частей, а также общие требования к пропульсивной установке.



Проектное изображение AOPS 2008 года

Далее в документе говорится, что корабль не предназначен для военных целей и будет эксплуатироваться при отсутствии военных угроз. Однако в разделе «Mission Capabilities and Enablers» того же документа отдельным пунктом оговаривается установка артиллерийского вооружения (дистанционно управляемая 25-мм АУ), крупнокалиберных пулеметов и защита основных постов управления от огня огнестрельного оружия.

На корабле должна быть предусмотрена возможность постоянного базирования вертолетов, состоящих на вооружении Береговой охраны, а также эпизодического приема (с принудительной посадкой на волнении) флотского CH-148 «Cyclone».

Требования к бортовым плавсредствам: две многоцелевые спасательные шлюпки (8,5 м, 35 уз), одна жестко-надувная шлюпка (Zodiac Hurricane Rigid SR2 Aluminum). Временно, в зависимости от задач на плавание, – один 11-метровый десантный катер или две спасательные шлюпки закрытого типа, или две 12-метровых РИБа. Безопасный спуск и подъем бортовых плавсредств на ходу не более 7 уз при волнении до 6

баллов включительно (при ходе против волны и отсутствии опасности со стороны борта).

Пропульсивная и электроэнергетическая системы корабля определены в разделе «System Level Requirements»: интегрированная электроэнергетическая и пропульсивная система в составе четырех главных генераторов (СОД не более 740 об/мин), две валовые линии; ВФШ со съемными лопастями (зазор между корпусом и кромками лопастей – не менее 1 м), оговоренная допустимая степень кавитации. На полной мощности ГВ должны развивать упор 365 кН, тяга на гаке – 530 кН.

Дальность плавания 14-уз ходом на волнении 3 балла – не менее 6800 миль. Автономность – не менее 120 суток. Возможность движения задним ходом скоростью 8 уз в течение часа на волнении до 2 баллов включительно без ущерба для пропульсивной установки.

Определены требования к мореходным качествам при волнении 6 баллов и ходе 15 уз: заливание палубы – менее 30 раз в час, слеминг – менее 20 в час, оголение гребных винтов на четверть диаметра – менее 90 в час. Для хода на волнении 5 баллов специфицированы заливание площадки спуска-подъема бортовых РИБов – менее одного раза в два часа, а также вертикальные и горизонтальные ускорения.



Схема общего расположения AOPS проекта 2009 года

Экипаж должен составлять не более 45 чел. плюс 20 дополнительных мест (в том числе авиагруппа, досмотровая партия, шесть водолазов). Командир корабля размещается в блок-каюте площадью не менее 35 м², старший помощник командира – в одноместной каюте площадью не менее 12 м², офицеры – в пяти одноместных и 12 двухместных каютах (не менее 10 м²), унтер-офицеры и матросы – в девяти четырехместных каютах.

Спасательные средства: пять надувных плотов на 20 человек, установленных с каждого борта.

На корабле требовалось предусмотреть размещение до восьми стандартных контейнеров общей массой не более 50 т: шесть – на квартердеке и два – в ДП у кормового среза с возможностью постановки и выборки БГАС непосредственно из контейнера, а также с соответствующими разъемами для подачи электропитания и интерфейсами.



Проектное изображение AOPS 2009 года

Грузоподъемное оборудование: 1×20 т (13,0 м) и 1×1 т. Запас водоизмещения на модернизацию – 350 т с соответствующим резервом остойчивости.

В 2010 г. документация в объеме классификационного проекта получила одобрение Регистра Ллойда.

Опубликованные доклады и данные о состоянии проекта AOPS продолжали вызывать критические оценки специалистов. В обобщенном виде они появились в журнале «Canadian Naval Review» в начале 2013 г. [5]. Приведенная ниже таблица, в которой приведены основные технические характеристики двух вариантов проекта AOPS в сравнении с арктическими ледоколами канадской Береговой охраны постройки 1980-х гг., достаточно наглядно иллюстрирует природу этого скептицизма.

Таблица
Основные технические характеристики двух проектов AOPS

Class	T1200-class	AOPS V1	AOPS V2	Change
Displacement	8,090 t	6,940 t	5,730 t	-17.4%
Length	98,2 m	109,6 m	97,5 m	-11.0%
Beam	19,5 m	18,2 m	19,0 m	+4.4%
Draught	7,2 m	7,0 m	5,7 m	-18.6%
Engine Power	17,700 кВт	18,000 кВт	13,200 кВт	-27%
Motor Power	10,142 кВт	15,000 кВт	9,000 кВт	-40%
Maximum Speed	16 уз	20 уз	17 уз	-15%
Range	23 000 мор. миль	8000 мор. миль est.	6800 мор. миль	-17.4%
Endurance	192 days	120 days	120 days	NC
Bunkers	2,450 м ³	810 м ³	690 м ³	-17.4% est.

По данным проектанта головной корабль будет иметь следующие основные характеристики:

Главные размеры, м:

длина	98,0
длина по КВЛ	86,4
ширина наибольшая	19,0
высота борта	8,7
Осадка, м	5,7
Вместимость цистерн, м ³ :	
топливо	694
пресная вода	74
балласт	1487
авиационное топливо	88

Мощность, кВт:

ДГ	4 × 3300
АДГ	1 × 125
на валах	9000
ПУ	2 × 550

Экипаж, чел. 45+20 (+20 зап. мест)

Класс: LRX100A1, LMC, PSMR*, UMS, IBS, NAV1, CSS, CAC3 Winterization B(9) and H(5), IACS, SOLAS

В июле 2012 г. с компанией «Irving Shipbuilding Inc.» был подписан 9,3-миллионный контракт на продолжение работ по проекту, в марте следующего – на 288 млн. канад. долл., а в январе 2015 г. – контракт на строительство шести кораблей стоимостью 2,3 млрд. канад. долл. со сдачей головного в 2018 г., последующих – с интервалом шесть месяцев. Интересно, что разработка РКД по аутсорсингу передана датской «Odense Maritime Technology».

Сообщалось также, что в пределах указанной суммы генподрядчик гарантировал поставку лишь пяти кораблей. Общие расходы на программу ныне оцениваются в 3,5 млрд. канад. долл. [6].

ЛИТЕРАТУРА

1. McGreer D. AOPS Definition Design.– STX Canada Marine Inc., November, 2008.
2. Soul C.D. AOPS: Evolution of the Operational Requirement and the Associated Design Challenges, October 2011.
3. Vyselaar D. CFD Developments and R&D Projects at STX Marine, September, 2009.
4. AOPS System Requirements, September, 2010.
5. Hansen K. A Preliminary Analysis of the AOPS Design// Canadian Naval Rev. – 2013. – Vol.9. – №1.
6. Report casts doubt on affordability of Arctic/offshore patrol vessels.– Warship Technology, January 2015, p.25–26. ■

Современная ситуация на рынке речных и каботажных грузоперевозок способствует созданию новых высокоэффективных транспортных средств, предназначенных в основном для вывоза груза с речных портов на рейдово-перевалочные комплексы (РПК) или морские терминалы. Для условий смешанных река-море перевозок такими транспортными средствами являются барже-буксирные составы (ББС) и составные суда (СС) смешанного плавания (СП), которые наиболее эффективны при перевозке массовых партий груза при определенном уровне организации грузоперевозок.

Для оценки эффективности ББС и СС СП были созданы соответствующие математические модели определения главных размерений и основных характеристик, функционирования. Математическая модель определения главных размерений и основных характеристик включала в себе аналитические зависимости для расчета буксировочного сопротивления и мощности как самоходного судна-толкача, так и баржи, основанные на данных Б.В. Богданова [3] и уточненные по результатам испытаний современных судов смешанного река-море плавания со «сверхполными» обводами [4, 10, 11], включая коэффициент счала (так называемый коэффициент взаимодействия корпусов) энергетической и грузовой секций состава.

Целью статьи является определение буксировочных характеристик судов СП и получение актуального коэффициента счала самоходного судна-толкача и несамоходной баржи смешанного река-море плавания со «сверхполными» обводами.

В ходе проработки математической модели определения главных характеристик составов и составных судов СП, оказалось, что все имеющиеся в открытом доступе публикации (к сожалению, нет опубликованных данных по испытаниям составного судна пр. 05074), связанные с взаимодействием корпусов самоходной и несамоходной части [1–3, 5, 6, 9], сводятся к исследованиям составов внутреннего плавания, которые выполнялись в 50–60-х гг. прошлого века. Безусловно, за 60 лет поменялась концепция проектирования судов внутреннего и смешанного плавания [8], оптимизировались обводы, увеличился коэффициент общей полноты. Все это привело к необходимости определения коэффициента счала для судов смешанного река-море плавания нового поколения.

Для решения поставленной задачи на кафедре «Теория и проектирование корабля им. проф. Ю.Л. Воробьева» в Одесском национальном морском университете (ОНМУ) были изготовлены модели самоходного судна-толкача и несамоходной баржи смешанного плавания в масштабе 1:40 и проведены испытания в опытовом бассейне ОНМУ им. проф. А.А. Костюкова. Модели составного судна изготовлены из пенопласта и покрыты сплавом воска с парафином. Для обеспечения жесткости модели имеют деревянный каркас. В носовой оконечности в районах носового перпендикуляра и первого теоретического шпангоута на модели установлены два турбулизатора из медной проволоки диаметром 1,5 мм.

За основу исследуемого СС было принято перспективное судно «Днепро-макс» класса, состоящее из самоходной части пр. RSD67 (рис. 1) и несамоходной баржи пр. RDB67 (рис. 2).

Общий вид модели толкача приведен на рис. 3. Общий вид модели баржи приведен на рис. 4.

Соединение корпусов моделей судна-толкача и баржи выполнено жестко и показано на рис. 5, расстояние между моделями соответствует расстоянию на реальном СС со сцепным устройством типа «О-200Т» (0,3 м). Жесткий вариант соединения выбран по причине простоты и технологичности,

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА СЧАЛА СОСТАВНОГО СУДА СМЕШАННОГО ПЛАВАНИЯ С БОЛЬШОЙ ПОЛНОТОЙ ОБВОДОВ

Г.В. Егоров, *д-р техн. наук, ген. директор ЗАО «Морское Инженерное Бюро»*,
А.В. Демидюк, *канд. техн. наук, доцент, зав. кафедрой ОНМУ*,
А.Г. Егоров, *мл. науч. сотрудник ЗАО «Морское Инженерное Бюро»*,
контакт. тел. (812) 232 8538



Рис. 1. Общий вид самоходного судна пр. RSD67



Рис. 2. Общий вид несамоходного судна пр. RDB67



Рис. 3. Общий вид модели сухогруза-толкача



Рис. 4. Общий вид модели баржи



Рис. 5. Соединение корпусов моделей судна-толкача и баржи

учитывалось также, что наибольшая скорость движения СС не превысит 10 уз (при $F_r = 0,103$). При такой скорости движения гидродинамические силы оказывают пренебрежимо малое влияние на ходовой дифферент судна.

Основные характеристики исследуемого СС и изготовленной модели приведены в табл. 1. Модельные испытания

Основные характеристики исследуемого СС и изготовленной модели пр. RSD67+RD B67

Величина	RSD67		RDB67		Состав	
	Натурное судно	Модель 1:40	Натурное судно	Модель 1:40	Натурное судно	Модель 1:40
Длина по КВЛ $L_{вл}$, м	139,70	3,493	113,98	2,850	253,98	6,350
Ширина по КВЛ B , м	17	0,425	17	0,425	17	0,425
Осадка d , м	3,6	0,090	3,6	0,090	3,6	0,090
Коэффициент общей полноты C_B	0,930		0,930			
Объемное водоизмещение ∇ , м ³	7942,62	0,1241	6510,61	0,1017	14453,23	0,2258
Весовое водоизмещение Δ , т	8141,2	0,1272	6673,4	0,1043	14814,6	0,2315
Смоленная поверхность Ω , м ²	3239,5	2,0247	2695,8	1,6849	5932,3	3,7077

проводились при температуре воды 18,5°С, кинематическая вязкость $\nu=1,04 \cdot 10^{-6}$ м²/с, плотность $\rho = 1,0078$ т/м³.

Опытный бассейн ОНМУ – гравитационного типа, в котором модели буксируются весом опускающегося в шахту груза. Скорость движения модели при этом регистрируется с помощью измерительной системы – датчика скорости и цифрового преобразователя. Сопротивление модели при установившемся движении равно весу тянущего груза, умноженному на передаточное число механизма буксировки равное 0,5. Для сокращения разгонного участка используется специальное разгонное устройство. Ширина бассейна $B_{бас} = 4,5$ м.

Скорость движения модели в процессе испытаний полагалась постоянной, если ее отклонение от среднего значения не превышало 0,5%. Знак отклонения показывает рост или падение скорости движения модели. Для контроля корректности определения скорости в ходе эксперимента фиксировались ближайшие к расчетному значению точки, в которых скорость растет и падает.

Буксировочные испытания проводились на глубокой воде для осадки, соответствующей речным условиям плавания.

Результаты буксировочных испытаний моделей сухогрузного судна-толкача пр. RSD67, баржи пр. RDB67 и модели составного судна приведены на рис. 6.

Ход испытаний демонстрируют рис. 7–13.

При движении с малыми скоростями ($Fr \leq 0,08$) волнообразование практически отсутствует. При увеличении скорости в носовой части формируется мощная ходовая волна. Кормовая волна незначительна. Высота волн растет по мере увеличения скорости.

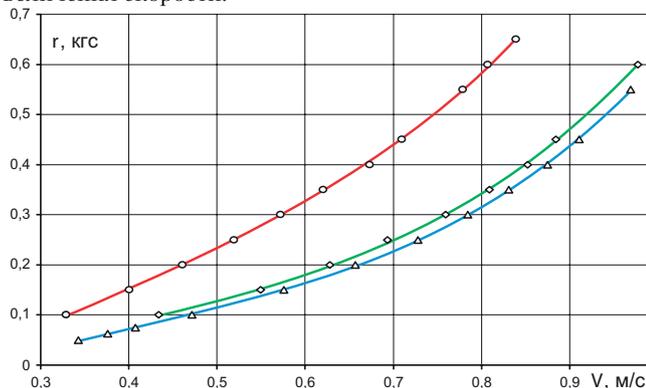


Рис. 6. Буксировочное сопротивление моделей составного судна и его составляющих

— составное судно; — сухогруз-толкач пр. RSD67;
— баржа пр. RDB67

Результаты модельных испытаний пересчитаны на натуру по методике ИТС–78 (International Towing Tank Conference 1978) [7, 15]. Выбор методики обусловлен малыми скоростями модели испытуемого составного судна (основа методики – определение коэффициента влияния формы при малых скоростях движения моделей).

Результаты пересчета характеристик (табл. 2). приведены в табл. 3–5.



Рис. 7. Буксировка модели сухогруза-толкача пр. RSD67 на глубокой воде, $Fr = 0,094$



Рис. 8. Буксировка модели сухогруза-толкача пр. RSD67 на глубокой воде, $Fr = 0,146$



Рис. 9. Носовая волновая система сухогруза-толкача пр. RSD67 на глубокой воде, $Fr = 0,146$



Рис. 10. Буксировка модели баржи пр. RDB67 на глубокой воде, $Fr = 0,165$



Рис. 11. Подпорная волна у носовой части модели баржи пр. RDB67 на глубокой воде, $Fr = 0,165$

Коэффициент полного сопротивления модели без выступающих частей C_{TM} может быть представлен как [12]

$$C_{TM}(Re, Fr) = C_v(Re) + C_w(Fr),$$

где C_v – коэффициент вязкостного сопротивления; C_w – коэффициент волнового сопротивления.

Если учесть, что для данной модели:

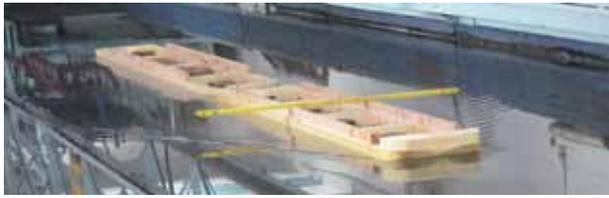


Рис. 12. Буксировка модели составного судна на глубокой воде, $Fr = 0,058$



Рис. 13. Буксировка модели составного судна на глубокой воде, $Fr = 0,099$

Таблица 2

Характеристики пересчета результатов

Характеристика	Описание
R_M	Сопротивление модели
$Fr = \frac{V_M}{\sqrt{gL}}$	Число Фруда
$C_{TM} = \frac{2R_M}{\rho_M V_M^2 S_M}$	Коэффициент сопротивления модели
$Re_M = \frac{V_M L_M}{\nu_M}$	Число Рейнольдса для модели
$C_{fM} = \frac{0,075}{(\log Re_M - 2)^2}$	Коэффициент сопротивления трения модели
$C_W = C_M - (1+k)C_{fM}(Re)$	Коэффициент волнового (остаточного) сопротивления
k	Форм-фактор
$V_H = V_M \sqrt{\lambda}$	Скорость судна
$V_S = V_H / 0,5144$	Скорость судна в узлах
$Re_H = \frac{V_H L_H}{\nu_H}$	Число Рейнольдса для судна
$C_{fH} = \frac{0,075}{(\log Re_H - 2)^2}$	Коэффициент сопротивления трения судна
$C_A = \left[105 \left(\frac{R_{MA}}{L} \right)^{1/3} - 0,64 \right] \cdot 10^3$	Надбавка на шероховатость;
$R_{MA} = 1,5 \cdot 10^{-4}$, м	Расчетная шероховатость
C_{AP}	Коэффициент сопротивления выступающих частей
$C_{TH} = C_W + (1+k) C_{fH}(Re) + C_{AP} + C_A$	Коэффициент полного сопротивления натуре
$R_H = C_{TH} \frac{\rho}{2} V_H^2 S_H$	Буксировочное сопротивление судна
$P = V_H R_H$, $P = V_H R_H$	Буксировочная мощность судна

$$Re_M = Fr \sqrt{\frac{gL^3_M}{\nu_M}}, \quad Fr = Re \frac{\nu_M}{\sqrt{gL^3_M}}, \quad C_{TM} = C_V(Re(Fr)) + C_W(Fr).$$

Разделив почленно полученное выше выражение на экстраполятор трения $C_{fM}(Re(Fr))$, получим

$$\frac{C_{TM}}{C_{fM}} = C_V/C_{fM} + C_W/C_{fM}.$$

В соответствии с гипотезой Хьюза [13] при полностью развитом турбулентном режиме обтекания

$$\frac{C_{TM}}{C_{fM}} = \text{const} \neq f(Re, Fr).$$

При малых числах Fr , соответствующих доволновым режимам движения, отношение C_V/C_{fM} пренебрежимо мало. Следовательно, в качестве критерия существования полностью развитого турбулентного режима можно использовать условие

$$\frac{C_{TM}}{C_{fM}} = \text{const}.$$

Если рассмотреть зависимость $C_{TM}/C_{fM} = f(Fr)$, то левая граница постоянного значения данного отношения соответствует переходному режиму обтекания модели, а правая –

появлению заметного волнового сопротивления. Значение C_{TM}/C_{fM} определяет собой форм-фактор $k = (C_V/C_{fM}) - 1$, так как при постоянном значении C_{TM}/C_{fM} следует: $C_{TM}/C_{fM} = \text{const} = C_V/C_{fM} = 1+k$.

Буксировочные испытания на низких скоростях, соответствующих доволновым режимам движения судна, т.е. при $Fr < 0,1 \div 0,14$, являются необходимой особенностью моделирования сопротивления по схеме ИТТС-78 [15].

Следует отметить, что испытания на малых скоростях движения естественным образом получаются лучше и беспроблемнее в гравитационных опытовых бассейнах, где нет необходимости задействовать эффективные системы стабилизации скорости движения буксировочной тележки, применяемые в бассейнах динамометрического типа.

Коэффициент сопротивления трения C_f вычислялся по формуле ИТТС-57 в соответствии со схемой ИТТС-78 [15].

Коэффициент выступающих частей C_{AP} для модели самоходного судна-толкача и баржи принимался с модельных испытаний близкого прототипа (пр. RST27), с идентичным движительно-рулевым комплексом и подруливающим устройством в носовой части судна [10, 11]. Для составного судна C_{AP} откорректирован пропорционально габаритным размерениям и C_{fH} [14].

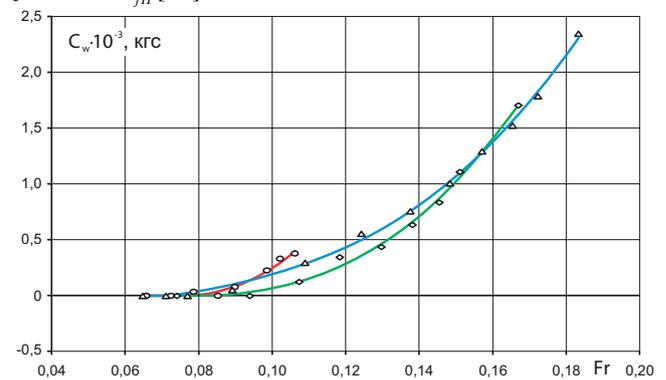


Рис. 14. Коэффициент волнового сопротивления C_W составного судна и его составляющих — сухогруз-толкач пр. RSD67; баржа пр. RDB67

На рис. 14 представлены зависимости коэффициентов волнового сопротивления C_W от чисел Фруда Fr . Результаты подтверждают визуально зафиксированный факт, свидетельствующий, что волновое сопротивление становится существенным при $Fr > 0,11$ как для СС, так и для его составляющих. Рис. 15 демонстрирует зависимость отношения коэффициента полного сопротивления модели C_{TM} и коэффициента трения модели C_{fM} от чисел Фруда Fr для СС и его составляющих. По данному графику, согласно ИТТС-78 [15], определяются значения форм-фактора $1 + k$.

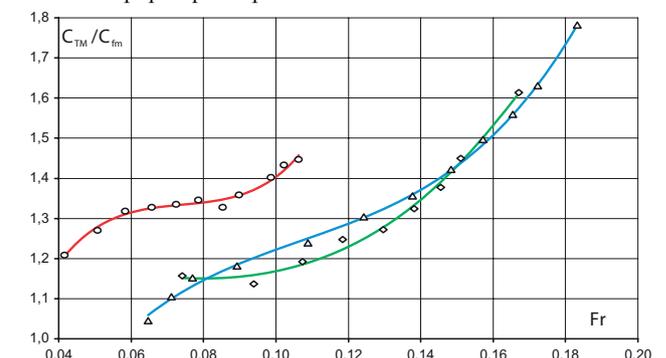


Рис. 15. Зависимость отношения полного сопротивления модели C_{TM} и коэффициента трения модели C_{fM} от числа Fr для составного судна и его составляющих — влияние кривизны поверхности на трение: $(1+k)$ — составное судно; — сухогруз-толкач пр. RSD67; — баржа пр. RDB67

Пересчет результатов испытаний модели сухогруза-толкача пр. RSD67 на натуру. Осадка – 3,6 м

R_{MP} кГс	V_{MP} м/с	Fr	Re_M	C_{TM}	C_{JM}	C_{TM}/C_{JM}	k	C_W	V_{MP} м/с	V_{S^3} уз	Re_H	C_{FH}	C_A	C_{AP}	C_H	R_{KH} кН	P кВт
0,100	0,434	0,074	1,27E+06	0,00516	4,454E-03	1,158	0,163	0,00000	2,744	5,33	2,451E+08	1,837E-03	0,00044	0,00017	0,00274	34,3	94,0
0,150	0,549	0,094	1,61E+06	0,00482	4,239E-03	1,137	0,163	0,00000	3,475	6,76	3,104E+08	1,780E-03	0,00044	0,00017	0,00267	53,6	186,3
0,200	0,628	0,107	1,84E+06	0,00492	4,124E-03	1,192	0,163	0,00012	3,973	7,72	3,549E+08	1,748E-03	0,00044	0,00017	0,00276	72,4	287,5
0,250	0,693	0,118	2,03E+06	0,00505	4,043E-03	1,248	0,163	0,00035	4,386	8,53	3,917E+08	1,725E-03	0,00044	0,00017	0,00296	94,4	414,1
0,300	0,759	0,130	2,22E+06	0,00505	3,970E-03	1,273	0,163	0,00044	4,801	9,33	4,288E+08	1,705E-03	0,00044	0,00017	0,00302	115,8	555,7
0,350	0,809	0,138	2,37E+06	0,00519	3,920E-03	1,324	0,163	0,00063	5,116	9,95	4,570E+08	1,691E-03	0,00044	0,00017	0,00320	139,3	712,5
0,400	0,852	0,146	2,49E+06	0,00535	3,880E-03	1,378	0,163	0,00084	5,390	10,48	4,813E+08	1,680E-03	0,00044	0,00017	0,00339	163,6	881,9
0,450	0,884	0,151	2,59E+06	0,00559	3,852E-03	1,450	0,163	0,00111	5,592	10,87	4,995E+08	1,671E-03	0,00044	0,00017	0,00366	189,9	1061,8
0,600	0,978	0,167	2,86E+06	0,00609	3,777E-03	1,613	0,163	0,00170	6,183	12,02	5,522E+08	1,650E-03	0,00044	0,00017	0,00423	268,2	1658,3

Таблица 4

Пересчет результатов испытаний модели баржи пр. RDB67 на натуру. Осадка – 3,6 м

R_{MP} кГс	V_{MP} м/с	Fr	Re_M	C_{TM}	C_{JM}	C_{TM}/C_{JM}	k	C_W	V_{MP} м/с	V_{S^3} уз	Re_H	C_{FH}	C_A	C_{AP}	C_H	R_{KH} кН	P кВт
0,050	0,342	0,065	9,380E+05	0,00497	4,753E-03	1,046	0,170	0,00000	2,166	4,210	1,58E+08	1,952E-03	0,00051	0,00015	0,00294	19,1	41,3
0,063	0,376	0,071	1,031E+06	0,00515	4,657E-03	1,106	0,170	0,00000	2,379	4,626	1,73E+08	1,927E-03	0,00051	0,00015	0,00291	22,8	54,2
0,075	0,407	0,077	1,115E+06	0,00528	4,578E-03	1,152	0,170	0,00000	2,575	5,006	1,88E+08	1,906E-03	0,00051	0,00015	0,00289	26,5	68,2
0,100	0,472	0,089	1,292E+06	0,00524	4,437E-03	1,182	0,170	0,00005	2,982	5,798	2,17E+08	1,868E-03	0,00051	0,00015	0,00290	35,6	106,2
0,150	0,576	0,109	1,577E+06	0,00528	4,256E-03	1,240	0,170	0,00030	3,642	7,080	2,65E+08	1,817E-03	0,00051	0,00015	0,00308	56,5	205,8
0,200	0,657	0,124	1,800E+06	0,00540	4,142E-03	1,304	0,170	0,00056	4,156	8,078	3,03E+08	1,785E-03	0,00051	0,00015	0,00331	78,9	327,8
0,250	0,728	0,138	1,994E+06	0,00550	4,057E-03	1,356	0,170	0,00076	4,604	8,950	3,35E+08	1,761E-03	0,00051	0,00015	0,00348	101,8	468,8
0,300	0,785	0,148	2,149E+06	0,00568	3,996E-03	1,422	0,170	0,00101	4,963	9,647	3,62E+08	1,744E-03	0,00051	0,00015	0,00371	126,2	626,2
0,350	0,831	0,157	2,276E+06	0,00591	3,951E-03	1,497	0,170	0,00129	5,255	10,215	3,83E+08	1,731E-03	0,00051	0,00015	0,00398	151,7	797,1
0,400	0,875	0,165	2,396E+06	0,00610	3,910E-03	1,559	0,170	0,00152	5,532	10,755	4,03E+08	1,719E-03	0,00051	0,00015	0,00419	177,3	981,0
0,450	0,911	0,172	2,495E+06	0,00632	3,879E-03	1,630	0,170	0,00179	5,761	11,200	4,20E+08	1,710E-03	0,00051	0,00015	0,00445	203,9	1175,0
0,550	0,969	0,183	2,655E+06	0,00683	3,832E-03	1,782	0,170	0,00235	6,129	11,916	4,47E+08	1,696E-03	0,00051	0,00015	0,00499	259,1	1587,8

Таблица 5

Пересчет результатов испытаний модели составного судна на натуру. Осадка – 3,6 м

R_{MP} кГс	V_{MP} м/с	Fr	Re_M	C_{TM}	C_{JM}	C_{TM}/C_{JM}	k	C_W	V_{MP} м/с	V_{S^3} уз	Re_H	C_{FH}	C_A	C_{AP}	C_H	R_{KH} кН	R'_{KH} кН	P кВт
0,100	0,329	0,042	2,01E+06	0,00489	4,051E-03	1,208	0,335	0,00000	2,081	4,046	3,38E+08	1,760E-03	0,000241	0,00012	0,00271	35,7	34,98	72,8
0,150	0,401	0,051	2,45E+06	0,00495	3,894E-03	1,271	0,335	0,00000	2,535	4,928	4,12E+08	1,714E-03	0,000241	0,00012	0,00265	51,8	50,74	128,6
0,200	0,461	0,058	2,81E+06	0,00499	3,789E-03	1,318	0,335	0,00000	2,914	5,664	4,73E+08	1,683E-03	0,000241	0,00012	0,00261	67,3	65,99	192,3
0,250	0,519	0,066	3,17E+06	0,00492	3,702E-03	1,328	0,335	0,00000	3,283	6,383	5,33E+08	1,657E-03	0,000241	0,00012	0,00257	84,4	82,69	271,5
0,300	0,572	0,073	3,49E+06	0,00485	3,633E-03	1,336	0,335	0,00000	3,620	7,038	5,88E+08	1,637E-03	0,000241	0,00012	0,00255	101,5	99,46	360,1
0,350	0,621	0,079	3,79E+06	0,00481	3,578E-03	1,345	0,335	0,00004	3,926	7,632	6,37E+08	1,620E-03	0,000241	0,00012	0,00256	120,0	117,56	461,6
0,400	0,673	0,085	4,11E+06	0,00468	3,523E-03	1,327	0,335	0,00000	4,258	8,278	6,91E+08	1,603E-03	0,000241	0,00012	0,00250	137,9	135,15	575,5
0,450	0,709	0,090	4,33E+06	0,00474	3,489E-03	1,358	0,335	0,00008	4,487	8,722	7,29E+08	1,593E-03	0,000241	0,00012	0,00257	157,1	153,99	690,9
0,550	0,779	0,099	4,75E+06	0,00481	3,429E-03	1,402	0,335	0,00023	4,925	9,575	8,00E+08	1,574E-03	0,000241	0,00012	0,00269	198,4	194,45	957,8
0,600	0,807	0,102	4,93E+06	0,00488	3,406E-03	1,433	0,335	0,00033	5,106	9,925	8,29E+08	1,567E-03	0,000241	0,00012	0,00278	220,7	216,27	1104,2
0,650	0,839	0,106	5,12E+06	0,00489	3,382E-03	1,447	0,335	0,00038	5,306	10,315	8,62E+08	1,559E-03	0,000241	0,00012	0,00282	241,5	236,69	1255,8

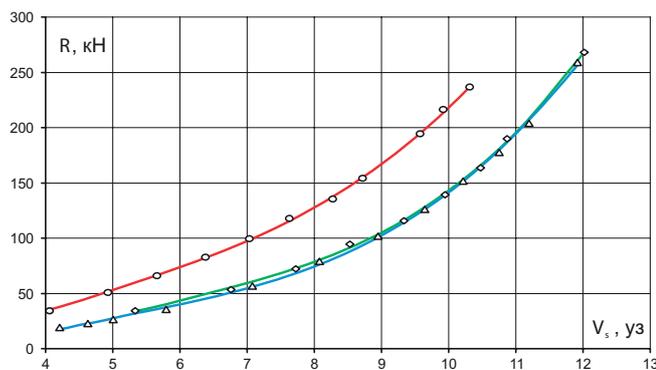


Рис. 16. Буксировочное сопротивление R составного судна и его составляющих
 — составное судно; — сухогруз-толкач пр. RSD67;
 — баржа пр. RDB67

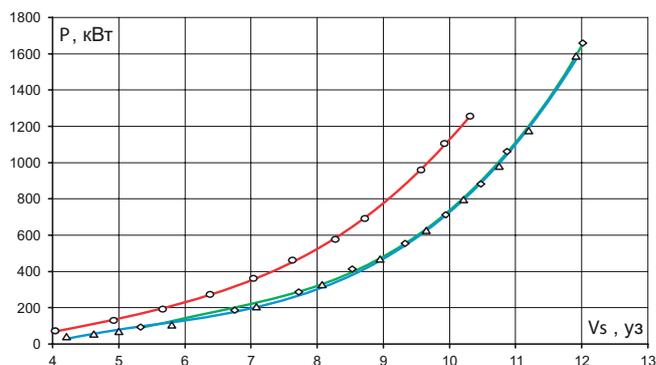


Рис. 17. Буксировочная мощность P составного судна и его составляющих
 — составное судно; — сухогруз-толкач пр. RSD67;
 — баржа пр. RDB67

Результаты пересчета буксировочного сопротивления R и буксировочной мощности P на натурное судно представлены на графиках, приведенных на рис. 16, 17.

Так как длина модели $CC L_M = 6,35$ м превышает критическую длину модели $L_{KP} = L_{BAC} \cdot 1,15 = 5,18$ м для опытового

бассейна ОНМУ на 23%, то значение буксировочного сопротивления R_H CC должно быть откорректировано на 2% в соответствии с рекомендациями [7] (превышение до 50%): $R'_H = 0,98 \cdot R_H$

Коэффициент счала C_2 CC определяется в виде

Определение коэффициента счала C_z СС смешанного плавания

$V_s, \text{уз}$	$R, \text{кН}^*$				$P, \text{кВт}$				C_z
	Сухогруз-толкач	Баржа	Составное судно	Сумма сухогруз-толкач + баржа	Сухогруз-толкач	Баржа	Составное судно	Сумма сухогруз-толкач + баржа	Коэффициент счала
5,0	30,0	26,4	52,1	56,4	77,2	67,9	134,1	145,2	0,924
5,5	36,4	31,9	62,4	68,3	102,9	90,3	176,5	193,2	0,914
6,0	42,8	38,4	73,7	81,2	132,2	118,4	227,3	250,6	0,907
6,5	49,8	46,0	85,5	95,7	166,4	153,7	285,8	320,1	0,893
7,0	57,6	54,9	98,4	112,5	207,2	197,8	354,2	405,1	0,874
7,5	67,1	65,4	113,8	132,5	258,9	252,3	439,0	511,2	0,859
8,0	79,8	77,0	126,8	156,8	328,2	316,9	521,9	645,1	0,809
8,5	93,8	89,4	144,1	183,1	409,9	390,8	630,0	800,7	0,787
9,0	106,2	103,3	166,0	209,5	491,7	478,4	768,6	970,1	0,792
9,5	121,6	120,3	190,1	241,9	594,1	588,0	929,1	1182,0	0,786
10,0	141,4	141,8	220,6	283,2	727,5	729,3	1134,5	1456,8	0,779

* Для составного судна R'

$$C_z = \frac{R_{CC}(V_s)}{R_T(V_s) + R_B(V_s)},$$

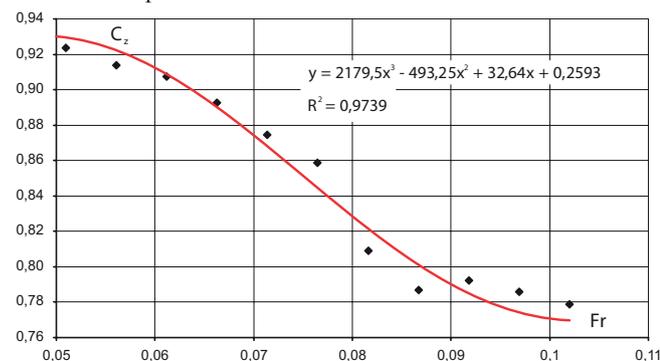
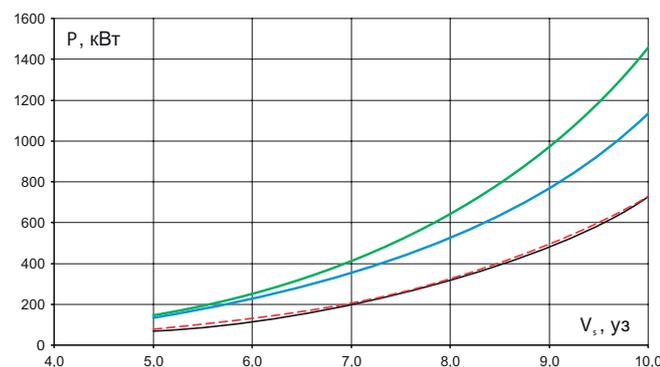
где $R_{CC}(V_s)$ – полное сопротивление СС; $R_T(V_s)$ – полное сопротивление сухогрузного судна-толкача; $R_B(V_s)$ – полное сопротивление баржи.

Сравнение буксировочных мощностей выполнено при фиксированных скоростях движения V_s в диапазоне от 5 до 10 уз (рис. 19). Определение коэффициента счала C_z приведено в табл. 6.

Коэффициент счала C_z СС (рис. 18) в зависимости от числа Fr (для всего составного судна)

$$C_z = 0,259 + 32,64 Fr - 493,25 Fr^2 + 2179,5 Fr^3.$$

При $Fr > 0,07$ (для всего СС) наблюдается значительное улучшение взаимодействия корпусов самоходного судна-толкача и баржи.

Рис. 18. Коэффициент счала C_z составного судна смешанного плаванияРис. 19. Сравнение буксировочных мощностей P при фиксированных скоростях движения V_s
— баржа пр. RDB67; - - - сухогруз-толкач пр. RSD67;
— составное судно; — сумма сухогруз+толкач+баржа

ВЫВОДЫ

В опытовом бассейне ОНМУ была проведена модельные испытания составного судна смешанного река-море плавания с целью определения буксировочного сопротивления и буксировочной мощности. Определен коэффициент счала составного судна смешанного река-море плавания со «сверх-полными» обводами.

Рекомендуется применять полученный коэффициент для оценки буксировочного сопротивления вновь проектируемых составных судов, с характеристиками, близкими к отечественным судам смешанного река-море плавания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Анфимов В.Н., Ваганов Г.И., Павленко В.Г. Судовые тяговые расчеты. – М.: Транспорт, 1970. – 224 с.
2. Басин А.М. Гидродинамика судна. – Л.: Речной транспорт, 1961. – 684 с.
3. Богданов Б.В., Алчуджан Г.А., Жинкин В.Б. Проектирование толкаемых составов и составных судов. – Л.: Судостроение, 1981. – 224 с.
4. Баскаков С.Н., Егоров Г.В., Демидюк А.В., Нильва В.А. Буксировочные испытания модели танкера RST27 в условиях регулярного волнения // Вестник ОНМУ. – Одесса. – 2013. – Вып. 37 (1). – С. 55-63.
5. Ваганов Г.И. Эксплуатация секционных составов. – М.: Транспорт, 1974. – 192 с.
6. Веледицкий И.О. Сопротивление воды движению толкаемых составов. – М.: Транспорт, 1965. – 119 с.
7. Грищенко Г.Н., Зиньковский-Горбатенко В.Г. Моделирование сопротивления судов в малом опытовом бассейне // Вестник СевГТУ. – Севастополь. 2006. – Вып. 75: Механика, энергетика, экология. – С. 77-88.
8. Егоров Г.В. Проектирование судов ограниченных районов плавания на основании теории риска. – СПб.: Судостроение, 2007. – 384 с.
9. Звонков В.В. Судовые тяговые расчеты. – М.: Речной транспорт, 1956. – 323 с.
10. Исследование ходовых и мореходных качеств танкера смешанного река-море плавания нового поколения: отчет о проведении научно-исследовательской работы №45583. – СПб.: Крылов. гос. науч. центр, 2010. – 128 с.
11. Исследование ходовых качеств судна смешанного река-море плавания: технический отчет ДМТ-10-014. – Одесса: ДМТ, 2010. – 37 с.
12. Кацман Ф.М., Пустошный А.Ф., Штумф В.М. Пропульсивные качества морских судов. – Л.: Судостроение, 1972. – 512 с.
13. Турбал В.К., Шпаков В.С., Штумф В.М. Проектирование обводов и движителей морских транспортных судов. – Л.: Судостроение, 1983. – 304 с.
14. Holtrop J., Mennen G.G.J. An Approximate Power Prediction Method // International Shipbuilding Progress. – Delft, Netherlands, 1982. – № 29 (335). – P. 166-170.
15. ITTC 1978 Performance Prediction Method: 7.5-02-03-01.4 Recommended Procedure / Edited by 22nd ITTC QS Group. – Seoul & Shanghai: ITTC-78, 1999. – 31 p. ■

НАГРУЗКА МАСС

Наблюдается достаточно устойчивая зависимость массы танкеров порожнем от полного водоизмещения и дедвейта. Это обусловлено тем, что форма их судовой поверхности, конструкция корпуса, энергетические установки, все системы и оборудование этих судов в значительной степени типизированы относительно их оптимальности (рис. 1).

С ростом дедвейта увеличивается доля корпуса в массе судна порожнем (рис. 2). Это связано прежде всего с увеличением общих нагрузок на корпус, снижением энерговооруженности, уменьшением относительной массы грузовой системы с ростом размеров судна. Тот факт, что на долю корпуса приходится от 70 до 90% массы судна порожнем, объясняет наличие большого количества опытно-конструкторских работ (ОКР) по оптимизации характеристик конструктивных элементов судна, так как снижением массы корпуса достигается заметный прирост дедвейта судна (при неизменных размерах).

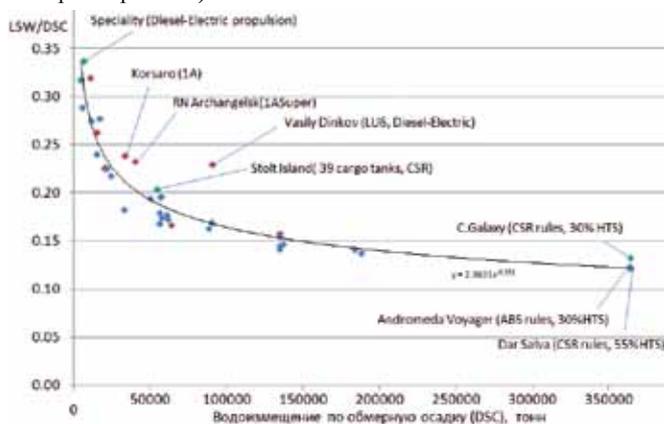


Рис. 1. Взаимосвязь массы порожнем и полного водоизмещения судов

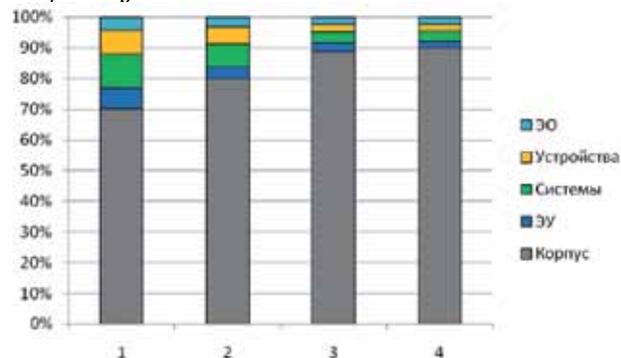


Рис. 2. Распределение массы судна порожнем по ее составляющим

1 – танкер дедвейтом 3 000 т (тип Small), 2–50 000 т (Handymax), 3–140 000 т (Suezmax), 4–300 000 т (VLCC)

В составе нагрузки танкера на корпус доминируют массы верхней палубы, днища, второго дна, бортов и поперечных переборок. С ростом размеров судна увеличивается и доля массы элементов, воспринимающих нагрузки от общего изгиба судна (днищевые и палубные конструкции). Доля бортов, продольных и поперечных переборок остается практически неизменной. Снижается доля массы надстройки, так как, к примеру, при росте массы корпуса в 30 раз численность экипажа, от которой зависит масса конструкций и оборудования надстройки, увеличивается только в два раза (рис. 3).

НОРМАТИВНО-ПРАВОВЫЕ И ПРОЕКТНЫЕ АСПЕКТЫ СОЗДАНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ТАНКЕРОВ ЧАСТЬ 2*

Г. Ф. Демешко, д-р техн. наук, проф.,
С. Н. Рюмин, канд. техн. наук, доцент,
СПбГМТУ,

контакт. тел. (812) 713 7136, +7 (911) 972 2120

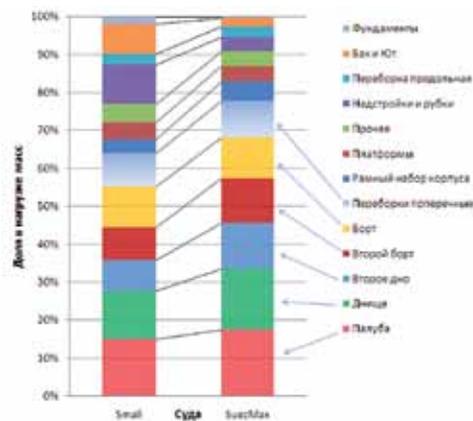


Рис. 3. Распределение массы корпуса по элементам для танкеров типа Small и Suezmax

Сегодня большинство танкеров проектируется согласно «Общим Правилам МАКО» (Common structural rules – CSR 2006 г. и более современные Harmonized CSR 2013 г. [1]). По данным исследования [2], судно, корпус которого разработан в соответствии с CSR, имеет массу порожнем на 8–14% больше, чем аналогичного, разработанного ранее по национальным правилам. Для снижения массы корпуса до величины, достигаемой в прежние годы (до ввода в действие CSR), конструкторы расширяют номенклатуру элементов корпуса, выполненных из сталей повышенной прочности, что позволяет снизить массу металлического корпуса. В результате этих мер разница в массе корпуса судов, построенных ранее, и новых становится практически незаметной – ок. 1–3% (рис. 4 и см. рис. 1).

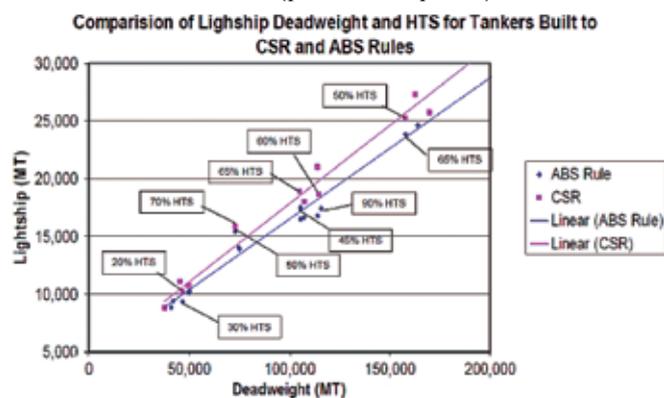


Рис. 4. Масса порожнем для судов, построенных по национальным правилам (ABS) и по «Общим правилам МАКО» (CSR) для разной доли в корпусных конструкциях сталей повышенной прочности (High tensile steel – HTS) [2]

* Часть 1 статьи – см. «Морской вестник», 2015, №3 (55), с.11

По результатам исследований [3], применение сталей повышенной прочности (СПП) эффективно при их общей доле в конструкциях до 55–60%. Это приводит к снижению массы корпуса на 10–12% (рис. 5). Далее увеличивать использование СПП в корпусных конструкциях нецелесообразно, так как на выбор толщин и сечений начинают оказывать влияние другие факторы – требования к устойчивости конструкций, к минимальным толщинам и т. д..

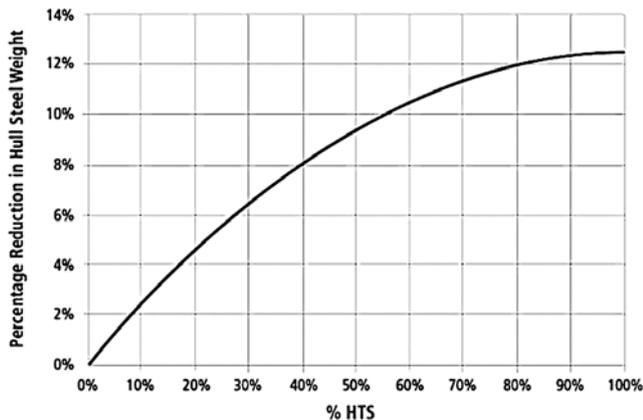


Рис. 5. Эффект влияния на массу корпуса применения сталей повышенной прочности (HTS) [3]

Значительное влияние на величину массы корпуса оказывает ледовый класс судна. На рис. 1 и 6 можно видеть, что танкер «Василий Динков» (лед. класс Arc 6) имеет массу порожнем, на 40% превышающую такую же танкера «Mary Uglan» (Ice1A). Это при близких размерах и практически совпадающих значениях полного водоизмещения.

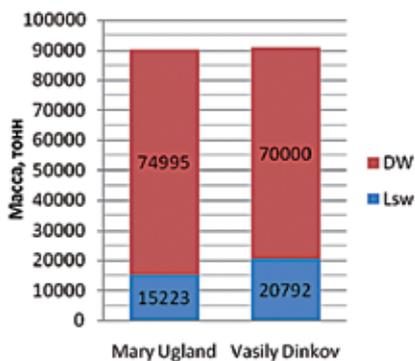


Рис. 6. Масса порожнем и дедвейт танкеров «Mary Uglan» (ледовый класс 1A) и «Василий Динков» (ледовый класс Arc 6)

В работе 1981 г. [4] был предложен метод расчета увеличения массы корпуса в зависимости от категории ледового класса судна. Результаты исследования 2007 г. [5] подтверждают, что формулы, предложенные А. А. Дубовым, О. В. Фаддеевым [4] и С. Б. Каравановым [6], остаются актуальными и сегодня, естественно, с учетом изменения индекса ледовых классов (рис. 7).

На рис. 8 показано изменение доли основных элементов нагрузки судна по корпусу в массе судна порожнем при увеличении ледового класса танкера типа Aframax с класса Ice1 до Arc9.

Масса принимаемого балласта в долях от дедвейта обычно находится в диапазоне $BW/DW = 0,3–0,5$, причем имеется тенденция к увеличению этой доли с ростом размеров судов. Для танкеров с относительно большим количеством балласта, как правило, предусмотрено два балластных состояния: тяжелое (Heavy Ballast Condition) – для максимального улучшения мореходных качеств судна в случае его движения в непогоду и для уменьшения слеминга и предотвращения оголения гребного винта и легкое (Light Ballast Condition), обеспечивающее

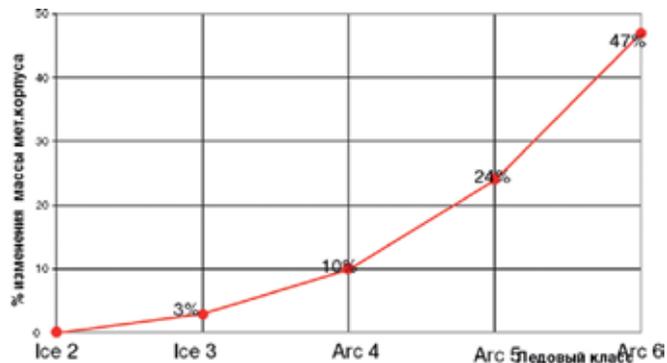


Рис. 7. Влияние категории ледовых усилений на массу корпуса судна [6]

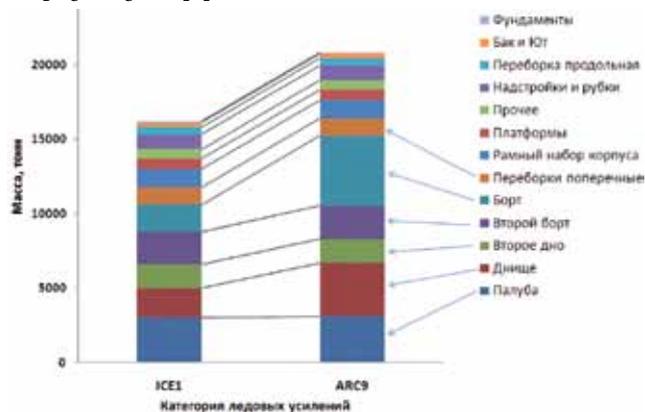


Рис. 8. Масса элементов конструкции корпуса судна типа Aframax с разными категориями ледовых усилений

погружение гребного винта в воду и минимально необходимое заглубление носовой оконечности, но позволит снизить смоченную поверхность корпуса судна и тем способствовать экономии топлива при движении в тихую погоду.

ХОДКОСТЬ, ПРОПУЛЬСИВНЫЙ КОМПЛЕКС

На всех современных танкерах устанавливаются дизельные или дизель-электрические энергетические установки. Характеристики пропульсивного комплекса отработаны годами эксплуатации тысяч подобных судов, но и двигатели и движители постоянно совершенствуются.

В последние восемь-десять лет значительное давление на проектантов и операторов судов оказывают два главных фактора:

- рост цен на судовое топливо;
- внедрение новых экологических требований к судам.

Постоянный рост цен на топливо привел к тому, что за последние шесть лет доля расходов на bunkеровку судов увеличилась с 20% до 50% всех эксплуатационных затрат [7]. При обсуждении контрактов на постройку и покупку судов, показатель топливной экономичности находится по важности практически на том же уровне, что и величина дедвейта ступени, опережая все остальные технико-экономические характеристики судна.

Несмотря на рост цен на судовое топливо (рис. 9), перевозка грузов морем по-прежнему остается самым экономически эффективным видом транспортировки. При этом перевозка единицы груза имеет более низкую себестоимость на крупных судах. Это подтверждается данными по удельному расходу топлива на тонно-милю груза (рис. 10).

В мире проводится значительное количество ОКР, имеющих целью улучшение характеристик топливной экономичности транспортных судов. Совершенствуются двигатели и движители, форма обводов каждого судна тщательно отработывается в опытовых бассейнах и методами численного эксперимента. Большим

успехом считается снижение расхода топлива судна путем совершенствования его пропульсивного комплекса даже на 3–5%.

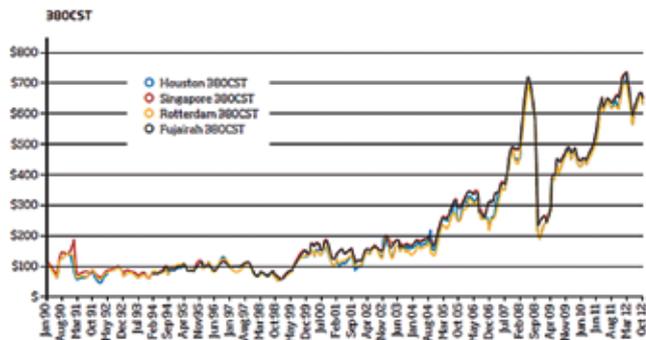


Рис. 9. Изменение мировых цен на судовое топливо [8]

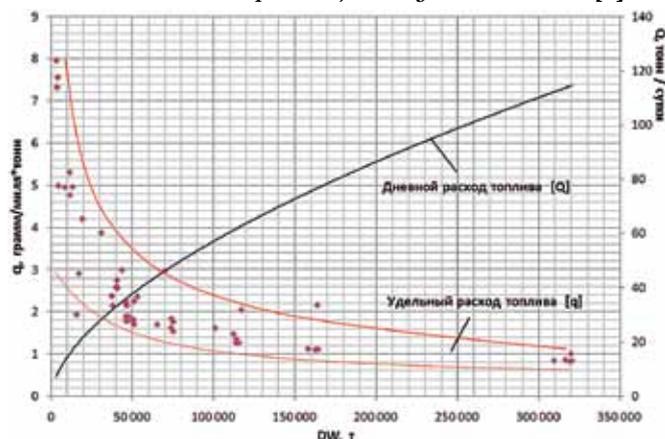


Рис. 10. Удельный расход топлива на одну тонно-милю (на тихой воде)

Так, для повышения эффективности гребных винтов на судах устанавливается целый ряд специальных устройств, таких, как «Mewis Duct» (рис. 11), «колесо Гримма», «Rudder Bulb» (рис. 12) и др. Производителями таких устройств при условии их использования заявляется снижение расхода топлива до 4% [9]. Согласно [10] совершенствование обводов и подбор рациональных соотношений размеров судна может позволить снизить расход топлива до 8%. Повсеместно используются специальные покрытия для подводной части корпуса судна – антиобрастающие, антифрикционные, самополирующиеся. Заявленный эффект от их применения, согласно [10], может достигать 6–8%.

При всём многообразии и эффективности перечисленных мер, наиболее продуктивным способом снижения затрат на топливо сегодня признается «Slow Steaming» – снижение скорости хода судна (к примеру, до 12 уз с имеющей место проектной скорости в 15 уз). Такая тенденция сегодня очень популярна, так как снижение скорости хода может давать эффект, не достижимый другими мерами – до 25–30% экономии топлива и снижения вредных выбросов. Даже такие успешные компании, как «Maersk Line» и «Hamburg Sud», снижают скорости своих судов до 50% [13]. Сегодня одним из самых востребованных направлений совершенствования двигателей эксплуатируемых судов является их адаптация к работе на парциальных режимах (ок. 15–25% полной мощности) [14].

Рассматриваются варианты и дальнейшего снижения скорости хода – до 8 и даже до 5 уз («Super Slow Steaming»), принимаемой за расчетную при проектировании судна [15].

Несмотря на все преимущества, следовать путем «Super Slow Steaming» нельзя бесконечно, так как минимальная величина скорости судна ограничена требованиями обеспечения управляемости на малых ходах (IACS et al submitted papers MEPC 62/5/19 & MEPC 62/INF.21 for defining the «Minimum Propulsion Power to Enable Safe Maneuvering in



Рис. 11. Устройство повышения эффективности гребного винта «Mewis Duct» [11]



Рис. 12. Устройство «Rudder Bulb» [12]

Adverse Conditions»). Кардинальному снижению расчетной скорости хода препятствует и необходимость иметь запас мощности на случай неблагоприятных погодных условий и при движении на встречных течениях.

По степени влияния на назначение проектных характеристик судов в последние годы на лидирующие позиции вышло ужесточение экологических требований к источникам загрязнения окружающей среды. Несмотря на то, что, по данным [8], только 6% парниковых газов приходится на долю мирового флота, требования к уменьшению загрязнения атмосферы выхлопными газами судовых двигателей постоянно ужесточаются.

Следствием введения специальных экологических зон (SECA) стало существенное повышение требований к содержанию вредных веществ в выхлопных газах (особенно серы и ее соединений), удовлетворение которых возможно по нескольким затратным путям:

- использование дизельного топлива вместо тяжелого;
- установка на судне устройств очистки выхлопных газов (скрубберов);
- перевод двигателей на работу на природном газе.

Переход на более дорогое топливо влечет за собой минимум изменений в конструкции судна, но вместе с тем и самый высокий рост эксплуатационных затрат.

Второй путь сегодня признается наиболее перспективным. Для очистки выхлопных газов на судне устанавливается специальное устройство, через которое эти газы пропускаются с целью очистки. Эти устройства – скрубберы, выполняются двух типов: жидкостные и сухие. Жидкостные скрубберы компактны, но более дороги в эксплуатации, чем сухие. Последние сравнительно дешевле, но занимают на судне значительное пространство и требуют регулярного обслуживания со сменой очищающего реагента. На рис. 13 показана схема размещения и соотношение габаритов сухого и жидкостного скрубберов, располагаемых в кожухе дымовой трубы судна.

Установка скрубберов на судах будет обязательной, начиная с 2015 г., поэтому многие судовладельцы в целях снижения расходов не устанавливают скрубберы сегодня, но предусматривают место для их размещения и для хранения реагентов в кожухе дымовой трубы и на палубе.

Согласно работе [16] установка сухого скруббера на танкере дедвейтом 20 000 т (наиболее востребованный тип тан-

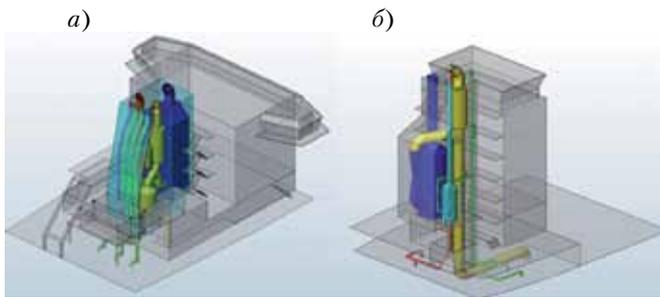


Рис. 13. Расположение сухого (а) и жидкостного (б) скруббера в кожухе дымовой трубы судна [16]

кера в балтийской зоне SECA) потребует около 150 м³ объема и увеличит массу СЭУ на 87 т. К нему потребуются установка на палубе четырех стандартных контейнеров со свежим наполнителем и четырех – для отработанного, что еще увеличит массу СЭУ на 93 т.

Все главные аспекты установки двигателей, работающих на природном газе, а также совокупность требований к выбросам в районах SECA рассмотрены в работе [17].

Требования к вредным выбросам в зонах SECA относятся и к новым, и к уже эксплуатируемым судам.

С 1 января 2013 г. вступили в силу новые требования – теперь уже к энергоэффективности судна, главным критерием которой является индекс EEDI, физически отражающий соотношение между количеством выбросов углекислого газа (CO₂) на тонно-милю.

На характеристики проектируемых сегодня и в ближайшие годы судов окажут влияние требования гл. 4 «Требования по энергоэффективности судов» Приложения VI к МАРПОЛ 73/78, введенные в это Приложение Резолюцией ИМО МЕРС. 203 (62), которые применяются ко всем судам валовой вместимостью 400 рег. т и более. Фактический (достижимый) индекс необходимо вычислять для судна, контракт на постройку которого заключен после 1 января 2013 г., или киль которого заложен после 1 июля 2013 г., или сдача в эксплуатацию которого осуществляется после 1 июля 2015 г. Требования будут постепенно ужесточаться до 2025 г. (рис. 14). Основные проблемы удовлетворения этим требованиям приведены в работе [18].

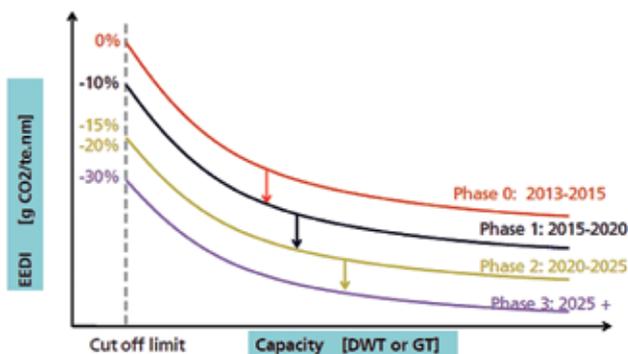


Рис. 14. Требуемый индекс EEDI [3]

«Нулевая» фаза внедрения требований к EEDI (2013–2015 гг.) практически не окажет влияния на проектные характеристики судов, однако далее проектировщикам придется принять ряд мер, направленных на снижение выбросов на тонно-милю, главными из которых признаются приведенные ниже.

Для удовлетворения требований фазы 1 (2015–2020) будут достаточными:

- совершенствование обводов и пропульсивного комплекса;
- снижение массы судна порожнем через оптимизацию конструктивных элементов судна;
- совершенствование двигателей.

Для фазы 2 (2020–2025) достаточно:

- снижение скорости хода;
- увеличение удлинения судна и уменьшение коэффициента полноты;
- увеличение вместимости и грузоподъемности судов;
- снижение сопротивления надводной части судна – надстроек, оборудования.

Для фазы 3 (после 2025 г.):

- использование энергии ветра и солнца;
- использование двигателей, не выбрасывающих CO₂;
- использование LNG как топлива (даст снижение CO₂ до 20% [19]), а также биотоплива.

В работе [20] показано, что в результате внедрения требований к EEDI расход топлива крупными танкерами снизится примерно на 40%.

ВЫВОДЫ

1. До 90% массы танкера порожнем составляет масса корпуса, поэтому оптимизация его корпусных конструкций всегда способствует заметному повышению его эффективности.

2. Наиболее существенными факторами, влияющими на принятие проектных решений, сегодня оказываются рост цен на топливо и ввод в действие новых экологических требований. Их воздействие особенно заметно способствует изменению традиционного облика, характеристик и оборудования танкеров.

ЛИТЕРАТУРА

1. IACS. Common Structure Rules for Bulk Carriers and Oil Tankers. – London, UK: International Association of Classification Societies, 2013.
2. Horn Gary, Cronin Dan. The Common Structural Rules Initial Designs and Future Developments. 2010, TSCF 2010 Shipbuilders Meeting.
3. ABS. Ship Energy Efficiency Measures. Status and Guidance. – ABS, –Houston, 2013.
4. Дубов А.А., Фаддеев О.В. Вес ледовых усилений корпуса судна. – Т. 376. –Тр. ААНИИ, 1981, с. 114–116.
5. Dvorak R. E. Engineering and Economic Implications of Ice-Classed Containerships. – MIT Thesis of dissertation for degrees of master of science, 2009.
6. Караванов С.Б. Определение массы металлического корпуса сухогрузных судов ледового плавания на начальной стадии проектирования с учетом прочностных характеристик стали. –Сб. тр. ЦНИИМФ. Т.: Перспективные типы судов и их мореходные качества, 1983, 285 с.
7. Войниченко В. Контейнерный тоннаж–2007: издержки давят на операторов. <http://transserver.net>, 2007.
8. Royal Academy of Engineering. Future ship powering options: Exploring alternative methods of ship propulsion. London, UK, 2013.
9. Hatzigrigoris S. Expectations for the design and the operation of Future Ships. Is now the time for fleet renewal? – Building for the future, Athens, 2012.
10. Watson D. G. M. Practical Ship Design. – Elsevier Science Ltd., 1998.
11. www.sandfirnden.nl.
12. Henderson Keith. Propeller conversions bring greater efficiencies and lower emissions. // Maritime Propulsion. – 2011. June.
13. Рынок контейнерного тоннажа: ставки растут – скорость падает. Tbu.com.ua. Т. – <http://www.tks.ru/>.
14. Slow Steaming Rapport. MAN Diesel and Turbo, 2012.
15. Kokarakis John. Super Slow Steaming: Building for the Future. Building for the Future Forum, 2011. April.
16. Walter J., Wagner J. Choosing Exhaust Scrubber Systems. –On behalf of Maritimes Cluster Northern Germany, 2013.
17. Рюмин С.Н. Проектные аспекты применения газовых и газодизельных двигателей на транспортных судах. – Тр. СПбГМТУ, 2013, Вып. № 2 (125), «Морской вестник», Спец. вып. № 1 (10).
18. Пустошный А.В. Energy Efficiency Scrubber Index – новая реальность от ИМО //Судостроение. –2012. –№1(800).
19. Implementing the Energy Efficiency Design Index (EEDI). Lloyd Register.: LR, UK, 2012.
20. Longva T. CO2 emissions from ships: the impact of EEDI and SEEMP. DNV, 2013. ■

Начало XXI в. ознаменовалось бурным освоением Арктического региона. Так, в последние годы в мире предпринимаются беспрецедентные меры по созданию арктических программ, включающих разработку стратегий и создание научных центров, реализуются шельфовые проекты, создаются объекты арктической морской техники, развивается транспортное арктическое сообщение.

Всплеск интереса к этим районам таких стран, как Канада, США, Норвегия, Дания, Россия и др., в первую очередь обусловлен ее экономическим потенциалом и обострившейся борьбой за минеральные ресурсы. Вопросы экономической независимости государств в сложившейся геополитической обстановке стали приоритетными. На сегодняшний день эта ситуация является мощным катализатором развития арктических технологий, предназначенных для освоения колоссальных природных богатств, тянущих за собой создание обеспечивающей инфраструктуры и технических средств освоения Арктики.

Следует отметить, что техногенные процессы в Арктике так или иначе зависят от получения новых фундаментальных знаний об этом регионе, а именно о генезисе земной коры и условиях ее формирования, структуре и вещественном составе ложа Северного Ледовитого океана, флоре и фауне, а также климатических и глобальных экологических изменениях. Несмотря на то, что активные исследования Арктики начались более века назад, на сегодняшний день она остается одним из малоизученных участков нашей планеты. Связано это с тем, что проведение исследований в центральных районах Северного Ледовитого океана затруднено и небезопасно из-за суровых климатических условий и тяжелой ледовой обстановки (рис. 1).

Отсутствие достоверных данных о природе происхождения земной коры в пределах Центрально-Арктических поднятий на сегодняшний день является главным спорным вопросом в дискуссии ученых всего мира. Ответ на этот вопрос, какая же она

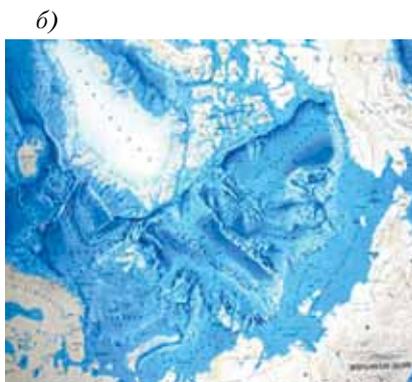
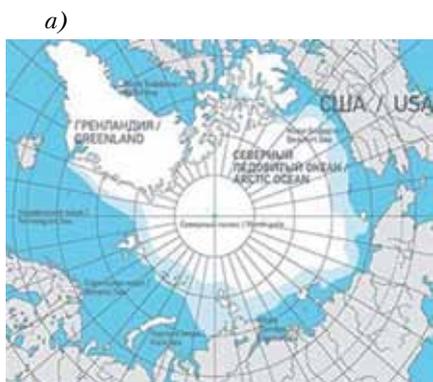


Рис. 1. Карта Арктики (а) и карта дна Северного Ледовитого океана (б)

РАЗРАБОТКА НОВЫХ ПОДВОДНО-ПОДЛЕДНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО БУРЕНИЯ В АРКТИКЕ

А.А. Астахов, начальник отдела ЗАО «ЦНИИ СМ»,
контакт. тел. (812) 640 1071



Рис. 2. Претенденты на Арктику

– континентальная или океаническая, имеет принципиальное значение для дальнейшего мирового освоения Арктики.

Дело в том, что согласно Конвенции ООН по морскому праву страны имеют юридическое право претендовать на участки морского дна за пределами 200-мильной зоны своих территориальных вод, если докажут их геологическую

связь с континентом. Для установления юридических прав и зон экономических интересов странам арктического бассейна требуется определить внешние границы своих континентальных шельфов (рис. 2).

К примеру, Россия имеет максимальную протяженность границ в Арктике и все основания претендовать на 1,2 млн. км² морского дна, где могут находиться около 5 млрд. т углеводородов, а также месторождения марганца, золота, олова, свинца, никеля и других твердых полезных ископаемых. Однако неоднократные заявки РФ в ООН были отклонены за недостаточностью доказательной базы. Самым важным и последним источником информации в научном определении типа коры и ее принадлежности к континенту является фактический материал. С применением существующих технологий получить его невероятно трудно, так как требуется с поверхности океана, покрытой паковыми льдами, произвести глу-

боковое бурение скважин с отбором керна на хребте им. М. В. Ломоносова и поднятии им. Д. И. Менделеева.

Традиционные технологии морского бурения, основанные на использовании надводных судов в условиях низких температур и тяжелой ледовой обстановки, для решения этой задачи оказались неэффективными.

К традиционным технологиям бурения дна Мирового океана в данном случае относится бурение с плавучих платформ и специальных буровых судов. Для исследовательского бурения неглубоких скважин применяются погружные дистанционно-управляемые буровые установки, обитаемые и необитаемые аппараты, базирующиеся на многоцелевых исследовательских судах. Все они опускаются на морское дно с борта надводного судна на открытой воде. И получается, что такие технологии не позволяют в полной мере приступить к изучению арктического шельфа, являющегося для России район стратегических интересов.

а)



б)



Рис. 3. Погружные буровые установки: а – 3-Meter Rock Drill (США); б – Portable Remotely (Австралия, США)

Можно констатировать, что особую актуальность в научных исследованиях Арктики как первого этапа ее освоения приобретает создание новых подводно-подледных технологий и технических средств для глубоководного бурения.

Наиболее перспективным направлением, открывающим неограниченный

доступ России к геологическим изысканиям в центральных районах Арктики с тяжелой ледовой обстановкой, является разработка технологии бурения на базе автономных подводных носителей. В качестве такого носителя при определенных условиях может быть использована подводная лодка.

Предложение использовать подводную лодку как средство доставки и постановки технологического оборудования на морское дно и выполнения придонных инженерно-технических операций само по себе ново. За последние десятилетия было разработано множество концептуальных проектов подводных транспортных, буровых и добычных комплексов, в том числе и для работы на арктическом шельфе. Однако ни один из них на сегодняшний день не реализован. Связано это, в первую очередь, с необходимостью больших и долгосрочных капиталовложений в постройку новых подводных технических средств и их обеспечивающую инфраструктуру.

Наиболее оправданным в существующих экономических условиях подходом может стать создание бурового комплекса на базе уже существующих в России подводных технических средств.

ЗАО «ЦНИИ СМ» совместно с ведущими конструкторскими бюро-проектантами подводной техники провело работу по определению технической возможности создания комплекса для подводно-подледного бурения на базе существующего подводного носителя. В результате этой работы была подтверждена потенциальная возможность применения для этих целей научно-исследовательских подводных лодок (НИПЛ), эксплуатируемых в РФ.

Конструкция НИПЛ позволяет оснастить ее оборудованием бурового комплекса, а по своим технико-эксплуатационным характеристикам эти лодки могут в автономном режиме выполнить специальные задачи в любых районах Арктики. Среди основных характеристик НИПЛ следует отметить:

- отсутствие ограничений по району плавания;
- возможность взятия на борт и выгрузки на морское дно бурового оборудования (бурового станка);
- автономность выполнения буровых операций без использования надводных технических средств;
- непрерывность технологического цикла проведения работ (совокупная) без выхода в надводное положение;
- обеспечение энергопитания комплекса от энергосистемы НИПЛ с атомной энергетической установкой;
- высокая навигационная точность оп-

ределения координат доставки бурового оборудования в районы проведения работ;

В рамках проводимой опытно-конструкторской работы на сегодняшний день разработана конструкция бурового комплекса на базе НИПЛ.

В состав комплекса входят:

- буровой станок забортного размещения. Выполнен в виде сменного модуля и размещается в межбортном пространстве носовой части НИПЛ (непосредственно в морской среде). В его состав входит оборудование, позволяющее выполнять все технологические операции бурения;
- бортовая аппаратура системы управления и питания, осуществляет дистанционное управление рабочими процессами бурения.

С учетом последних данных о геологической обстановке в предполагаемых районах применения бурового комплекса для дальнейшей разработки принята концепция с выгружаемым буровым станком.

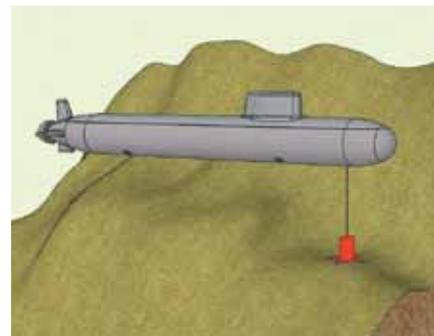


Рис. 4. Модель использования бурового комплекса с НИПЛ

Буровой станок опускается с НИПЛ на дно при помощи спуско-подъемного устройства. Электропитание и управление станком осуществляется по грузонесущему кабелю. НИПЛ при этом находится в положении на глубине в несколько десятков метров от поверхности дна.

К достоинствам такой модели использования НИПЛ можно отнести возможность постановки бурового станка на поверхности морского дна со сложным рельефом. Это актуально при бурении на крутых склонах подводных хребтов (эскарпах), где выход коренных пород обнажается на небольших горизонтальных участках, расположенных по склону на различных батиметрических уровнях.

Анализ отобранных на таких участках кернов позволит ученым построить сводный геологический разрез склона.

Конструкция бурового станка (рис. 5) включает в себя все основные узлы и механизмы, необходимые для выполнения технологических операций бурения: вращатель, механизм подачи, манипулятор подачи на ось скважины бурильных труб, буровой насос и т.д.

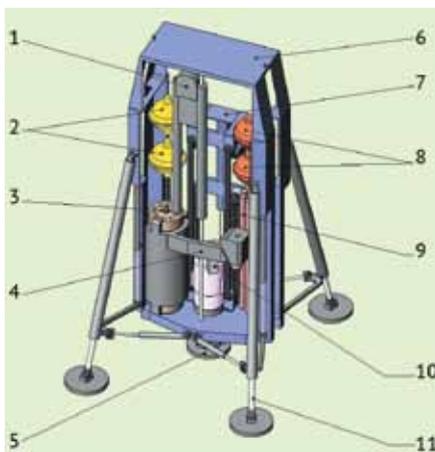


Рис. 5. Буровой станок на опорах
 1 – манипулятор подачи керноприемников; 2 – компенсатор давления; 3 – контейнер с керноприемниками; 4 – манипулятор передачи контейнера; 5 – блок забурочно-устьевой; 6 – рама бурового станка; 7 – механизм подачи; 8 – блок управления погружной; 9 – накопитель колонковых и бурильных труб; 10 – манипулятор подачи бурильных труб; 11 – регулируемые опоры

Для наблюдения за процессом бурения в режиме реального времени в буровом станке предусмотрены осветительные приборы и несколько видеокамер.

Буровой модуль оснащен датчиками, показания которых выводятся на панель управления и позволяют оператору отслеживать и при необходимости корректировать рабочие режимы в процессе бурения.

Панель управления размещена в прочном корпусе НИПЛ. Управляет буровым комплексом один оператор. Выполнение основных операций по бурению скважины автоматизировано, но предусмотрена возможность прямого управления механизмами в ручном режиме.

Постановка на грунт и выравнивание станка в рабочее положение осуществляется при помощи выдвигаемых телескопических опор устройства горизонтирования на участках морского дна с уклонами до 15°. Выравнивание станка выполняется автоматически по показаниям инклинометра. Опоры имеют гидравлический привод и механический стопора.

Разработка конструкции бурового комплекса сопряжена с необходимостью решения важных технических вопросов, которые будут во многом определять успех создания бурового комплекса для НИПЛ.

К таким первоочередным вопросам относятся следующие:

1. Обеспечение коррозионной стойкости конструкций бурового модуля и бурового инструмента (бурильных и колонковых труб, съемных керноприемников, породоразрушающих

коронки и др.) в условиях длительного нахождения в морской воде. Существующие бурильные и колонковые трубы и керноприемники изготавливаются из углеродистых и низколегированных марок сталей (20, 45, 40Х, 38ХНМ, 36Г2С, 30ХГСА по ГОСТ 8731–78). Так как время нахождения в морской воде существующих погружных буровых установок невелико, то вопрос коррозионной стойкости буровых труб и бурового инструмента ранее остро не стоял.

К числу общих негативных факторов относятся длительное (до нескольких месяцев) нахождение бурового комплекса в морской среде, при котором создаются весьма тяжелые для обеспечения работоспособности условия работы материалов деталей и узлов механизмов комплекса, а также использование морской воды в качестве промывочной жидкости.

Анализ конструкции и материалов деталей существующего бурового инструмента позволил сделать вывод, что они при длительном нахождении в морской воде в течение похода без использования специальных мер защиты могут разрушиться и потерять потребительские свойства еще до начала использования.

В ряду средств защиты от коррозии наиболее надежным способом ее предотвращения является изоляция деталей и узлов из углеродистой стали от контакта с морской водой, где это возможно по условиям работы материалов, и изготовление их из нержавеющей сплавов.

2. Обеспечение стабильного (устойчивого) положения бурового станка в процессе выполнения буровых операций на грунтах различной плотности и различных уклонах поверхности дна. По имеющимся научным данным, Арктический бассейн в своей глубоководной части имеет большую мощность донных отложений. Распределение донных осадков в пределах этой области определяется рельефом дна. Основными типами поверхностного слоя являются илы и глинистые илы. В различных районах толщина осадков дна может варьироваться от нескольких сантиметров до нескольких десятков метров.

В таких условиях постановка бурового станка на зыбкое основание может привести во время бурения к изменению его положения. Смещение привода относительно оси скважины приведет к заклиниванию бурильной колонны. Из-за невозможности обслуживания буровой установки такая аварийная ситуация недопустима, так как может грозить прекращением работ и даже потерей бурового оборудования.

Кроме того, значительная мощность осадков на плоских участках морского

дна является серьезным препятствием для получения проб коренных пород. Коренные породы, имеющие первостепенную важность для определения природы земной коры, могут быть максимально приближены к поверхности дна на поднятиях и обнажаться на эскарпах. Для бурения на сложном рельефе морского дна комплекс должен иметь техническую возможность постановки на неровные поверхности дна с уклонами 10–15° и выше.

В этой связи требуется разработка технических решений, обеспечивающих надежную постановку и удержание бурового оборудования на грунтах с различной плотностью и углами наклона.

3. Обеспечение максимального отбора керна и его сохранение. Ключевой целью создания бурового комплекса является получение структурно сохраненного керна материала для его последующего лабораторного изучения. Достижение данной цели возможно при условии создания эффективных технологических методов и технических средств отбора проб, их сохранения при транспортировке и извлечения на дневную поверхность. Здесь важно понимать, что непосредственный отбор проб будет проводиться в условиях высокого гидростатического давления окружающей среды.

Кроме того, характеристика производительности отобранного фактического материала определяется не только его количественным выходом, но и качеством, к которому относится геологическая информативность пород.

В заключение следует отметить, что создаваемый буровой комплекс на базе НИПЛ мировых аналогов не имеет. Разрабатываемая технология проведения геологоразведочных работ с использованием подводного носителя относится к новому классу подводно-подледных технологий и является инновационной. Колонковое бурение может быть использовано для решения широкого спектра задач – от инженерно-геологических исследований грунтов и пород дна до получения керна пород под конкретную геологическую задачу в ранее недоступных районах глубоководной части Арктики.

Успешная реализация проекта позволит решить актуальную задачу расширения внешней границы континентального арктического шельфа РФ.

ИСТОЧНИКИ

1. ВНИИ океангеологии им. И.С. Грамберга – www.vniio.ru
2. ИНТААРИ Арктика и Антарктика – www.intaari.com
3. Газпром-нефть – www.pda.gazprom-neft.ru
4. Популярная механика – www.popmech.ru
5. Тетис-про – www.tetis-pro.ru ■

Идея использования эффекта динамического поддержания транспортного средства и тем более летательного аппарата вблизи ровной или даже взволнованной поверхности с очевидной энергетической выгодой сегодня, в эпоху развития логистики и роста цен на углеводородное топливо, будоражит головы инженеров и экономистов во всем мире.

Экранопланы – скоростные водные транспортные средства, использующие данный эффект, который еще называют эффектом «экрана», рожденные на стыке развития авиации и скоростного судостроения в результате накопления определенного научно-технического потенциала сегодня считаются высочайшим достижением этих отраслей в XX и XXI вв. Велик был соблазн передвигаться со скоростью самолета гораздо меньшей ценой.

На Западе экранопланы больше известны как GEM (Ground Effect Machine), SES (Surface Effekt Ship), есть также термины WIG (Wing-In-Ground Effect), «hover wing» и т.д. Российский термин «экраноплан», впервые предложенный главным конструктором этих аппаратов Р.Е.Алексеевым, был в 1992 г. рекомендован Ассамблеей ИМСО и Английским Ллойдом для общемировой практики.

В настоящее время все экономически развитые страны мира, включая США, ФРГ, Францию, Японию, а в настоящее время Китай, Тайвань, Южная Корея, Норвегия и даже Вьетнам имеют государственные программы создания экранопланов и ведут исследования в этой области.

По предложению России ИМО принята следующая классификация летательных аппаратов (экранопланов), использующих экранный эффект:

тип «А» – судно, сертифицированное для эксплуатации только в зоне действия экранного эффекта;

тип «В» – судно, сертифицированное для эксплуатации в зоне действия экранного эффекта, способное кратковременно увеличивать высоту полета за пределы действия экранного эффекта на расстояние от поверхности, не превышающее 150 м;

тип «С» – судно, сертифицированное для эксплуатации не только в зоне действия экранного эффекта, но и на высотах, превышающих 150 м над опорной поверхностью.

Экранопланы строятся по аэродинамическим схемам, схожим с летательными аппаратами и гидросамолетами, многообразие которых условно можно свести к двум видам:

– *нормальная самолетная схема с Т-образным оперением* (базовая схема экранопланов Р.Е. Алексеева), характе-

ЭКРАНОПЛАНЫ СЕГОДНЯ

Г.А. Федорев, ген. конструктор,

А.С. Знатков, координатор проекта, ООО «Союзмортранс», Владивосток,

Д.И. Кизилов, д-р техн. наук,

П.А. Шауб, д-р техн. наук, проф., вед. науч. сотрудник,

С.В. Московкина, науч. сотрудник,

НИИ кораблестроения и вооружения ВМФ

ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия»,

контакт. тел. (812) 405 0706

ризующаяся низкорасположенным крылом малого удлинения, оборудованным концевыми шайбами и высокорасположенным Т-образным оперением, максимально вынесенным из зоны скосов потока за крылом;

– *схема Липпиша* (к ней можно отнести и «составное крыло») – фактически самолетная схема. Она отличается формой крыла (или развитого центроплана) – треугольника в плане, так называемого «шатрового крыла», более эффективно удерживающего давление воздуха между крылом и экраном и обладающего наименьшим индуктивным сопротивлением. Шатровое крыло имеет собственную устойчивость в широком диапазоне углов тангажа и высот над экраном (рис. 1).

Продольная устойчивость экраноплана, так же как и схемы Р.Е. Алексеева, обеспечивается горизонтальным оперением.

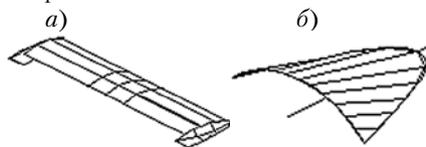


Рис. 1. Прямоугольное крыло с шайбами (а) и шатрообразное крыло (б)

Важной конструктивной и определяющей особенностью экранопланов являются *стартово-посадочные устройства*, обеспечивающие взлет и посадку с водной поверхности.

Различают следующие типы стартово-посадочных устройств: подводные крылья; статическая воздушная подушка; поддув (воздушная подушка проточной схемы); гидролыжные устройства в сочетании с поддувом и колесными шасси.

Наиболее эффективными являются гидролыжные устройства, так как у подводных крыльев появляются аварийные колебания аппарата, обусловленные значительным ростом сил и моментов при пересечении крыльями профиля волны на предотрывных режимах при взлете.

Статическая воздушная подушка энергозатратна, конструктивно неудобна для уборки в полете и не обеспечивает устойчивости и управляемость при разбеге-торможении.

Системы проточного поддува энергетически неэффективны, так как предпо-

лагают использование дополнительной чрезмерной мощности поддувных двигателей, и не в состоянии поддерживать водоизмещающий корпус над гребнями волн и обеспечивать приемлемый уровень мореходности экраноплана при взлете.

Преимущества и отличительные особенности экранопланов:

– высокая топливно-энергетическая эффективность, обусловленная эффектом динамического поддержания, с перспективой дальнейшего увеличения аэродинамического качества до значений 25; 30 и выше, недоступных для современной авиации (16–18);

– уникальная скорость позволяет занять скоростную нишу (от 120 до 700 км/ч), между СВП, СПК и современной авиацией;

– амфибийность, обусловленная статусом водоизмещающего судна (СВП) и свойствами летательного аппарата.

Отсюда вытекает возможность:

– использования нормативно-правовой базы и транспортной инфраструктуры морского транспорта без необходимости применения инфраструктуры и разрешительно-правовой системы авиатранспорта;

– снятие ограничений по габаритам с возможностью значительного увеличения вместимости вплоть до пределов конструктивной прочности корпуса и мощности маршевых двигателей;

– обеспечения низких эксплуатационных затрат, высокой прибыльности, быстрой окупаемости;

– круглогодичной эксплуатации;

– создания комфортных и безопасных условий полета «на экране»;

– обеспечения минимального уровня экологического воздействия на окружающую среду.

ЭКРАНОПЛАНЫ В РОССИИ

В 70–80-е гг. в СССР усилиями нижегородского ЦКБ по СПК под руководством выдающегося советского конструктора-судостроителя, Р. Е. Алексеева были созданы легенды советского экранопланостроения: корабль-макет КМ-1 «Каспийский монстр», транспортно-десантный «Орленок», ударный ракетоносец «Луна», а также семейство сопутствующих экспериментальных

Сравнительные характеристики пассажирских катеров-экранопланов



Характеристика	Катер-экраноплан «Аквэглайд-5» 30А «АТТК»	Катер-экраноплан «Сянчжоу-1», «Wigcraft», КНР	Катер-экраноплан «ЭК-12М», «Иволга», НПК «ТРЭК»	Катер-экраноплан «МПЭ-5.8», «СМТ»	Катер-экраноплан «ЭК-17», «Иволга-2», НПК «ТРЭК»	Катер-амфибия «Буревестник-24», «Небо-Море»
1. Тактико-технические характеристики: габариты, (LxVxH), м вес полный (взлетный), т вместимость, груз. т (экипаж + пасс.) двигатели маршевые: – тип – мощность, л.с. топливо, авиакеросин скорость, км/ч: – крейсерская – максимальная мореходность: – при старте-посадке, – высота волны, м – полет на экране, баллы – полет над экраном, м дальность полета с полной загрузкой, км	10,7x5,9x3,35 2,4 0,3/ (1 + 4) «Mercedes-Бенц» 326 АИ-95 150 210 0,35 III До 1,5 400	12,7x11,0x3,9 2,5 / (1 + 6) АИ-92 140–160 210 1,25 III До 1,5 Нет данных	15,6x13,0x3,7 4,1 1,2/ (2 + 12) «Chevrolet LS-3» 2x430 АИ-92 175 220 1,25 III 4 1500	15,0x8,6x3,4 3,8 1,25/ (1 + 16) «БМБ-S70» 1x507 АИ-92 168 200 1,0–1,5 III–IV Не ограничена 1600	10,7x5,9x3,35 4,75 1,6/ (2 + 16) «Chevrolet LS-3» 2x450 АИ-92 180 220 1,5 III–IV Не ограничена 1380	15,0x16,0 7,0 3,0/ (2 + 1 + 24) «AviaSmart B-VT2K» 2x412 АИ-95 210 250 1,5 III–IV Не ограничена 1200
2. Состояние проекта	Серийный образец	Действующий образец	Серийный выпуск, с опытом эксплуатации	Разработка	Готовность к серийному выпуску	Действующий образец
3. Сертификация	Регистр КНР	Регистр КНР	PMPC	–	–	–
4. Срок поставки, мес.	–	–	9	24	18	Не указан
5. Цена поставки, млн. долл. (FOB порт РФ)	0,56	Нет данных	1,55	1,0	2,1	3,0

Таблица 2

Сравнительные характеристики пассажирских экранопланов



Характеристика	Модификации экранопланов				
	«МПЭ-9.2» «СМТ»	«Сянчжоу-1», «Wingship», «Technology Corp»	«ЭК-30 (39)», «Иволга-3»	«Hoverwing 50», (WSH-500) Корея	«МПЭ-16», «СМТ»
1. Тактико-технические характеристики: габариты, (LxVxH), м вес полный (взлетный), т вместимость, груз. т (экипаж + пасс.) двигатели маршевые: – тип – мощность, л.с. топливо, авиакеросин скорость, км/ч: – крейсерская – максимальная мореходность: – при старте-посадке, – высота волны, м – полет на экране, баллы – полет над экраном, м дальность полета с полной загрузкой, км	19,6x12x4,3 9,2 3,1/ (2 + 32) ТВД ТВ2-117 (РТ6А-68С) 1x1500 (1600) ТС-1 220 250 1,5 IV Не ограничена 1095	23,5x24,1x5,7 10,0 3,5/ (2 + 23) ТВД М601D 2x750 ТС-1 110 190 – – Нет данных 900	24,0x18,0x6,3 9,0 (9,6) 3,2 (4,0)/ (3 + 30/39) ТВД М-601 (РТ6А-68) 2x785 (1400) ТС-1 200 (220) 260 2,0 IV Не ограничена 1950	15,0x8,6x3,4 3,8 1,25/ (1 + 16) ТВД (РТ6А-68) 1x507 ТС-1 175–180 Нет данных 1,0–1,5 III–IV Не ограничена 1600	10,7x5,9x3,35 4,75 1,6/ (2 + 16) ТВД ВК-2500 (ТВ7-117С) 2x450 ТС-1 226 (240) 250 (290) 1,5 III–IV Не ограничена 1380
2. Состояние проекта	Разработка	Экспериментальный образец	Готовность к серийному выпуску	Готовность к серийному выпуску	Разработка
3. Сертификация	–	Регистр Ллойда, тип «А»	–	Регистр Ллойда, тип «А»	–
4. Срок поставки, мес.	30	Нет данных	18	9	30
5. Цена поставки, млн. долл. (FOB порт РФ)	От 3,6	Нет данных	От 5,5	Более 6000	От 6,5

пилотируемых макетов, от СМ-1 до СМ-12 и экранопланы малого водоизмещения: УТ-1, «Стриж», «Волга-2» и др.

В люберецком ОКБС МАП и КБ им. Г.М. Бериева выдающийся советский авиаконструктор итальянского происхождения, Р.Л. Бартини (Роберто Орос ди Бартини) создает проекты МВА-62, СВВП-2500, «Гидролет» ГЛ-1 (Бе-1) и опытный образец вертикально взлетающего экранолета-амфибии ВВА-14 (14М1П). В своей «Теории межконтинентального транспорта Земли» Бартини концептуально доказывает, что наиболее оптимальным транспортным средством на нашей планете будет экраноплан, способный взлетать вертикально и лететь на экране с грузоподъемностью больших судов и самолетной скоростью.

Всего в СССР с 1959 по 1991 г. в разработке и создании экранопланов участвовало 19 профильных проектных организаций, не считая любительских коллективов и конструкторов-одиночек. Было разработано 154 проекта, включая эскизные проекты и технические предложения, построено 60 опытных аппаратов 41 модификации, включая любительские конструкции. Выпущено 6 и заложено в производство 10 серийных образцов экранопланов.

За последние 25 лет, несмотря на прекращение госфинансирования исследований и перспективных разработок, в России были реализованы и испытаны отдельные образцы экранопланов конструкторов-одиночек и малых коллективов единомышленников. В последние годы (с 2010 г.) группа ИПФГ, а также ЦКБ по СПК им. Р.Е. Алексеева все-таки получили госфинансирование в рамках федеральной целевой программы. Под эгидой Минпромторга разработана, но до сих пор так и не утверждена концепция «Развитие экранопланов военного и гражданского назначения в Российской Федерации». Однако пока в нашей стране и в мире летают только экранопланы семейства «Иволга» конструктора В.В. Колганова из ЗАО «НПК «ТРЭК». Существуют также следующие заметные разработки экранопланов:

– «Амфистар» и семейство «Акваглайд», ЗАО «АТТК»;

– НВА-06-10Д наземно-воздушная амфибия В.В. Назарова, недостроенная на авиазаводе в Улан-Удэ;

– РТ-Х «Икар» экспериментальный экраноплан-макет КГТУ им. А.Н. Туполева;

– «Орион-20», он же «Стерх», неудачный новодел «Иволги» группы ИПФГ в Петрозаводске;

– «Буревестник-24» с шестью однотипными прототипами группы «Небо + Море»;

– модельный ряд проекта «Касатка» И. Бирюкова, «Русской экранопланной компании»;

– модельный ряд экранопланов МПЭ базовой схемы Э.В. Васильева, компании «Союзмортранс».

ЗАРУБЕЖНЫЕ ПРОЕКТЫ

Сверхтяжелые проекты, как-то: «Пеликан» Джона Скарупы корпорации «Боинг» в США, а также экранолет Бе-2500 «Нептун», ТАНТК им. Г.М. Бериева в обозримом будущем останутся лишь на бумаге.

Из перспективных проектов интересные могут быть следующие:

– действующие образцы семейства «Airfish» (FS-8), НТВ-2VT и XW-20 германского конструктора Ханно Фишера, последователя А. Липпиша, компаний «Fischer Flugmechanik» и «Airfoil Development GmbH»;

– южнокорейский проект Hoverwing с действующим, сертифицированным в Регистре Ллойда образцом WSH-500 на базе разработок Ханно Фишера, компании «Wingship Technology Corp»;

– первый коммерческий экраноплан Китая «Сянжжоу-1», сертифицированный Китайским классификационным обществом летом 2014 г., компании «Wigcraft» при CSIC 702 на базе долгоиграющего проекта АВ-606 «Angel Bird».

Некоторые характеристики однотипных образцов и разработок экранопланов приведены в табл. 1, 2.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Особенностью экранопланостроения является то, что, несмотря на накопленный десятилетиями научно-технический опыт и инновационные технологические возможности, разработчики упорно пытаются идти по пути развития традиционного авиатранспорта. Вся мощь интеллекта направлена на отработку схем взлета и базирования на воде по аналогии с разбегом по ВПП. В то время как эта проблема, являющаяся ключевой и для гидросамолетов и для экранопланов, предвидел Бартини и предлагал пути ее решения. Для пассажиров продолжительная тряска экраноплана при взлете с взволнованной поверхности создает болезненный и непреодолимый дискомфорт в отличие от быстрого взлета по гладкой бетонке даже при сильном ветре, а динамические нагрузки при взлете с воды для обеспечения конструктивной прочнос-

ти ведут к значительному увеличению взлетного веса, что сводит на нет все энергетические преимущества полета «на экране».

Очевидно, что экранопланам для сохранения их отличительных конкурентных особенностей нужен быстрый короткий взлет на малых скоростях (или вообще без разбега) с оптимизацией сопротивления несущих поверхностей в крейсерском полете. Это позволит увеличить диапазон скоростей полета «на экране» и обеспечит возможность маневрирования на малых (безопасных) скоростях, что особо важно для эксплуатации экранопланов в узкостях, по руслу не всегда прямолинейных магистральных рек и в условиях интенсивного судоходства. Компания «Союзмортранс» во Владивостоке, наряду с другими проектами экранопланостроения, занимается решением данных технических задач.

Научно-технический прогресс остановить невозможно, и совсем уже недалеко время, когда большие и малые экранопланы, скользящие над гладью заливов, станут так же привычны, как самолеты и морские суда. Развитие мировой экономики заставит прогрессивные правительства и дальновидные бизнес-структуры искать новые, более эффективные способы транспортировки грузов и людей на речных, морских и межконтинентальных трассах. Экранопланы уверенно займут свою нишу и будут возить почту, срочные и генеральные грузы, автомобили, контейнеры, топливо и, конечно же, пассажиров. Будут обеспечивать научные исследования, спасательные и силовые операции. Они позволят раздвинуть границы навигации до заполярных широт и увеличат их срок, повысят комфорт, эффективность и безопасность перевозок, снизят экологическую нагрузку на акватории. Дадут жизнь новым специальностям, трудоустроят специалистов с высокой квалификацией. Стимулируют загрузку существующих и строительство новых высокотехнологичных производств, помогут освоить труднодоступные арктические и островные территории.

Так же как и в освоении космоса, первый прорыв в экранопланостроении сделала Россия, которую по праву можно назвать его родиной. Накопленный при этом научно-технический задел обязательно будет востребован. А Приморье как окно России в Азиатско-Тихоокеанский регион должно и обязано подхватить эстафету отечественного экранопланостроения. ■

Решением Президиума Центрального правления Российского научно-технического общества им. акад. А. Н. Крылова был образован инновационный (экспертный) комитет, что зафиксировано протоколом № 4/2011 от 2.11.2011 г.

В состав инновационного комитета вошли руководители 21 специализированной секции и независимые эксперты. Основой их деятельности является поиск, анализ и оценка проектов перед их направлением организациям для оказания финансовой помощи для практической реализации, т. е. потенциальным инвесторам.

Для правового и юридического обеспечения инновационного комитета было разработано Положение о его функционировании. Не секрет, что целью любого инновационного проекта является создание новой, более совершенной научно-технической продукции для судостроения. В настоящее время определена ниша таких проектов. Это в первую очередь создание импортозамещающей и диверсифицированной научно-технической продукции.

Конструкторско-технологические решения, закладываемые в импортозамещающую инновационную продукцию, должны быть комплексными, предметно-замкнутыми и иметь рьяную привлекательность.

Окончательно разработанный инновационный проект на импортозамещающую продукцию должен предусматривать технические и технологические возможности их изготовления в условиях отечественного производства. Изготовление такой продукции не должно предусматривать создание новых средств технологического оснащения (станков, оснастки, приспособлений и инструмента) и больших капитальных вложений.

Создавая импортозамещающую продукцию, необходимо, чтобы она не только не уступала импортным аналогам и прототипам, но и превосходила их по основным техническим характеристикам, а также имела свои существенные от них отличия, исключающие технический плагиат.

Методическое сопровождение по структуре и оформлению инновационных проектов также было разработано и одобрено Президиумом РосНТО. В нем перечислены требования и критерии оценки (для экспертов), а также обозначена техническая и экономическая сущность разделов проекта. Следует отметить, что эти методические рекомендации даны для разработчиков крупных и средних предприятий. Для более мелких предприятий и индивидуальных разработчиков было дополнительно разработана упрощенная структура инновационного проекта.

В методических рекомендациях структурированы основные разделы инновационного проекта, а именно:

- научно-техническое описание проекта,
- краткая тактико-техническая характеристика проекта,
- значимость проекта для судостроения и смежных отраслей промышленного производства,
- экономическая эффективность и срок окупаемости,
- перечень предприятий, гарантирующих и рекомендующих создание данной научно-технической продукции.

Конечно, оглядываясь в прошлое, разрабатываемый проект должен называться инновационно-инвестиционным, так как обычно для полного завершения проекта требуется дополнительное финансирование.

На начальном этапе деятельности инновационного комитета бурного всплеска подачи инновационных проектов не было. С целью устранения этого недостатка от РосНТО на предприятия отрасли были направлены письма с просьбой активизировать свою деятельность по разработке и представлению инновационных проектов, которые должны представ-

ТЕХНИЧЕСКИЕ И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СОЗДАНИЯ ИМПОРТОЗАМЕЩАЮЩИХ И ДИВЕРСИФИКАЦИОННЫХ ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ

Б.А. Горелик, *д-р техн. наук, проф. СПбГМТУ,*
контакт. тел. (812) 713 8405, +7 (905) 287 9612

лять собой не трехмерную модель на мониторе компьютера, а изделие в металле, т. е. материализованную продукцию, инновационную и конкурентоспособную.

Предприятия, способные разрабатывать научно-техническую продукцию, в первую очередь научно-исследовательские, должны свои фундаментальные работы в сжатые сроки переводить в прикладные, а прикладные, в свою очередь, в реальные разработки.

Для этого инновационный проект должен обладать концептуальными свойствами, а именно:

- надежностью в эксплуатации,
- высоким качеством разрабатываемой продукции,
- безопасностью в эксплуатации, при ремонте и утилизации,
- обоснованными технико-экономическими показателями,
- наличием сертификата, патентов, know-how, конкурсных наград и т. д.

Разумеется, в случае необходимости инвестирования проекта для его окончательного завершения необходимо разработать бизнес-план, по которому инвестор сможет выделить дополнительное финансирование. Помимо этого инвестору должны быть представлены рекомендательные гарантийные письма от потенциальных покупателей (заказчиков) инновационной продукции.

Последнее является крайне важным для получения необходимого финансирования, поскольку инвестор должен быть уверен, что разрабатываемая и изготавливаемая продукция будет реализована как товарный продукт. И чем больше таких писем будет у разработчика (изготовителя) инновационной продукции, тем больше шансов получить необходимую сумму финансирования.

В качестве доказательства приведу реальный пример обращения в коммерческую организацию «Фонд предпосевных инвестиций» по финансированию одного из наших инновационных проектов. Эксперты, ознакомившись с представленными материалами, отметили, что проект обладает свойствами импортозамещения и имеет все атрибуты быть использованным в судостроении и смежных отраслях промышленности (т. е. диверсифицирован), но к нему должны быть приложены гарантийные письма, подтверждающие его покупку и использование. В частности, данный инновационный проект касается изделия, которое может быть использовано во всех проектах судов гражданской морской техники, независимо от их класса, водоизмещения и назначения. Для этого основным документом, должны быть решения ОСК, предписывающее указание проектантам о включении этого изделия во все вновь строящиеся проекты гражданских судов, в том числе и в модернизируемые и ремонтируемые. Это указание исключает направление отдельных писем на каждое предприятие (ЦКБ, верфь, судостроительный завод и т. д.), что резко сократит временной путь его внедрения в судостроение.

Следует добавить, что это изделие АО «Адмиралтейские верфи» применило во всех проектах нефтеналивных судов, построенных за последние годы. А это значит, что оно надежно и конкурентоспособно, поскольку вытеснило с рынка английские изделия фирмы: английскую «Виккинг-Джон-

сон», швейцарской фирмы «Штрауб», что подтверждено документально.

К этому следует добавить, что и цена отечественных изделий на порядок ниже, чем импортных.

В данном конкретном случае готова помочь организация, которая может выделить необходимое финансирование для организации участка (цеха) по производству этих изделий для судостроения.

Как один из способов поиска импортозамещающей продукции должны стать полки (верхние) технических архивов НИИ, где пылятся незавершенные разработки и невнедренные в широком масштабе в промышленное производство из-за недостатка в свое время финансирования для изготовления по этой технической документации серийной продукции.

Это не отменяет выполнения других работ по совершенствованию и доведению до высокого уровня конкурентоспособности при минимальных затратах энерго- и материальных ресурсов, планируемых или находящихся в разработке изделий.

Помимо этого не отменяется создание принципиально новых видов продукции, основанной на использовании последних достижений науки и техники.

На сегодня в инновационный комитет поступило и находятся на стадии переговорных процессов с инвесторами три проекта:

- роторный двигатель внутреннего сгорания;
- бесшварной гибкий судовой трубопровод с использованием компенсирующих патрубков и соединений;
- судовое свехпроводниковое электрооборудование с ис-

пользованием наноматериалов.

На стадии рассмотрения находятся два проекта:

- подводный туристский велосипед;
 - новые технологии и техника в арктическом судостроении.
- На стадии заявки на рассмотрение находится проект новой бесшварной судовой арматуры.

Естественно, в сегодняшних тяжелых финансовых условиях ожидать бурного притока инновационных проектов не приходится. Однако при активной поддержке руководителей предприятий судостроения и особенно «ОСК» разработка инновационных проектов и их инвестирование могут активизироваться. При этом специалисты-эксперты инновационного комитета РосНТО окажут существенную помощь разработчикам в поиске инвесторов.

В наших журналах часто мелькают статьи о разработке инновационных проектов, но почему-то до нас они не доходят. Или они обеспечены финансированием, или предназначены только для опубликования. Так, например, в журнале «Судостроение» № 5 за 2013 г. опубликована статья В. А. Сорокина (ЦНИИМФ) «Инновации в судовом дизелестроении», но в инновационный комитет при РосНТО ни одного инновационного проекта не поступало.

В заключение хотелось бы еще раз обратить внимание руководителей предприятий судостроения на необходимость оказания действенной помощи в усилении активности при разработке инновационных проектов. Помощь в их продвижении могут оказать специалисты РосНТО им. акад. А.Н. Крылова. ■

В статье, опубликованной в № 3 (51) в сентябре 2014 г., мы познакомили читателей журнала с диагностикой кабельных изделий с резиновой изоляцией для определения возможности их дальнейшей эксплуатации. На кораблях иностранной постройки, находящихся в составе ВМФ РФ, основной объем кабельных изделий – это кабели с ПВХ изоляцией. Их доля в общем объеме кабелей может достигать 90%. Освидетельствование кабелей с ПВХ и пластиковой изоляцией проводилось с помощью методов дифференциальной сканирующей микрокалориметрии и инфракрасной спектроскопии в лабораторных условиях. Образцы для исследования отбирались на корабле параллельно с выполнением работ по диагностике кабельных изделий с помощью кабельного индентора.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОСТОЯНИЯ КАБЕЛЬНЫХ ИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДОМ ИНФРАКРАСНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

Измерения спектральных характеристик оболочек кабелей проводились ИК Фурье спектрометром «Avatar-360 FT-IR» на микрообразцах, срезанных с оболочки/изоляции представительных кабелей, эксплуатируемых на корабле.

Для съемки спектра использовались микросрезы с линейными размерами 0,5–2 мм и толщиной более 20 мкм. Данный метод позволяет контролировать состояние кабеля, практически не разрушая его. Принцип получения ИК спектра на отражение состоит в том, что ИК луч, отражаясь от поверхности образца, частично поглощается в нем.

Одним из показателей старения ПВХ пластиката является концентрация пластификатора в нем. Количественный анализ ИК спектров микрообразцов с оболочки и изоляции кабелей, изготовленных на основе ПВХ, позволяет определить концентрацию пластификатора в них.

Типичный спектр ПВХ оболочки кабеля представлен на рис. 1.

МЕТОДЫ ОСВИДЕТЕЛЬСТВОВАНИЯ КАБЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ С ЦЕЛЬЮ ПРОДЛЕНИЯ СРОКА ИХ СЛУЖБЫ НА КОРАБЛЯХ И СУДАХ ВМФ

О.А. Бельский, начальник отдела ОАО «51-й ЦКТИС»,
контакт. тел. (812) 314 7718

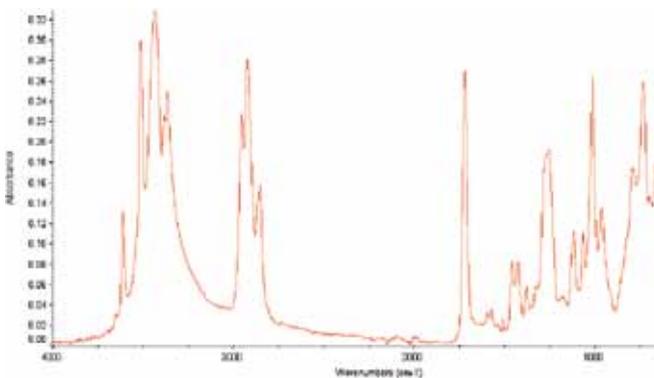


Рис. 1. Инфракрасный спектр оболочечного ПВХ пластиката марки НГП40-32

Тепловое старение ПВХ пластиката в условиях эксплуатации на корабле определяется десорбцией пластификатора (уменьшение его концентрации в поверхностном слое изолятора по сравнению с первоначальным значением). Распространенные в России пластификаторы представляют собой сложные эфиры карбоновых кислот, что дает возможность по оптической плотности пика на длине волны 1720 см⁻¹, т.е. по интенсивности полосы валентных колебаний карбонилла (рис. 2) либо по интенсивности полосы первого его обертона 3450 см⁻¹ определять концентрацию пластификатора в образ-

це. Корреляционная зависимость (теория и экспериментальные точки) между оптической плотностью пика 1720 см⁻¹ и концентрацией пластификатора представлена на рис. 3 (пунктирные линии обозначают коридоры для ошибок).

Существует граничное значение интегрального поглощения, превышение которого означает недопустимую степень деструкции полимерных цепей. Наличие подобной границы позволяет также контролировать степень старения ПВХ материалов по деструкции полимерных цепей. Кроме этого показателя, степень деструкции полимерных цепей можно контролировать, как видно из рис. 3, по полосе поглощения 1650 см⁻¹, соответствующей двойной (сопряженной) углеродной связи С=С.

Таким образом, использование ИК спектроскопии позволяет эффективно контролировать два основных процесса старения ПВХ пластиката: десорбцию пластификатора и деструкцию полимерных цепей.

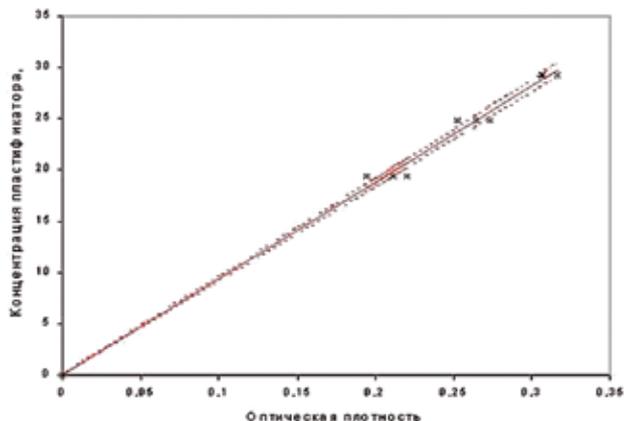


Рис. 3. Корреляционная зависимость между оптической плотностью пика 1720 см⁻¹ и концентрацией пластификатора

Критическое значение концентрации пластификатора в ПВХ образцах составляет 13%, а интенсивности сопряженных связей – 0,08. Начальное значение концентрации пластификатора в оболочках промышленных кабелей составляет 24–42% в зависимости от марки и рецептуры пластиката, а интенсивности сопряженных связей – 0,005.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОСТОЯНИЯ ПОЛИЭТИЛЕНОВЫХ ИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДОМ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНО СКАНИРУЮЩЕЙ МИКРОКАЛОМЕТРИИ

Для определения показателей старения использовали метод дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК). Определяли температуру начала окисления (ТНО) при нагреве микрообразца изоляции в ячейке прибора ДСК.

Для измерения ТНО использовали дифференциальный сканирующий калориметр LABSYS фирмы «Сетарам», Франция. При измерении ТНО микрообразец полимера весом несколько миллиграмм помещают в ячейку прибора и нагревают при постоянной температуре в атмосфере кислорода до тех пор, пока антиоксидант полностью не используется. Этот мо-

мент хорошо регистрируется по пику, который соответствует экзотермической реакции (рис. 4). Погрешность измерения ТНО не превышает ±1°С.

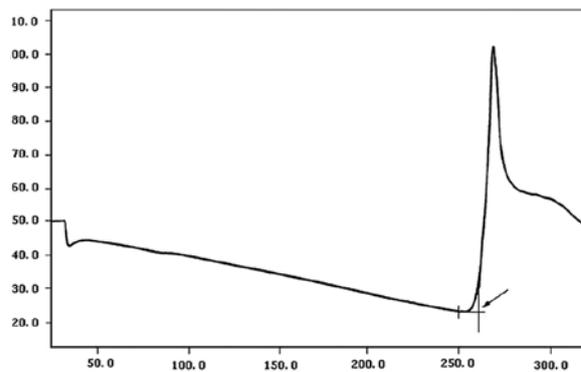


Рис. 4. Термограмма ДСК при определении температуры начала окисления

Для оценки остаточного срока службы при многофакторном старении по ТНО, используют формул:

$$\tau_{\text{ост}} = \tau_{\text{д}} \cdot \frac{\text{ТНО(д)} - \text{ТНО(кр)}}{\text{ТНО(ис)} - \text{ТНО(д)}} \cdot \frac{\text{ТНО(ис)} + 273}{\text{ТНО(кр)} + 273}, \text{ число лет}$$

где $\tau_{\text{д}}$ – срок службы кабеля на момент диагностирования; ТНО(д), ТНО(кр) и ТНО(ис) – диагностируемая, критическая (предельная) и исходная (для несостаренного образца) температуры начала окисления для данного изоляционного полимера; ТНО(кр) и ТНО(ис) измеряются заранее в лаборатории для каждой марки изоляционного полимера. Как правило, скорость подъема температуры в ячейке ДСК составляет 10 град./мин. при определении ТНО.

Эти методы исследования – основные для принятия решения о возможности дальнейшей эксплуатации кабельных изделий на корабле. Они не новы, давно известны, но в судоремонте были применены впервые.

С 2009 г. по настоящее время под наблюдением ОАО «51-й ЦКТИС» было проведено еще несколько освидетельствований кабельных изделий на кораблях и судах ВМФ, обобщив результаты которых можно сделать выводы:

1. Использование методов неразрушающего контроля с прогнозом технического состояния кабелей, условий, при которых возможна их дальнейшая эксплуатация, позволяет значительно снизить трудоемкость и стоимость работ. Так, для боевых кораблей 1 ранга экономический эффект, выраженный в стоимости работ, составил 200–250%, т.е. стоимость работ по дефектации и ремонту кабельных изделий на корабле была снижена в 2–2,5 раза. На этот же порядок уменьшилась трудоемкость, следовательно, и время выполнения работ.

2. Кабели всех типов изготавливаются в соответствии с требованиями ГОСТ 7866.1–76 – ГОСТ 7866.1–76. Кабели судовые способны находиться в эксплуатации до 30 лет, что соответствует современным требованиям, предъявляемым для кораблей ВМФ России. Исключение составляют кабели с резиновой, ПВХ и пластиковой изоляцией сечением менее 15 мм. Опыт эксплуатации показал, что изоляция кабелей небольшого сечения наиболее подвержена старению. В большей степени это характерно для кабелей, использующихся в сетях освещения, электрических сетях бытового назначения и кабельных сетях, проходящих по верхней палубе.

3. Увеличение сроков службы боевых кораблей до 50 лет – это тенденция кораблестроения. Такие же требования предъявляются и к составным частям и комплектующим изделиям. И если корабельное вооружение, будет проходить одну или две модернизации, то магистральные кабели основной силовой сети должны обеспечить весь срок службы корабля. Это предъявляет новые требования к изоляционным материалам и к методам их диагностики в процессе эксплуатации. ■

Наиболее устойчивой тенденцией развития реального сектора российской экономики за последние 30 лет можно считать отсутствие существенного продвижения предприятий в направлении повышения эффективности производства и конкурентоспособности. Это в значительной степени относится и к конечным финансовым результатам их деятельности. Прошел достаточный срок для осознания несостоятельности надежд на «невидимую руку рынка», которая сумеет обеспечить экономический рост и развитие хозяйствующих субъектов. На смену иллюзиям пришло осознание того, что процесс повышения эффективности деятельности и конкурентоспособности нужно управлять.

Жизненные реалии рассеяли и другую иллюзию, оказалось, что прямое заимствование зарубежных приемов и методов финансового управления не дает в условиях современной России должного эффекта. Это связано с несовершенством банковской системы и фондовых рынков, слабостью институционального развития и прочими причинами.

Оказались нерезультативными и попытки решить проблему за счет инвестиций в техническое перевооружение предприятий, они лишь выявили главную причину низкого уровня конкурентоспособности российской промышленности – неспособность системы управления эффективно преобразовывать инвестиции в технические и тем более в организационные и управленческие инновации как орудия повышения конкурентоспособности, в частности, за счет сокращения финансового и производственного циклов.

Наиболее отчетливо эта ситуация, сложившаяся вследствие перехода от плановой к рыночной экономике, проявляется в отсутствии четкой целевой установки и нарушении преемственности целевых функций разных уровней управления.

В условиях плановой экономики целевые функции управления на всех уровнях выльвались в обязанности наращивать объем производства и стремления привлечь для этого максимальный объем ресурсов. В этих условиях финансовые службы занимали позиции чисто ресурсных подразделений, функции которых заключались в удовлетворении постоянно растущих потребностей в денежных средствах. Скачкообразный переход к рынку кардинально изменил целевую функцию высшего менеджмента. Целью компании, в особенности работающей в условиях стабильного рынка и устойчивой номенклатуры продукции, стало достижение и сохранение конкурентоспособности за счет минимизации издержек. Однако на внутрифирменном уровне целью подразделений по-прежнему является максимизация затрат на выпуск заданного количества продукции. Налицо разрыв дерева целей. Попытки преодолеть его путем волевого ограничения затрат, как правило, дают обратный эффект.

Таким образом, оборотный капитал как залог мобильности, ликвидности и платежеспособности предприятия должен быть объектом постоянного управления. При недостаточности оборотного капитала предприятия будет испытывать нехватку денежных средств, что может привести к простоям производства, а также снижению ликвидности предприятия. При излишнем объеме оборотного капитала компания сталкивается с замедлением оборачиваемости средств и, как следствие, снижением выручки. Поэтому так важно правильно определить оптимальный объем оборотных средств.

Управление финансовым циклом нацелено на оптимизацию реального объема оборотного капитала, а не учетного, так как они основаны на взаимосвязи и взаимозависимости финансового и материального потоков.

При в разработке схем взаимодействия потоков денежных средств от операционной, инвестиционной и финансовой де-

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИНАНСОВОГО ЦИКЛА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ И КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ

А.В. Иванкович, канд. экон. наук, начальник бюро финансового контроля, планирования и анализа АО «Адмиралтейские верфи», контакт. тел. +7 (921) 377 0968

ятельности необходимо помнить, что они не всегда совпадают во времени, что является важным моментом при прогнозировании потребности в оборотном капитале. Кроме того, следует учитывать не только время и динамику, но и качество взаимодействия потоков. Данный элемент оперативного управления оборотным капиталом. В настоящее время в финансовом менеджменте экономико-математическое моделирование еще не стало обязательным инструментом управления предприятием. Как правило, при построении управленческого учета и анализе финансовой деятельности менеджеры ограничиваются построением денежных потоков, что, безусловно, является недостаточной мерой, так как при этом не учитывается влияние широкого круга факторов, воздействующих на предприятие. Финансовое моделирование особенно актуально в настоящее время при сокращении доступности и увеличении стоимости внешнего финансирования, повышении риска потери ликвидности и устойчивости компании.

Финансовое моделирование становится особенно эффективным при решении следующих задач, которые предполагают наличие накопленного опыта и разработанной методической основы: прогнозирование денежных потоков компании и динамики ее финансового состояния; оптимизация объемов и структуры финансирования; оценка и пересмотр инвестиционной программы; оценка рисков и управление ими; финансовые расчеты бизнес-плана; моделирование и оценка различных сценариев дальнейшего развития бизнеса (в том числе слияния и поглощения); постановка регулярного бюджетирования.

Управление финансовым циклом – одно из ключевых направлений финансового менеджмента предприятия. Ускорение оборачиваемости капитала и обеспечение постоянной платежеспособности, рентабельности и других результатов финансовой деятельности компании требуют обособленного управления оборотными средствами компании.

Проведенные рядом отраслевых институтов судостроения исследования в области конкурентоспособности отечественного судостроения убедительно показали, что одним из наиболее слабых звеньев обеспечения их конкурентоспособности является длительность операционного и финансового циклов в отрасли. Это связано как с некоторым отставанием непосредственно в технологиях судостроения, так и с наличием определенных резервов сокращения финансового цикла, которые находятся в сфере полномочий финансового менеджмента в отрасли, что и обуславливает актуальность исследования, направленного на решение проблем повышения эффективности управления финансовым циклом в судостроении.

Сегодня судостроение пребывает в состоянии выживания кардинально ослабленной остаточной системы, отличающейся, однако, относительной внутренней стабильностью и относительной устойчивостью к внешним воздействиям. Исходом транскризисного состояния может быть либо эволюционное развитие, либо столь же медленное, переходящее в необратимую стадию угасание.

В период кризиса отрасль утратила:

- систему управления, связывающую отрасль в единый концерн;
- производственные мощности; в целом располагаемые мощности отрасли можно оценить в 65% от мощности докризисного состояния;
- квалифицированный персонал: численность работающих на верфях составляет около 30% от численности до кризиса, ухудшилась функциональная структура кадров (доля основных производственных рабочих снизилась с 45–48% до 35–39%), квалификационная и, в особенности, возрастная структура;

Помимо этого, деградировал научно-технический потенциал; доля наукоемкой оборонной продукции в портфелях оставшихся верфей, сокращение объема НИОКР привели к тому, что практически прекратились разработки новых образцов морской техники и, соответственно, выросла доля импортируемого комплектующего оборудования;

Также не растет эффективность производства; производительность труда с 1990 г. не выросла и остается на уровне 90–120 чел.-ч на компенсированную брутто-регистрационную тонну (CGT), в то время как на верфях Восточной Европы за эти годы она снизилась до 50–60 чел.-ч; длительность цикла постройки даже выросла в 1,2–1,3 раза. Отчасти следствием этих негативных явлений, а отчасти их причиной стала эволюция портфеля заказов отечественного судостроения.

В то же время в России до сих пор не преодолена тенденция рассматривать бизнес-процессы как конкуренцию судов на рынке, что приводит к преувеличенному вниманию к техническому совершенству самого судна, что неправомерно для 96% строящихся транспортных судов и недооценке ресурсных аспектов конкурентоспособности верфи.

Тем парадоксальнее, что внутризаводские факторы конкурентоспособности, охватывающие порядка 60% резервов ее роста, до настоящего времени остаются вне сферы влияния финансового менеджмента. Службы технической подготовки и оперативного управления основным производством, линейный аппарат, которые занимаются ресурсной эффективностью производства, не отвечают за конечный финансовый результат; более того, их корпоративный интерес состоит в получении максимального количества ресурсов и в удлинении цикла постройки судна.

Преодолеть противоречие между необходимостью достижения должной ресурсной эффективности судостроительного производства как основного резерва его конкурентоспособности, с одной стороны, и остающимися неизменными затратными принципами внутризаводского управления, с другой, возможно только путем применения методов финансового менеджмента к оперативному управлению производственным блоком предприятия, а конкретнее – постройкой судового заказа.

Промышленная стратегия должна быть направлена на поддержание и развитие конкурентоспособности предприятий. Все конкурентные преимущества фирмы должны создать сами, а для этого необходимо измениться самим. Есть два пути – строить здания, сооружения, приобретать оборудование, не меняя методов управления и мотивации персонала (это путь гибельный) либо сначала сделать фирму гибкой, адаптивной, способной меняться и развиваться, а затем уже обратиться к чисто технологическим проблемам.

Иными словами предприятие вынуждено ставить финансовые цели и управлять их достижением финансовыми методами. Современный же финансовый менеджмент заводского уровня не поднимается выше уровня одной из функций ресурсообеспечения. Вследствие этого он не может служить отвечающим инструментом на нисходящем канале управления. Возникает проблема расширения функций финансового менеджмента от управления финансами к финансовому уп-

равлению всеми аспектами деятельности и в первую очередь блоком основного производства.

Специфическим следствием мирового экономического кризиса в Российской Федерации стало повышение банковского процента и темпа реальной инфляции. Вследствие этого коэффициент наращивания терминальных (итоговых) затрат достиг 0,30 в год. Для сборочной отрасли с длительным производственным циклом это означает, что затраты на обслуживание кредита превышают затраты на оплату труда почти в 2 раза. Это выдвигает задачу рационализации финансового цикла на первое место среди всех факторов конкурентоспособности судостроения.

Процесс динамики затрат в процессе постройки судна с точки зрения финансиста – стохастический, и связи факторов могут быть лишь корреляционными. Поэтому авторегрессионные модели здесь используются главным образом для анализа временных рядов и применяются почти исключительно для экстраполяционного прогнозирования при наличии достаточно большого числа членов ряда. Например, таким методом довольно точно можно прогнозировать динамику предстоящих затрат при технической готовности судна 80%, но нереально достичь такого результата при готовности 20%.

Не случайно для характеристики адекватности уравнения авторегрессионной зависимости в практике финансового менеджмента обычно используют величину среднего относительного линейного отклонения:

$$\varepsilon = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \frac{Y_t - \tilde{Y}_t}{Y_t} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где \tilde{Y}_t – расчетная величина показателя \tilde{Y} в момент времени t ; Y_t – фактическая величина показателя Y ; T – продолжительность цикла постройки судна.

Однако для целей планирования (бюджетирования) такую точность следует признать недостаточной. Поэтому аппроксимирующую функцию, как правило, стремятся выбрать по критерию близости расчетных значений к фактическим.

Следовательно, продвижение в области математического моделирования финансовых процессов в судостроении может быть достигнуто, если начать с установления параметров, которые должны управляться методами финансового менеджмента. На основе обобщения работ этого направления и опроса экспертов автор приходит к выводу, что таких параметров можно выделить, по меньшей мере, четыре:

- составляющие себестоимости судна, контролируемые производственным блоком предприятия на протяжении производственного цикла (фонд оплаты труда и переменная часть накладных расходов);
- продолжительность собственно производственного цикла;
- величина незавершенного производства;
- объем производственных запасов.

Кроме того, желательно хотя бы косвенно учитывать пятый параметр – характер (качество) организации производственного процесса: соотношение между параллельным или последовательным сочетанием частных производственных процессов и операций. Расчетным же параметром должны выступать чистые терминальные затраты.

Начав выбор моделирующей функции с анализа статистических временных рядов нарастания затрат на постройку судов, нельзя не обратить внимание на их принципиальную, качественную идентичность. Графическое изображение такого ряда представляет собой кривую (точнее, ломаную) линию S-образного характера, проходящую через 0 в начале координат (т.е. при начале постройки судна и через точку полной себестоимости в конце).

Характер кривых одинаков для судов и кораблей всех классов и назначений и отличается только некоторыми количественными характеристиками.

Усредненная структура себестоимости продукции судостроительной отрасли выглядит следующим образом:

- материалы – 20%;
- оборудование – 40%;
- фонд оплаты труда производственных рабочих – 10%;
- накладные расходы – 30%.

Из данной структуры видно, что существуют резервы повышения эффективности, на которые может оказать воздействие инструментарий финансового менеджмента. Данные резервы можно разделить на две группы: цикловые и затратные.

Резервы первой группы заключаются в возможности сокращения объема финансовых средств, связанных в запасах и незавершенном производстве за счет уменьшения продолжительности цикла постройки судна. Для расчета выбраны два характерных цикла для российских верфей (минимальный и максимальный) и три для зарубежных верфей (минимальный, средний и максимальный). Характер распределения затрат по статьям себестоимости принят по приведенным выше данным, а приведение циклов к сопоставимому виду выполнено по следующей формуле:

$$\tau_p = \tau_e \times \psi, \quad (2)$$

где τ_p – продолжительность цикла постройки судна, измеряемая от начала обработки металла до сдачи судна; τ_e – продолжительность цикла постройки судна, измеряемая от закладки до сдачи судна; ψ – расчетный поправочный коэффициент.

Введение поправочного коэффициента ψ обусловлено тем, что в статистике зарубежного судостроения приводится исключительно продолжительность постройки от закладки судна на стапеле до его сдачи заказчику; в то время как целесообразно оперировать полной продолжительностью производственного цикла от начала обработки до сдачи судна. Величина коэффициента ψ рассчитана по данным отечественных верфей по формуле

$$\psi = \frac{T_c + T_d}{T_o + T_c + T_d} \quad (3)$$

где T_o – продолжительность доставельного периода (обработка, узловая и секционная сборка); T_c – продолжительность стапельного периода; T_d – продолжительность достройки на плаву, испытаний и сдачи судна.

Ориентировочный расчет резервов снижения терминальной себестоимости основан на сравнении параметров финансового цикла постройки судна – представителя на отечественных и зарубежных верфях в предположении, что могут достигаться различные рубежи, соответствующие лучшим характеристикам цикла лучших, средних и худших (но еще сохраняющих конкурентоспособность) верфей.

Эталоны для сравнения выбраны из следующих соображений: максимальный цикл соответствует низшему пределу конкурентоспособности верфи, при котором она еще удерживается на рынке (хотя в ряде случаев и за счет государственной поддержки); средний цикл формирует уровень цен и, что немаловажно, достигается, как правило, в результате завершения этапа малобюджетных инноваций. Наконец, максимальная величина резерва сможет послужить ориентиром при подготовке решений о крупных инвестициях в верфь.

Таким образом, реально оценивать величину циклового резерва, доступного для финансового менеджмента, в 4–6% от себестоимости судна.

Поскольку мобилизация циклового резерва сводится к сокращению объема средств, связанных в незавершенном производстве, то нельзя ли обойтись самым простым в методическом отношении подходом – нормировать среднюю величину НЗП (в денежном выражении) и строить систему стимулирования на поощрениях и штрафных санкциях за отклонение от нее. Один аспект отраслевой специфики препятствует этому. Малая серийность и неравномерность динамики затрат по отдельным видам работ порождает неравномерность загрузки предприятия.

Таким образом, возможны два алгоритма оценки. При сохранении объема производства в натуральном выраже-

нии (тоннажа сдаваемых судов) экономия возникает лишь за счет сокращения численности производственных рабочих и расхода фонда оплаты труда, соответственно на 2,5% и 5,0% себестоимости судна, с учетом экономии на налогах и сборах эти цифры могут вырасти до 4,0–6,0%. Но в современных условиях, когда численность рабочих является основным лимитирующим фактором экономического потенциала верфи, целесообразно вести расчет через эффект уменьшения потерь недогрузки производственных мощностей верфей. Поскольку избыточные производственные мощности любой российской верфи вполне позволяют строить в 3–4 раза больше судов, следует считать, что с достижением первого из рубежей (75 чел.-ч/CGT) доля накладных расходов сократится до 22,5% себестоимости судна (выигрыш +7,5%), а при достижении второго рубежа – 50 чел.-ч/CGT – до 15% (выигрыш +15%).

Таким образом, потенциальный выигрыш от проведения программы организационных управленческих усовершенствований как основы малобюджетных инноваций можно оценить в 12–16% себестоимости судна.

Эту оценку можно считать даже заниженной, так как в ней не учтены возможности снижения объема запасов, сокращения аппарата управления за счет использования методов финансового менеджмента, оптимизации активов и т.д. – с их учетом оценки можно выиграть до 20%.

Проведенный анализ показывает, что сокращение производственного и, как следствие, финансового циклов – самый большой резерв конкурентоспособности отечественных верфей. Следует иметь в виду, что все поле ценовой конкуренции не превышает 40% себестоимости судна, так как 60% ее составляют стоимость материалов и оборудования, которая, хотя бы теоретически, одинакова для всех участников рынка. Все же мыслимые субсидии, льготы, гарантии и иные меры государственной поддержки судостроения меньше влияют на конкурентоспособность, чем ресурсная эффективность производства.

Утверждение о том, что ключом к использованию столь крупных резервов эффективности является экспансия финансового менеджмента в сферу внутризаводского и даже внутрипроизводственного управления, аргументируется и фактом полного сохранения затратной экономики во внутризаводских взаимоотношениях.

Парадоксальную ситуацию, когда верфь – в рынке, цехи – в плановом хозяйстве, как показал опыт постперестроечного периода невозможно разрушить ни административными, ни техническими мерами. Необходима коренная реформа экономических взаимоотношений.

Разность в 15–20% себестоимости (без учета субсидий, протекционистских мер и т.п.) достаточно велика, чтобы:

- подтвердить важность переноса на предстоящий период центра тяжести усилий финансового менеджмента на внутрифирменный уровень;
- оценить потенциальные возможности влияния на снижение себестоимости судов и длительности производственного и финансового циклов на российских верфях, что достаточно для вывода их продукции в зону конкурентоспособности;
- придать проблеме сокращения производственного и финансового циклов на оперативном уровне приоритетное значение среди направлений повышения эффективности и конкурентоспособности российского судостроения.

Таким образом, как объект разработок и практической реализации продвижение финансового менеджмента на внутризаводской уровень заслуживает приоритетного статуса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Александров В.Л., Перельгин А.В., Соколов В.Ф. Судостроительное предприятие в условиях рынка: проблемы адаптации и развития. – СПб.: Судостроение, 2003.
2. Perridon L., Steiner M. Finanzwirtschaft der Unternehmung. – Muenchen 2004. ■

Ленинградский судостроительный завод «Пелла», расположенный на левом берегу р.Нева, в г. Отрадное, традиционно занимает устойчивое положение на рынке судостроения в сегменте современных буксиров-спасателей и других многофункциональных морских судов технического флота. Завод строит также лоцманские, служебно-разъездные и специальные катера из алюминия и композитных материалов.

В течение последних десяти лет «Пелла» ежегодно расширяет линейку судов и увеличивает объемы их выпуска. Доля инновационной продукции составляет не менее 40% в год. Новые виды продукции «Пеллы» появляются в результате тщательного изучения специалистами завода передового опыта мирового судостроения и сотрудничества с ведущими НИИ и КБ страны.

На своей основной территории площадью 13 га завод «Пелла» может строить суда длиной до 50 м с осадкой не более 4,5 м (из-за Ивановских порогов в этом районе р.Нева). Здесь за последние шесть лет завод построил около 50 современных высокотехнологичных и маневренных морских буксиров (длиной до 45 м, осадкой до 4 м, с тягой на гаке от 20 до 80 т) и многофункциональных судов для обслуживания морских портов, соединений судов и кораблей. За счет ежегодной реконструкции и дооснащения действующих цехов и модернизации судоспускowego сооружения объем выпуска этих судов составляет теперь 10–12 ед. в год.

В целях расширения номенклатуры основной судостроительной продукции в 2012–2015 гг. завод «Пелла» на собственные средства реализовал инвестиционный проект «Строительство нового судостроительного комплекса в Ленинградской области» с общим объемом внебюджетных инвестиций 3,5 млрд. руб.

На мощностях нового комплекса завод организует специализированное производство современных морских судов длиной до 110 м, шириной до 26 м и осадкой до 6 м для обновления российского технического и рыбопромысло-

«ПЕЛЛА»: ВКЛАД В ИННОВАЦИОННОЕ РАЗВИТИЕ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

*И.Л. Вайсман, зам. ген. директора по развитию ОАО «Пелла»,
контакт. тел. (812) 336 4066*



Новый судостроительный комплекс ОАО «Пелла»

вого флота, а также строительство высокотехнологичных судов специально назначения по заказам федеральных ведомств – научно-исследовательских, гидрографических и т.п.

Данный системный инвестиционный проект был одобрен 14 ноября 2013 г. на заседании Наблюдательного Совета АНО «Агентство стратегических инициатив по продвижению новых проектов» под председательством Президента РФ. Реализация проекта направлена на ускорение социально-экономического развития региона, так как позволила привлечь значительные внебюджетные инвестиции на создание свыше 1000 новых рабочих мест, значительно увеличить годовой объем промышленного производства в регионе современных морских судов – с учетом мощностей нового комплекса он возрастет на 10 млрд. руб. и составит не менее 18 млрд. руб. в год.

Новая площадка позволит строить ежегодно дополнительно по 8–10 морских судов длиной до 110 м, с осадкой до 6 м (здесь на р.Нева уже нет порогов).

Строительство всех основных объектов нового комплекса и благоустройство территории площадью 20 га, выделенной региональными властями в 3,5 км от существующей площадки, практически завершено. На мощностях нового комплекса уже построены, спущены на воду и в настоящее время достраиваются 6 ед. новых морских судов, четыре из которых – это буксиры-спасатели арктического класса. Теперь наиболее перспективным для завода является дальнейшее совершенствование и развитие линейки мощных судов технического и рыбопромыслового флота арктического класса для обеспечения устойчивого функционирования Северного морского пути, обустройства новых портов на севере и освоения недоиспользуемых водных биоресурсов Арктики, Дальнего Востока и Мирового океана.

В 2015 г. первое современное научно-промысловое ресурсосберегающее судно ярусного лова, построенное «Пеллой» в рамках данного системного инвестиционного проекта, должно выйти в Барен-



Спуск буксира-спасателя СБ-736 пр. ПС-45



Буксиры-спасатели пр. ПС-45

цево море для проведения промысловых испытаний и программы исследований биоресурсов донных рыб в этом регионе.

Завод «Пелла» уделяет особое внимание обеспечению высокого технического уровня, в том числе внедрению автоматизированных систем управления на всех строящихся судах. Весь типоряд строящихся морских судов конкурентоспособен на мировом уровне по цене, качеству и сроку изготовления (от 14 до 18 мес.). Завод дает гарантию на пять лет по каждому построенному судну, осуществляет сервисное обслуживание своей продукции. Отсюда – доверие заказчиков и, как следствие, дальнейшее развитие предприятия. Каждый год объем продукции завода в натуральном и стоимостном выражении растет не менее чем на 15%.

На заводе имеется служба гарантийного обслуживания. Сейчас ведется работа по открытию филиалов гарантийного обслуживания непосредственно в четырех основных морских регионах России.

У предприятия есть собственное конструкторское бюро, которое разрабатывает рабочую документацию и ведет авторский надзор по всем проектам. При разработке концептуальных проектов новых современных высокотехнологичных судов завод поддерживает многолетние и тесные связи с рядом ведущих мировых и отечественных конструкторских бюро, взаимодействует с отраслевыми НИИ (в том числе ФГУП

«Крыловский государственный научный центр», ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбной отрасли») (ВНИРО) и др.

Завод «Пелла» наладил долгосрочные партнерские отношения с зарубежными и отечественными поставщиками качественных судовых комплектующих изделий. Отечественные поставщики в последнее время предпринимают дополнительные усилия, чтобы в ближайшие годы в рамках импортозамещения расширить номенклатуру своих изделий с достижением конкурентоспособного уровня по цене и моторесурсу поставляемого оборудования, в том числе за счет закупки и освоения лицензий на современную технику (по аналогии с автотранспортом).

Для своевременной подготовки кадров ОАО «Пелла» взаимодействует с профессиональными училищами, колледжами и вузами. На обучение, подготовку и переподготовку рабочих и специалистов ежегодно выделяются необходимые средства. Реализуется программа по выделению жилья в заводских гостиницах-общежитиях, начата программа строительства семейного жилья – квартир для работников завода.

Необходимо особо отметить, что системный инвестиционный проект создания нового судостроительного комплекса для постройки современных морских судов поддержал губернатор Ленинградской области, с правительством области заводом «Пелла» заключен договор о

его поддержке, проект одобрен и поддерживается АНО «Агентство стратегических инициатив по продвижению новых проектов» (АСИ, г. Москва) и его представительством в регионе. При непосредственном участии высококвалифицированных специалистов АСИ (направление «Новый бизнес») были доработаны бизнес-план и финансовая модель проекта, проведены рабочая и квалификационная экспертизы, получены мнения о проекте от профильных министерств и ведомств. АСИ организовало специальные совещания в Москве и в регионе – рабочие встречи с представителями Росрыболовства, Минпромторга, Минфина, Минэкономразвития, «Ленэнерго», ряда рыбопромышленных компаний.

Совместно с инициатором проекта – заводом «Пелла», его партнером – рыбопромышленной компанией ООО «Персей» и отраслевыми институтами АСИ разработало конкретные меры по преодолению административных барьеров и принимает активное участие в решении наиболее проблемных вопросов, возникающих в процессе работы.

Реализация заводом «Пелла» данного системного проекта подтверждает возможность без дополнительной нагрузки на федеральный бюджет решать важнейшие задачи инновационного развития промышленности, безусловно, при тесном взаимодействии с соответствующими ведомствами и организациями. ■

ПРИНЦИПЫ СОЗДАНИЯ ИНФРАКРАСНОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ

В последнее время крупные иностранные фирмы, выпускающие лакокрасочную продукцию в разных частях света, для гарантирования качества производимых материалов и защиты их от подделок вводят систему инфракрасной идентификации (ИКИ) [1].

Одним из современных методов идентификации лакокрасочных материалов (ЛКМ) является использование ИК-спектроскопии (ИКС) с преобразованием Фурье [2]. По этому методу устанавливаются тождественность двух спектров, неизвестного $f(\nu_i)$ и эталонного $F(\nu_i)$, с использованием коэффициента корреляции Пирсона R [3]. В случае полной тождественности спектров коэффициент $R = 1$, при тождественности с учетом погрешности измерений незначительно отличается от эталонного спектра.

Другим способом идентификации является использование лазерной техники, работающей на длинах волн ИК-диапазона: 1.06, 3.39, 10.6 см⁻¹ и види-

ИНФРАКРАСНАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ ЛАКОКРАСОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ - ТЕХНОЛОГИЯ ДВОЙНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

*А.С. Дринберг, канд. техн. наук, зам. ген. директора,
Ю.В. Улашкевич, канд. физ.-матем. наук, зав. лабораторией,
И.А. Уденко, ген. директор,
ООО «Холдинговая компания «Пигмент»,
контакт. тел. +7 (921) 962 9170, +7 (911) 972 1558*

мой области спектра. К преимуществам лазерного метода относится высокая скорость исследований за счет факторов, присущих лазерному излучению: высокой степени монохроматичности и когерентности излучения, узкой направленности и другим факторам [4]. Поэтому для ИКИ, определяемой лазерным методом, по сравнению с ИКС можно вводить незначительное количество поглощающего вещества, которое не оказывает влияния на свойства ЛКМ.

Для гарантирования качества производимых материалов и защиты их от подделок исследована возможность

введения в ЛКМ ИК-метки, идентифицируемой с помощью ИКС.

В качестве хорошо поглощающих материалов можно использовать органические красители, различные соли, соединения меди, органические соединения, содержащие АЗО-группу ($-N=N-$) и нитрозо-группу ($-N=O$).

Соединения в виде солей имеют ярко выраженные полосы поглощения в ИК-области, что связано с наличием колебаний решетки, характерных для каждого отдельного иона [5]. К солям, представляющим существенный интерес в качестве поглотителей, следует отнести соли меди,

фосфорнокислые соли натрия и т.д. При этом соли меди применяются в качестве поглотителей в типографских красках при использовании лазерной автоматики [6].

Таким образом, с помощью современных оптических методов фирмы, выпускающие ЛКМ, могут с достаточной точностью идентифицировать их и тем самым защитить авторские права на свою продукцию.

С целью проверки данной технологии в институте «НИПРОИНС» было проведено исследование возможности введения ИК-метки в широко используемый ЛКМ. Исследования проводились с помощью фурье-спектрометра 1720X фирмы «Perkin Elmer».

СПЕКТРАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ВВЕДЕНИЯ МЕТКИ В ЛКМ

Для отработки возможностей метода была выбрана эмаль марки ПФ-167 (ТУ 2312-063-05034239–94), которая применяется для окраски кораблей ВМФ, в качестве ИК-меток – дициандиамида и каолин, которые широко применяются в лакокрасочной промышленности. Выбор последних соединений на первоначальном этапе исследования обусловлен их относительной доступностью и низкой стоимостью, нетоксичностью, слабым влиянием на свойства ЛКМ и наличием в их ИК-спектрах довольно интенсивных и характерных полос, лежащих в спектральных областях, как правило, свободных от поглощения других компонентов ЛКМ.

Добавление в готовую эмаль ПФ-167 дициандиамида и каолина в концентрации 1% каждого с помощью диспергирования на бисерной мельнице в течение одного часа приводит к появлению в соответствующих спектральных областях полос (рис. 1 и 2).

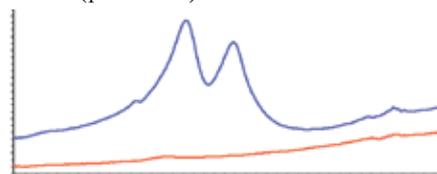


Рис. 1. ИК-спектры исходной эмали ПФ-167 (красная линия) и краски с добавками дициандиамида и каолина (синяя линия)

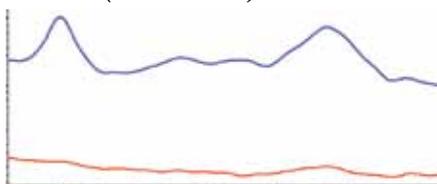


Рис. 2. ИК-спектры исходной эмали ПФ-167 (красная линия) и краски с добавками дициандиамида и каолина (синяя линия)

Наличие двух компонентов-меток может служить дополнительной защитой от подделок, поскольку соотношение этих компонентов, а следовательно,

и соотношение интенсивностей полос-меток, будет известно только производителю ЛКМ. Это же обстоятельство позволяет выполнять расчет по критерию Пирсона и в тех случаях, когда один или оба компонента-идентификатора используются в качестве основных компонентов краски. Тем не менее для более уверенной идентификации меток в дальнейшем в качестве компонентов-идентификаторов желательно использовать соединения с аналогичными спектральными и другими характеристиками, но более редко применяемыми (или вообще неприменимыми) в качестве основных компонентов ЛКМ.

На рис. 3 представлены образцы исследуемой эмали ПФ-167, которая используется для окраски бортов и надстроек кораблей ВМФ РФ. Видно, что внешне эмали совершенно не различаются.

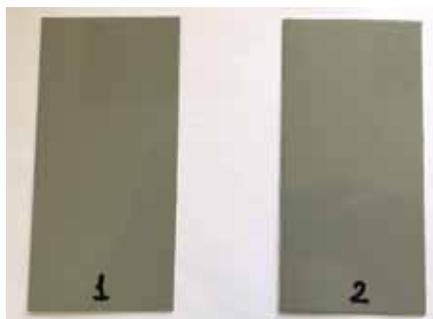


Рис. 3. Фото двух пластин с покрытием из эмали ПФ-167
1 – контрольный образец; 2 – с добавками дициандиамида и каолина (ИК-метка)

С целью более детального изучения оптических свойств покрытия эмали ПФ-167 в видимом диапазоне были измерены спектры в оптическом диапазоне. Измерения проводились на спектроколориметре «Пульсар» (ТУ 6-5П1.500.004ТУ–87).

На рис. 4 представлены спектры этих двух образцов в видимом диапазоне, можно видеть, что в этом диапазоне различить их практически невозможно, тогда как в ИК области на рис. 1 и 2 отчетливо видны введенные ИК-метки в виде дициандиамида и каолина.

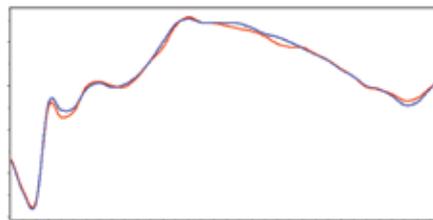


Рис. 4. Спектры отражения двух покрытий ПФ-167 в видимой области

Данная технология, использующая отличительные особенности состава ЛКМ на различных длинах волн ИК-диапазона, может применяться не только для защиты торговой марки от

контрафактной продукции, но и для военных целей. Это типичный пример технологии двойного назначения [7]. ИК-метки можно применять для дополнительной идентификации объекта «свой-чужой», а также для повышения точности избирательных средств наведения высокоточного оружия.

Принципиальная схема такой идентификации представлена на рис. 5. Космический аппарат с ИК лазерным спектрометром определяет ИК-метку у корабля, далее эта информация поступает в наземный комплекс обработки и регистрации информации. Затем информация поступает в вычислительный центр, где корабль идентифицируется и результат выдается для оперативного управления командованию ВМФ и затем принимается решение. В современной военной теоретической науке это называется *циклом Бойда* [8].

ЦИКЛЫ БОЙДА

В своей теории Джон Бойд предположил следующее:

- Поведение любой военной системы можно описать с помощью повторяющегося цикла: обнаружение–ориентация–решение–действие (рис. 6).
- Последующие циклы корректируются с помощью обратной связи и адаптируются под действия противника и условия окружающей среды.
- В процессе развития системы и развития вооружения частота этих циклов растет (рис. 7).
- С целью более эффективного выполнения задачи можно ускорять цикл Бойда или замедлять его у противника.

Надо сказать, что западные производители почти всегда окрашивают наши военные корабли в присутствии своего инспектора по контролю качества окраски – супервайзера, который оформляет необходимую документацию: *сводный отчет о контроле качества выполнения окрасочных работ на объекте*.

В этом отчете указаны: сроки окраски, место окраски, наименование окрашиваемого объекта, ответственные лица, марка материала, площадь окрашиваемой поверхности, владелец объекта и т.п., т.е. дается полная информация о данном корабле. И все эти сведения поступают в центральный офис западной компании, где хранятся на серверах, так что их можно получить в любую минуту.

СЛЕДСТВИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ИК-МЕТКИ В ЛКМ НА КОРАБЛЯХ ВМФ

Введение ИК-метки в ЛКМ, который применяется для окраски кораблей ВМФ, сокращает цикл Бойда для вероятного противника в несколько раз.

Ускоряется дополнительная иденти-

фикация объекта по принципу «свой-чужой»; повышается точность наведения оружия; снижаются боевые характеристики кораблей ВМФ РФ.

Надо отметить, что идентифицировать ИК-метку в готовом покрытии весьма сложно, так как существует великое множество веществ и компонентов, которые можно применять для этих целей. Производитель ЛКМ всегда может сослаться, что это специальная добавка, улучшающая защитные или физико-химические свойства покрытия.

Данная технология в ряде западных стран находится на стадии разработки, и продолжение исследований в этом направлении оценивается как перспективное.

Принимая во внимание широкий спектр импортных лакокрасочных покрытий, применяемых в судостроении, в том числе при строительстве и ремонте кораблей ВМФ, в особенности при окраске надстроек, палубы, наружного борта и подводной части, а также низкую степень локализации на территории Российской Федерации производства компонентов используемых покрытий, представляется крайне актуальным пересмотреть номенклатуру импортных ЛКМ и акцентировать внимание на ускоренном создании современных отечественных аналогов для кораблей ВМФ в рамках программы импортозамещения.

Игнорирование этой проблемы может негативно отразиться на снижении боевых свойств кораблей ВМФ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дринберг А.С., Улашкевич Ю.В., Уденко И.А. Инфракрасная идентификация лакокрасочных материалов // ЛКП.– 2015.– № 9.– С. 22–25.
2. Пул Ч., Оуэнс Ф. Нанотехнологии. – 3-е изд. – М.: Техносфера, 2007. – 376 с.
3. Батумер Л.М., Позин М.Е. Математические методы в химической технике. – Л.: Химия, 1968. – 676 с.
4. Иванов В.С. и др. Основы оптико-электронных измерений в фотонике: Учеб. пособие / Под ред. А.Ф.Котюка. – М.: Логос, 2004. – 496 с.
5. Миллер Г.А. Вилкинс С.Н. Инфракрасные спектры и их характеристические частоты неорганических ионов. Analytical Chemistry. – 1952. – Vol. 24. – № 8. – P.1253–1293.
6. Пат. 2029419 (ФРГ).
7. Рассадин В. Н., Санчес-Андрес А. Технологии двойного назначения в оборонной промышленности и перспективы их использования // Проблемы прогнозирования.– 2001.– № 6.– С. 43–54.
8. Ивлев А.А. Основы теории Бойда. Направления развития, применения и реализации. М., 2008. ■



Рис. 5. Принципиальная схема определения корабля с помощью ИК-идентификации лакокрасочного покрытия



Рис. 6. Цикл Бойда

Продолжительность циклов Бойда

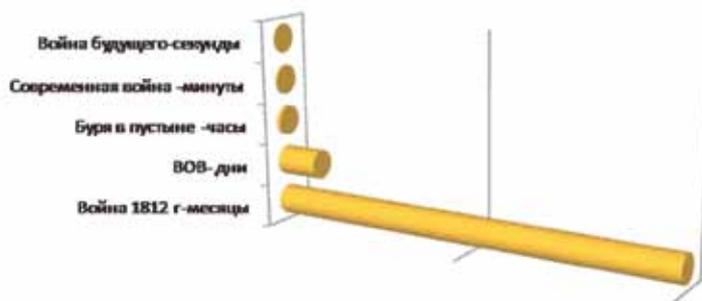


Рис. 7. Сокращение циклов Бойда в ходе развития вооружений и военной техники



Рис. 8. Корвет «Стережущий» (пр. 20380), окрашен ЛКМ фирмы «Jotun» (Норвегия)

На ЗАО «Канонерский судоремонтный завод» в мае 2015 г. обратился владелец парома «Принцесса Анастасия», принадлежащего компании St.-Peterline и стоящего на линии Санкт-Петербург–Стокгольм–Таллин–Санкт-Петербург с просьбой рассчитать стоимость докового ремонта и, в частности, выполнения работ по ледовому поясу (переменной ватерлинии) и окраски подводной части корпуса парома. Срок выполнения работ был очень ограниченным – всего 10 суток нахождения в доке без возможности его продления в связи с существенной загруженностью парома. Период постановки был определен с 06.00 2 октября 2015 г. до 12.00 12 октября 2015 г. Качество работ должно было соответствовать качеству работ главных конкурентов – польских СРЗ, которые, в свою очередь, могли выполнять те же работы в более комфортных климатических условиях.



В рамках очередного общего собрания Ассоциации судоремонтных заводов в августе в Астрахани было принято решение об обязательном участии в проекте компании «Мюльхан Морфлот» как подрядчика завода. Перед «Мюльхан Морфлот» стояла задача подготовить поверхности под нанесение ледостойкой эмали Intershield 163 Inerta 160 синего цвета, произведенной по спецзаказу компании судовладельца. Эмаль Intershield 163 Inerta 160 имеет особенность при нанесении: она должна быть предварительно разогрета до температуры нанесения и наноситься установкой с раздельной подачей компонентов. Температура поверхности, на которую наносится эмаль, должна быть не ниже +10°C.

По генеральному плану, согласованному с заводом, подрядчику предстояло за 10 суток выполнить полный комплекс работ с учетом полимеризации эмали. Дожливый и холодный климат Санкт-Петербурга в это время года явился дополнительным фактором риска при проведении подобных работ, поскольку были возможны непрогнозируемые падения среднесуточных температур ниже 10°C, а также высока вероятность выпадения осадков. Подрядчик в рамках технической проработки предложил построить специальные укрытия, позволяющие поднять температуру в зоне проведения работ выше 10°C, что является необходимым условием для начала химического процесса полимеризации, а также понизить влажность в зоне проведения работ, используя собственные установки сухого воздуха.

Для проведения работ были мобилизованы восемь самоходных телескопических и ножничных вышек рабочей высотой 14–18 м, промышленные обогревающие установки (калориферы) мощностью 620 кВт, компрессорное, помывочное, пескоструйное оборудование.

Подрядчиком было принято решение сделать укрытия тросового типа. По периметру всего корабля натягивалась система тросов. К тросам-растяжкам крепились тентовые

ПАРОМ «ПРИНЦЕССА АНАСТАСИЯ» ПРОШЕЛ ДОКОВЫЙ РЕМОНТ В ПЕТЕРБУРГЕ

Н.М. Вихров, д-р техн. наук, проф.,
ген. директор ЗАО «Канонерский судоремонтный завод»,
А.Г. Филимонов, ген. директор ООО «Мюльхан Морфлот»,
контакт. тел. (812) 622 1031



пологи. Весь посуточный план выполнения работ внимательно проанализировали не только специалисты завода, но и представители судовладельца ввиду высокой важности обеспечения высокого качества работы.

За сутки до постановки в док 2 октября 2015 г. в Санкт-Петербурге был шквалистый ветер – до 20 м/с. Крановое обслуживание не работало. Постановка в док по графику была сорвана, как и начало работ. 3 октября 2015 г. в 22.00 паром был поставлен в док, и началась расстановка оборудования и мобилизация на доке. Монтаж укрытий затруднял нестихующий шквальный ветер.

Несмотря на это, благодаря слаженной работе ЗАО «Канонерский судоремонтный завод» и ООО «Мюльхан Морфлот» удалось создать необходимые условия для работы и 10 октября нанесение эмали было выполнено. Начался демонтаж укрытий и вывод техники из дока.



Работа получила одобрения инспектора поставщика лакокрасочных материалов – компании «Акзо Нобель – Интернейшнл Пейнтс», команды парома и полностью удовлетворила требования судовладельца.

Данный опыт показал, насколько эффективно привлечение верфями профессиональных подрядчиков, что придает судовладельцам уверенность в соблюдении сроков проведения работ и качестве услуг, предоставляемых российскими судоремонтными заводами.

Стоит отметить, что с 2010 г. это уже второе докование крупного автопассажирского парома в Петербурге, и надеемся не последнее. Судоремонт в Петербурге стал конкурентоспособным в сегодняшних экономических реалиях и выгодным, в том числе и для иностранных судовладельцев. ■

ОБ ИЛЛЮМИНАТОРАХ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ СО СВЕТОПРОЗРАЧНЫМ ЭЛЕМЕНТОМ В ФОРМЕ ДИСКА

*Н.М. Вихров, ген. директор ЗАО «Канонерский судостроительный завод»,
В.П. Лянзберг, канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник, начальник
науч. группы МАИ (Национального исследовательского университета),
контакт. тел. +7(915) 222 2977*

В качестве светопрозрачного материала иллюминаторов высокого давления используют в основном органическое и неорганическое стекло. Для рабочих давлений в 40–60 МПа, как правило, применяют органическое стекло, пропускающее видимую часть спектра. В настоящее время возникает потребность в иллюминаторах высокого давления (до 60 МПа) с широким диапазоном пропускания в различных областях спектра. В качестве такого материала светопрозрачного элемента предлагается использовать кварцевое стекло или кристалл–лейкосапфир. Приведены результаты испытаний с его использованием в качестве прозрачного материала при кратковременном и циклическом нагружении.

Иллюминатор представляет собой сборку светопрозрачного элемента и обоймы, закрепляемой с помощью вспомогательных элементов. Отметим основные особенности использования неорганического стекла в качестве материала светопрозрачного элемента.

Экспериментально установлено, что пределы прочности хрупкого материала в случае трехосного поля сжимающих напряжений превышают таковые в случае двухосного и одноосного поля сжимающих напряжений. Отсюда следует, что для повышения несущей способности светопрозрачный элемент при воздействии гидростатического давления должен находиться в состоянии, близком к трехосному сжатию. Основные результаты работ, реализующие это положение, изложены в [1–5]. Показано, что необходимого состояния стеклоэлемента можно достичь только при одновременном выполнении следующих требований: достижении высокого качества и точности изготовления светопрозрачного элемента, выборе метода соединения с обоймой, точного определения ее геометрических параметров и технологии сборки. Основные исследования проводились по первым двум направлениям.

Наиболее полные исследования иллюминаторов с применением стеклоэлементов из К8 и кварцевого стекла выполнены в 70–80-х гг. в Институте проблем прочности АН УССР [1–4]. Они проводились как экспериментально, так и на основании численного анализа напряженно-деформированного состояния при различных методах соединения. Рассматривались конструкции с применением различных вариантов клеевых соединений. Однако лучшие результаты показали иллюминаторы, в которых для создания необходимого напряженного состояния стеклоэлемента использовалось внешнее гидростатическое давление, приложенное определенным образом на его торцевые и боковую поверхности. В действующих в настоящий момент аппаратах в РФ такие иллюминаторы использовались при рабочем давлении не более 10 МПа.

В работе [5] для создания радиальных сжимающих усилий по боковой поверхности стеклоэлемента, которые больше по величине действующего гидростатического давления и увеличиваются от поверхности его приложения к контактной поверхности, была использована обжимная шайба, выполненная в виде усеченного конуса и установленная между боковой цилиндрической поверхностью стеклоэлемента и конической поверхностью обоймы. Шайба выполнена из материала с модулем упругости значительно меньшим, чем у стеклоэлемента и обоймы, и при воздействии гидростатического давления она проскальзывает в коническую полость между боковой поверхностью стеклоэлемента и обоймой и создает радиальные сжимающие напряжения. Такие иллюминаторы применялись в барокамерах с испытательным давлением 17,5 МПа.

Отмечено, что созданию благоприятного напряженного состояния стеклоэлемента способствуют не только метод соединения, но и геометрические параметры обоймы. Для отдельных образцов с аналогичным способом соединения, но с другой геометрией опорного основания при таком же соотношении толщины к диаметру стеклоэлемента, давление, при котором нарушалась его целостность, достигало 60 МПа даже без специального упрочнения стеклоэлемента. Выполненные по такой схеме конструкции требуют точного соблюдения определенных геометрических параметров обоймы и стеклоэлемента. Работы по созданию подобных конструкций требуют дальнейших экспериментальных и теоретических исследований.

Изгибные напряжения в стеклоэлементе при любом способе соединения возникают со стороны низкого давления. Предел прочности стекла на изгиб снижается по мере увеличения длительности воздействия нагрузки. Длительное воздействие статической нагрузки снижает прочность примерно в три раза, после чего снижение прекращается. Циклически нагрузки снижают прочность стекла аналогично статическим. Этим обосновывается выбор коэффициента запаса прочности не менее трех.

Разрушение стеклоэлементов начинается с поверхности низкого давления. Для увеличения несущей способности и ресурса иллюминатора выполняют упрочнение тонкого поверхностного слоя стеклоэлемента. Эти напряжения блокируют дефекты, возникающие в пределах тонкого слоя, и создают дополнительное сопротивление растяжению при изгибе.

Упрочнение неорганического стекла в РФ в настоящий момент выполняется тремя основными методами. Первый заключается в применении технологии глубокой шлифовки и полировки и дополнительных защитных покрытий. Однако с течением времени эффективность данной технологии уменьшается и предел прочности на изгиб снижается. Второй метод – это использование триплекса. Для силикатного стекла К8 разработана технология ионообменного упрочнения.

Создать иллюминатор со светопрозрачным элементом в форме диска с применением одних этих технологий для рабочего давления до 60 МПа не удалось. Разработка технологий упрочнения кварцевого стекла в РФ была прервана в начале 90-х гг. Отметим, что кварцевое стекло обладает широким диапазоном пропускания в различных областях спектра и необходимыми для иллюминаторов высокого давления механическими характеристиками.

Поэтому наряду с решением данных задач для конструкций со светопрозрачным элементом из неорганического стекла были начаты работы по применению других, более прочных оптических материалов, прозрачных в различных областях спектра и имеющих более стабильные механические характеристики.

В качестве такого материала был выбран лейкосапфир. Проведены первоначальные исследования с использованием светопрозрачного элемента из кристалла–лейкосапфира,

полученного в Институте кристаллографии РАН методом горизонтально-направленной кристаллизации. Физико-механические свойства и чистота данной партии кристалла не определялись.

По полученным данным, механические характеристики лейкосапфира могут находиться в следующем интервале: модуль Юнга: – 470–320 ГПа, прочность на изгиб – 300–350 МПа (зависит от многих факторов и может достигать 700–750 МПа), прочность на растяжение – 400 МПа, на сжатие – 2 ГПа.

Испытывались образцы лейкосапфира в виде диска диаметром 70 мм, толщиной 20 мм. Для оценки эффективности применения лейкосапфира и метода соединения с использованием обжимной шайбы [5] проведены испытания двух видов иллюминаторов в специальной малогабаритной испытательной камере (рис. 1).

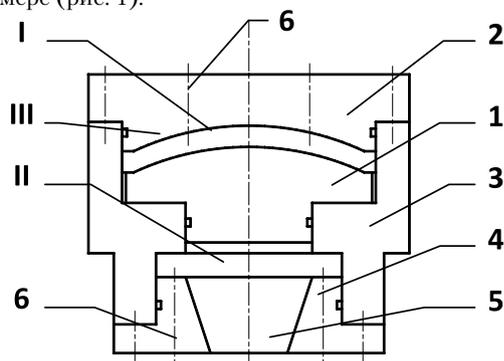


Рис. 1. Схема испытательной камеры

Камера высокого давления состоит из двух полостей I, II, между которыми устанавливается исследуемый (изготавливаемый) образец (иллюминатор). Поверхность III крышки 2 в полости I выполнена по форме, близкой к наружной поверхности иллюминатора, и находится на минимально возможном от нее расстоянии. Основными конструктивными элементами таких камер являются силовой корпус 3, крышки 2 и 4, конический стеклоэлемент из акрила для наблюдения 5 и подвод рабочей среды 6.

В первом случае светопрозрачный элемент устанавливался в жесткую обойму (податливость опорного основания отсутствовала) без вспомогательных элементов. Уплотнение на торцевой контактной поверхности со стороны низкого давления осуществлялось прокладкой из паронита, а со стороны высокого давления – торцевым резиновым кольцом (соединение, аналогичное показанному на рис. 4, а в работе [5]).

Во втором случае соединение с жесткой обоймой светопрозрачного элемента осуществлялось через обжимную шайбу по боковой поверхности. На торцевой контактной поверхности паронитовая прокладка не использовалась. На малых давлениях герметичность соединения обеспечивалась, как в первой схеме (соединение, аналогичное показанному на рис. 4, б в работе [5]).

Во всех образцах обоймы выполнялась из сплава В95 со световым диаметром 30 мм.

Использовалась обжимная шайба из органического стекла с углом конусности 19° и минимальной толщиной 5 мм.

Иллюминаторы первого типа испытывались при кратковременном нагружении гидростатическим давлением до 65 МПа. Из десяти испытанных образцов разрушился один при давлении 63 МПа.

Отметим, что давление разрушения аналогичного иллюминатора с использованием силикатного стекла К8 не превышает 20 МПа. Стеклоэлемент имеет такой же характер разрушения.

Образцы второго типа подвергались испытаниям по программе, включающей в себя последовательное нагружение



Рис. 2. Характер разрушения светопрозрачного элемента

при циклическом кратковременном и длительном воздействии гидростатическим давлением. Общее число циклов нагружения – 100.

Максимальное давление при кратковременном циклическом нагружении – 1,25 от рабочего давления P . Максимальная длительность воздействия при рабочем давлении – 45 сут.

Такая методика применяется рядом отечественных предприятий для испытаний иллюминаторов необитаемых аппаратов.

Используемая испытательная установка, схема которой приведена в [6], позволяет измерять осевое смещение со стороны ненагруженного основания иллюминатора.

Измерялось осевое смещение w в центре стеклоэлемента при кратковременном нагружении. Зависимость w от гидростатического давления $P-w(P)$ близка к линейной.

Нарушения целостности при визуальном осмотре светопрозрачного элемента при данном способе соединения обнаружено.

ВЫВОДЫ

Полученные результаты дают основания говорить о возможности применения лейкосапфира в качестве материала светопрозрачного элемента иллюминатора высокого давления. Необходимы дополнительные исследования с целью выявления возможных дефектов в кристаллах, выбора метода соединения с обоймой и разработки методики их испытаний.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дьячков И. И., Квитка А. Л., Комягин Ю. В., Морганюк В. С. Создание работоспособного оптического иллюминатора. Сообщ. 1//Проблемы прочности/АН УССР. – 1985. – № 11. – С. 104–109.
2. Дьячков И. И., Квитка А. Л., Комягин Ю. В., Гнуций Ю. Б. Создание работоспособного оптического иллюминатора. Сообщ. 2//Проблемы прочности/АН УССР. – 1985. – № 12. – С. 90.
3. Дьячков И. И., Квитка А. Л., Комягин Ю. В., Морганюк В. С. Создание работоспособного оптического иллюминатора. Сообщ. 1. Напряженно-деформируемое состояние плоского стеклоэлемента//Проблемы прочности/АН УССР. – 1986. – № 9. – С. 114–119.
4. Дьячков И. И., Квитка А. Л., Комягин Ю. В., Гнуций Ю. Б. Создание работоспособного оптического иллюминатора. Сообщ. 2. Напряженно-деформируемое состояние плоского стеклоэлемента в сборном узле//Проблемы прочности/АН УССР. – 1987. – № 10. – С. 119–12.
5. Лянзберг В. П., Шалашилин В. И. Иллюминаторы высокого давления со светопрозрачным элементом в форме диска из неорганического стекла//Вестник МАИ. – 2002. – Т 9. – С. 51–56.
6. Лянзберг В. П., Шалашилин В. И. Конические акриловых иллюминаторы при кратковременном нагружении//Проблемы прочности/АН УССР. – 1983. – № 11. – С. 106–111. ■

За последние годы объемы производства судового оборудования, комплектующих и материалов на российских машиностроительных предприятиях заметно выросли, тенденция к росту продолжается, и, по мнению большинства экспертов, в ближайшие годы этот рост будет еще более значительным. Причины прогнозируемого роста объясняются несколькими факторами.

Во-первых, в рамках Федеральной целевой программы (ФЦП) «Развитие гражданской морской техники на 2009–2016 годы» и других ФЦП было проведено значительное количество НИОКР, в результате которых разработано и испытано большое количество образцов нового судового оборудования, комплектующих и материалов. В большинстве случаев эти образцы не уступают лучшим мировым аналогам, и их серийное производство либо уже запущено, либо планируется в ближайшей перспективе.

Во-вторых, за последние годы стала более отчетливо формироваться судостроительная программа как по военным кораблям, так и по гражданским судам и констатируется устойчивый рост объемов судостроительного производства. Практически все российские судостроительные компании имеют действующие контракты на строительство, а на многих предприятиях производственная программа сформирована на три-пять лет вперед.

В-третьих, силами конструкторских бюро и судостроительных предприятий «ОСК», а также других предприятий отрасли начались более системные работы по стандартизации и унификации применяемого на кораблях и судах оборудования, комплектующих и материалов, в результате чего ожидается более точное понимание рыночного спроса их номенклатуры и количества, требуемых для обеспечения судостроителей.

В-четвертых, политика санкций, принятая рядом западных стран, а также снижение курса рубля к другим валютам, подтолкнули всех нас к курсу на локализацию производства судового оборудования на российских предприятиях и замещение большей номенклатуры оборудования, комплектующих и материалов, ранее поставляемых по импорту. В совокупности с перечисленными выше факторами этот фактор самым значительным образом повлияет на рост объемов производства на российских машиностроительных предприятиях в ближайшее время.

Пропагандируемая и поддерживаемая на всех уровнях политика импортозамещения окажется эффективной только в том случае, если помимо обеспечения технологической и экономи-

ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО УРОВНЯ И КАЧЕСТВА СУДОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ, КОМПЛЕКТУЮЩИХ И МАТЕРИАЛОВ

*А.С. Соловьев, ген. директор,
Г.В. Тарица, канд. техн. наук, руководитель проектов,
ПАО «Выборгский судостроительный завод»,
А.В. Филиппов, начальник Управления организации технического наблюдения в промышленности, ФАУ «Российский морской регистр судоходства»,
контакт. тел. (813 78) 264 32*

ческой безопасности, а также технологической и экономической независимости государства создаст условия для производства продукции высокого технического уровня и качества, конкурентоспособной как на внутреннем, так и на внешних рынках.

В условиях рынка потребитель выбирает продукцию с наиболее предпочтительными свойствами по наиболее предпочтительной цене. Мотивацией любой сделки является финансовая выгода, с одной стороны, и максимальный потребительский эффект, с другой. Следовательно, конкурентоспособность продукции в первом приближении оценивают с помощью соотношения цена/качество или цена/технический уровень.

В создавшихся условиях появление на судостроительном рынке новой продукции российских производителей зависит и от маркетинговых процедур и от негласной поддержки на государственном уровне, однако устойчивое закрепление на этом рынке во многом, будет зависеть от технического уровня и качества, комплексная и объективная оценка которых должна быть однозначной. Методологические подходы и показатели качества, позволяющие выполнять такие оценки, отраженные в существующих нормативных документах, разработаны еще в советское время и в значительной степени устарели. Также необходимо отметить, что эти нормативные документы были разработаны для всей промышленной продукции и не учитывают особенности судостроения, но вполне могут быть использованы для разработки научно обоснованной методики оценки качества и технического уровня продукции для судостроения, насущная необходимость которой понимается как производителями, так и потребителями такой продукции. В связи с этим необходимость обновления нормативной базы, базирующейся на применении современных методов обоснования системы показателей, более полно отражающих особенности судостроения, судо-

вого машиностроения, представляется весьма актуальной.

Известно, что в основе разработки новых образцов судового оборудования, комплектующих и материалов, как правило, лежат общие технические закономерности, которые сложились в соответствии с логикой развития науки и техники, а также в результате взаимодействия и заимствования опыта десятков производителей как в России, так и за рубежом. Очевидно, что общие подходы к проектированию и производству такой продукции позволяют искать общие методы объективной оценки их технических и технологических характеристик, а также объективной оценки качества, технического и технико-экономического уровня.

В общем, технический уровень и качество продукции можно охарактеризовать совокупностью единичных и (или) комплексных показателей. Сравнивая эти показатели с нормированными значениями или с базовыми показателями, в зависимости от цели оценки можно сделать соответствующие выводы:

- продукция соответствует или не соответствует установленным требованиями правил классификационных обществ или стандартов нормированным значениям;
- технический уровень и качество оцениваемой продукции выше, ниже или на уровне принятого базового образца.

В зависимости от характера решаемых задач при оценке качества продукции показатели можно классифицировать по различным признакам (табл. 1).

Типичная оценка качества любой продукции представляет совокупность операций, включающих выбор номенклатуры показателей качества оцениваемой продукции, определение значений этих показателей и сравнение их с базовыми значениями. Такая оценка должна проводиться на всех общепринятых стадиях жизненного цикла продукции (проектирование, производство, эксплуатация).

На стадии проектирования оценивается технический уровень разрабатываемой продукции, в результате чего

Классификация показателей качества продукции

Признак классификации показателей	Группы показателей качества продукции
По количеству характеризующих свойств	Единичные Комплексные Обобщенные Интегральные
По характеризующим свойствам	Назначения Надежности Экономичности Эргономические Эстетические Технологичности Стандартизации и унификации Патентно-правовые Экологические Безопасности Транспортабельности
По способу выражения	В натуральных единицах (кг, мм, баллы и др.)
По этапам определения значений показателей	Прогнозные Проектные Производственные Эксплуатационные
По однородности характеризующих свойств	Функциональные Ресурсосберегающие Природоохранные
По форме представления характеризующих свойств	Абсолютные Относительные Удельные Регламентированные Оптимальные Базовые Номинальные Предельные

устанавливаются требования к будущей продукции и проводится нормирование показателей в нормативных документах.

На *стадии производства* продукции по результатам контроля и испытаний определяются фактические значения показателей технического уровня, оценивается уровень качества изготовления, принимаются соответствующие решения для управления качеством.

На *стадии эксплуатации* оцениваются технический уровень и качество изготовленной продукции и по результатам ее эксплуатации принимаются управляющие решения, направленные на сохранение или повышение уровня качества продукции.

В судостроительной практике рекомендуются и используются следующие виды оценки технического уровня:

- в абсолютных значениях, представляя абсолютные показатели, включая удельные показатели, а также тенденции развития технического уровня оборудования и оценку его дальнейшей эволюции;
- в относительных значениях, сравнивая показатели технического уровня продукции с показателями принятого базового образца

В соответствии с ГОСТ 15467–79 уровень качества продукции – это относительная характеристика качества продукции, основанная на сравнении совокупности показателей ее качества с соответствующей совокупностью базовых показателей. Базовые значения

показателей качества продукции – это показатели качества эталонного или базового образца. За базовый образец следует принимать продукцию, показатели качества которой соответствуют мировому уровню или лучшим отечественным образцам, в аспекте определенной цели оценки. Учитывая специфику судостроения, в качестве базового образца часто принимают такую продукцию, которая наиболее часто включается судовладельцами в перечни предпочтительных поставщиков оборудования.

Для сравнительной оценки уровня качества продукции используются следующие методы: дифференциальный, комплексный и смешанный.

Дифференциальный метод оценки уровня качества состоит в сравнении единичных показателей качества оцениваемой продукции с соответствующими единичными показателями качества базового образца. При этом для каждого из показателей рассчитываются относительные показатели качества по формулам (1) или (2).

$$\text{Формула } Q_i = \frac{K_i}{K_{i8}} \quad (1)$$

применяется тогда, когда улучшению качества продукции соответствует увеличение абсолютного значения показателя качества (например, производительность, точность, срок службы, коэффициент полезного действия и др.).

$$\text{Формула } Q_i = \frac{K_{i8}}{K_i} \quad (2)$$

применяется тогда, когда улучшению качества продукции соответствует

уменьшение абсолютного значения показателя качества (например, масса, шум, вибрация, потребляемая электрическая мощность, содержание вредных примесей, трудоемкость обслуживания и др.).

Здесь K_i – значение показателя оцениваемого изделия ($i = 1, 2, 3, \dots, n$); n – число показателей; K_{i8} – значение показателя базового образца.

Таким образом, если $Q_i > 1$, то i -е свойство продукции лучше по сравнению с базовым образцом, а если $Q_i \leq 1$, то i -е свойство продукции одинаково или хуже по сравнению с базовым образцом.

Дифференциальный метод оценки уровня качества продукции позволяет оценить уровень совершенства новой продукции, но не в полной мере, так как в выбираемом наборе показателей некоторые из них превосходят показатели базовых образцов, а другие уступают им. Этот метод чаще всего применяется производителями продукции, которые в маркетинговых целях делают акцент на достигнутые показатели, превосходящие нормируемые значения или аналогичные показатели других производителей. Этот метод также может применяться классификационными обществами для присвоения оборудованию дополнительных символов качества при сертификации, такие как «Low Weight» – облегченное исполнение, «Low Noise» – малозумный и т.д.

Ограниченное применение дифференциального метода при оценке уровня качества и выборе продукции проекантами, судостроительными компаниями и судовладельцами объясняется трудностями принятия решения по значениям многих единичных показателей качества, особенно при отсутствии принципиальной системы определения базового образца для сравнения.

Чаще всего при выборе оборудования и комплектующих для строительства судов рассматривают три группы параметров: технические, технологические и экономические. При этом для достижения наивысшего уровня эффективности на всех этапах жизненного цикла судна учитывают те показатели качества продукции, которые наибольшим образом влияют на характеристики и качество судна, а также на себестоимость и сроки строительства.

На рис.1 показана принципиальная схема влияния параметров продукции на технико-экономические показатели эффективности продукции для судостроения.

К *техническим* относятся функциональные параметры, определяющие назначение, функции продукции, эффективность и конструктивные параметры,

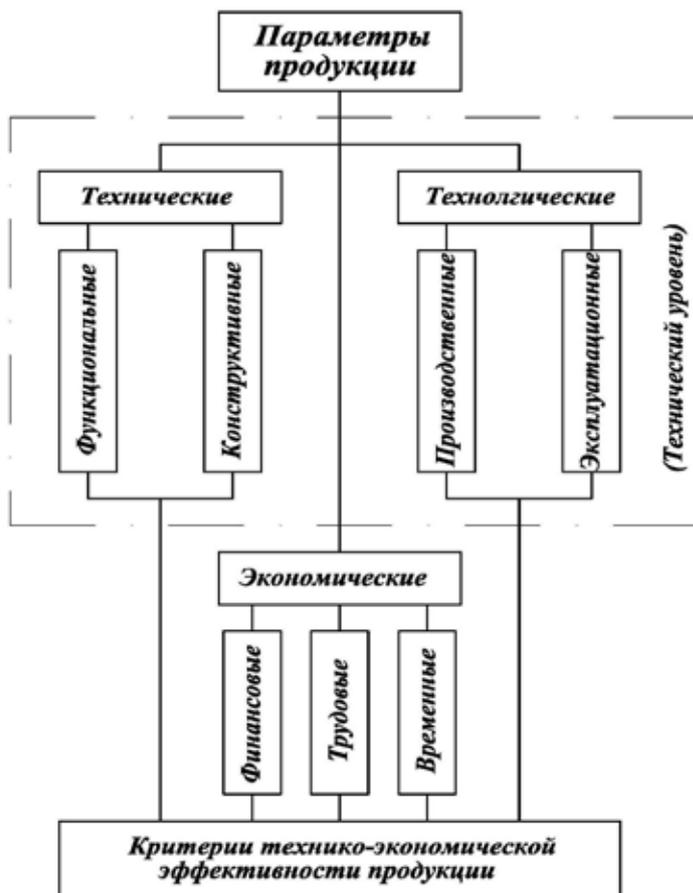


Рис.1. Принципиальная схема параметров продукции для судостроения

характеризующие форму, габариты, вес и другие особенности.

Технологические параметры учитывают влияние на процесс производства и на особенности эксплуатации. Производственные технологические показатели определяется в значительной степени конструктивной преемственностью, которая зависит от уровня унификации, стандартизации и нормализации конструкций. Большое значение для показателя технологичности имеет также годность к применению той или иной технологии сборки и монтажа, сборки в узлах, агрегатах, отсеках и интегрированных системах. Показатели технологичности изделий в процессе их эксплуатации и ремонта характеризуются рядом специфических показателей: кратность ресурсов, степень доступности к агрегатам и узлам, сложность их разборки и сборки и т. д. Параметры технологичности существенно влияют на экономические параметры продукции. Их совершенствование позволяет значительно повысить производительность труда, снизить продолжительность и себестоимость работ при производстве, ремонте и обслуживании в процессе эксплуатации.

Экономические параметры (стоимостные, трудовые и временные) определяют интегральную величину потребных материальных, трудовых

и финансовых ресурсов и лежат в основе формирования критерия оценки технико-экономической эффективности.

При таком структурировании параметров продукции технический уровень и качество продукции определяем комплексным методом по формуле

$$Q_g = \sum_j m_j K_j \quad (3)$$

где m_j – коэффициент весомости показателя g ; K_j – показатель j -го свойства оцениваемого изделия; z – число учитываемых свойств.

Коэффициент весомости показателя качества оценивает значимость данного показателя среди остальных. Значения m_j можно определить методом экспертных оценок или на основе анализа влияния данного показателя качества на технико-экономическую эффективность судна. При этом

$$\sum_j m_j = 1. \quad (4)$$

Дифференциальный и комплексный методы оценки уровня качества продукции не всегда решают поставленные задачи. При оценке сложной продукции, имеющей широкую номенклатуру показателей качества, с помощью дифференциального метода практически невозможно сделать обобщающий вывод, а использование только одного комплексного метода не позволяет объ-

ективно учесть все значимые свойства оцениваемой продукции.

В этих случаях оценку уровня качества необходимо проводить смешанным методом, использующим единичные и комплексные показатели качества. При этом методе единичные показатели качества объединяют в группы (например, показатели функциональности) и для каждой группы определяют комплексный показатель. При этом отдельные, наиболее важные показатели не объединяют в группы, а используют как единичные. С помощью полученной совокупности комплексных и единичных показателей оценивают уровень качества продукции дифференциальным методом.

Однозначная и всесторонняя оценка технического уровня и качества продукции для судостроения позволит производителям решать следующие задачи:

- прогнозировать потребности в продукции, ее технический уровень и качество;
- сертифицировать продукцию;
- планировать повышение качества и объемов производства;
- обосновывать новые виды продукции;
- выбирать наилучшие образцы;
- оценивать научно-технический уровень разрабатываемых и действующих стандартов;
- управлять качеством и стимулировать повышение качества.

Разработка научно обоснованной системы оценки технического уровня и качества, основанной на номенклатуре показателей, определяемой по степени влияния свойств судового оборудования, комплектующих и материалов на технологии и эффективность строительства, а также на характеристики и качество строящихся судов, является актуальной. Такая система может быть разработана силами ведущих судостроительных компаний, проектных организаций и Российского морского регистра судоходства.

ЛИТЕРАТУРА

1. ИСО 8402:1994. Управление качеством и обеспечение качества. Словарь.
2. ГОСТ 15467–79 Управление качеством продукции. Основные понятия. Термины и определения.
3. ГОСТ Р ИСО 9000–2001 Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь.
4. ГОСТ 2.116–84. Карта технического уровня и качества продукции.
5. РД50-149–79 Методические указания по оценке технического уровня и качества промышленной продукции. ■

Современные тенденции развития гребных электрических установок (ГЭУ) вышли на новый уровень в связи с использованием различного типа винторулевых колонок (ВРК), оснащенных достаточно мощными электрическими двигателями, достигающими мощности 20 МВт и более.

Вместе с тем необходимо отметить, что практически все построенные ледоколы, оборудованные ВРК электрического или механического типа, используются не для проводки судов в тяжелых арктических условиях, а как универсальные суда ледового плавания, предназначенные для снабжения плавучих буровых установок, ледовых проводок в предпортовых акваториях, вспомогательных и спасательных нужд.

Использование ледоколов с механическими ВРК показало их полезность в прибрежных районах и замерзающих портах, хотя стоимость ремонта ГЭУ с механическими ВРК существенно выше ремонта традиционных ГЭУ, а надежность ниже из-за высокой стоимости и сложности эксплуатации импортной элементной базы. Кроме того, механические ВРК являются маслозаполненными, что в перспективе может привести к загрязнению окружающей среды в случае интенсивной работы установки при взаимодействии винта со льдом.

В связи с необходимостью импортозамещения судового электрооборудования целесообразно вернуться к международному и отечественному опыту проектирования ГЭУ для арктических ледоколов.

Проектирование ГЭУ атомных ледоколов типа «Таймыр» [1] велось совместно отечественными и финскими специалистами, но поскольку компания «АВВ» взялась комплексно поставлять ГЭУ, был принят финский вариант, хотя отечественные производители были готовы к поставке основных элементов аналогичного оборудования, что свидетельствует из трудов Я. Б. Данилевича, И. З. Богуславского и других [2,3,4].

Практически одновременно с атомным ледоколом типа «Таймыр» финские судостроители спустили на воду в 1986 г. дизель-электрические ледоколы типа «Отсо» (рис. 1). ГЭУ этого ледокола структурно была практически аналогична схеме ледокола «Таймыр». В составе этой ГЭУ были использованы четыре бесщеточных синхронных генератора мощностью 7450 кВт, 6000 В, 750 об/мин, два непосредственных преобразователя частоты (диапазон регулирования выходной частоты – от 0 до 16,7 Гц) и два синхронных двигателя по 7500 кВт, 110–200 об/мин, 8800 В, коэффициент мощности – 1,0. При низких частотах вращения (в диа-

ГРЕБНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ АРКТИЧЕСКИХ ЛЕДОКОЛОВ

В.В. Романовский, *д-р техн. наук, проф.*
 ГУМРФ им. адм. С.О. Макарова,
 контакт. тел. (812) 321 36 79

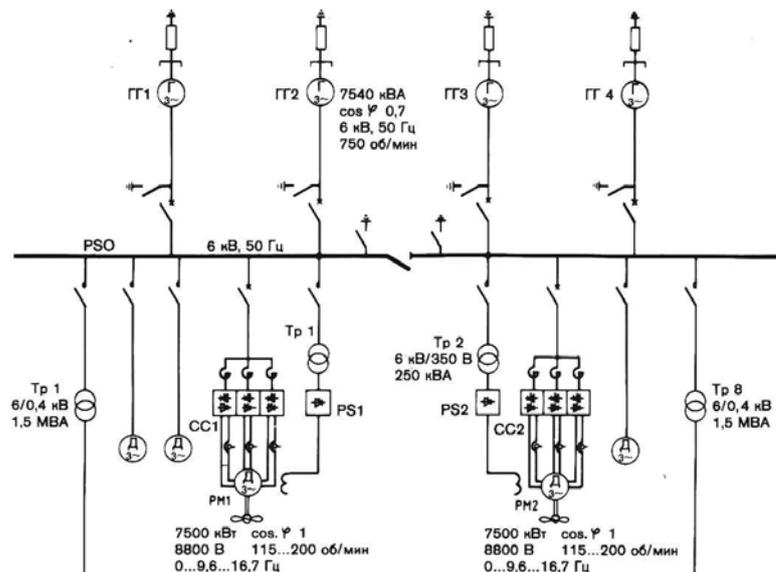


Рис. 1. Принципиальная схема ГЭУ ледокола «Отсо»

пазоне 60–0–60 об/мин) ГЭД развивает максимальный момент вращения до 130% от номинального.

Главные элементы установок переменного тока хорошо себя зарекомендовали за все время эксплуатации атомных ледоколов, также был получен и обобщен большой опыт эксплуатации таких ГЭУ.

Синхронные двигатели имеют достаточно известные преимущества перед асинхронными ГЭД:

1. Возможность получения оптимального режима по реактивной энергии, который осуществляется путем автоматического регулирования тока возбуждения двигателя. Синхронный двигатель может работать, не потребляя и не отдавая реактивной энергии в сеть, при коэффициенте мощности (cos φ), равным единице. В этих условиях работающий синхронный двигатель нагружает сеть лишь активным током. По этой причине обмотка статора синхронного двигателя рассчитывается только на активный ток (у асинхронного двигателя эта обмотка рассчитывается на активный и реактивный токи). Таким образом, при одинаковой номинальной мощности габариты синхронного двигателя меньше, а его КПД выше, чем у асинхронного.

2. Синхронные электродвигатели менее чувствительны к колебаниям напряжения сети, чем асинхронные. Их максимальный момент пропорционален напряжению сети, в то время как кри-

тический момент асинхронного электродвигателя пропорционален квадрату напряжения.

3. Синхронные электродвигатели имеют высокую перегрузочную способность. Кроме того, перегрузочная способность синхронного двигателя может быть автоматически увеличена за счет повышения тока возбуждения, например, при резком кратковременном повышении нагрузки на валу двигателя.

4. Воздушный зазор между статором и ротором синхронного двигателя больше, чем у асинхронного двигателя, что особенно важно в случае взаимодействия винта со льдом.

Системы управления комплекса с синхронными ГЭД несколько сложнее и обычно требуют учета большего количества параметров для организации обратных связей. Этим можно объяснить использование более дешевых асинхронных ГЭД и систем управления.

Впоследствии финскими специалистами для ГЭУ с синхронными двигателями в системах типа Азипод были усовершенствованы преобразователи частоты и конструкция синхронного двигателя, получившего две обмотки статора, причем использовались как непосредственные преобразователи частоты (суда типа «Норильский никель»), так и преобразователи частоты со звеном постоянного тока на танкерах типа «Михаил Ульянов». Такие преобразователи могут работать как с двигателями синхронного, так

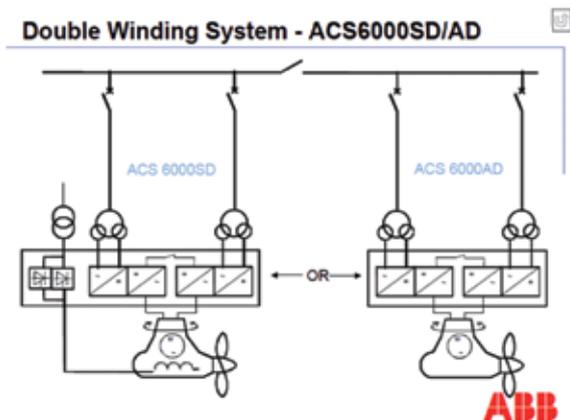


Рис. 2. Электроснабжение двухобмоточных ГЭД от преобразователя частоты со звеном постоянного тока

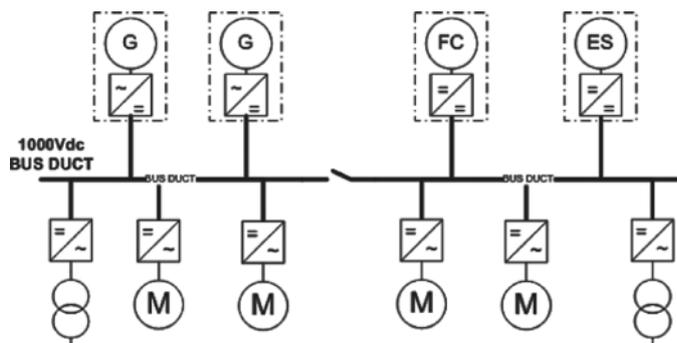


Рис. 4. Встроенная система постоянного тока в ГЭУ переменного тока

и асинхронного типов (рис. 2).

Отметим, что КПД преобразователя частоты со звеном постоянного тока ниже, чем у непосредственного преобразователя частоты, из-за необходимости двойного преобразования электрической энергии, что существенно на больших мощностях.

Как известно, при заказах комплектующих ГЭУ за рубежом приходится ориентироваться на известные параметры «стоимость/качество», при этом главные электрические машины и преобразователи могут иметь разных изготовителей. Поэтому ГЭУ комплектуется и настраивается непосредственно на судне, что существенно ухудшает настроечные характеристики установки и усложняет приемсдаточные испытания.

В случае разработки и внедрения отечественного оборудования появляется возможность проводить стендовые испытания установок на заводе-изготовителе

ГЭУ, что позволяет получить требуемые для арктических ледоколов характеристики Icebreaker7 – Icebreaker9.

Наиболее важными характеристиками ГЭУ переменного тока являются рабочие характеристики ГЭД при увеличении момента сопротивления на валу установки. Примененная схема ГЭУ позволяла достичь около полуторакратного и более момента вращения от номинального (рис. 3), что приближала ее к характеристикам ГЭУ с гребными электрическими двигателями постоянного тока, которые благодаря своим характеристикам наилучшим образом приспособлены для работы в арктических льдах.

Отечественные судостроители уже обратили внимание на перспективность использования ГЭУ с синхронными двигателями и прямой передачей на винт для судов снабжения плавбутовых установок [5].

Требует определенного внимания предложение финских специалистов [6] по использованию на ледоколах ГЭУ постоянно-переменного тока с инверторами тока и синхронными гребными электродвигателями, в этом случае основное электроснабжение схемы осуществляется постоянным током (рис. 4).

Внедрение отечественного электрооборудования с отладкой гребной электрической установки переменного тока на испытательном стенде позволит создать серийную ГЭУ с прямой передачей на винт для арктических ледоколов мощностью от 15 до 35 МВт, что повысит эффективность использования Северного морского пути. Такой опыт отечественной промышленностью был приобретен при создании серийных ГЭУ постоянного тока, которые широко использовались в 60–90-е гг. прошлого века.

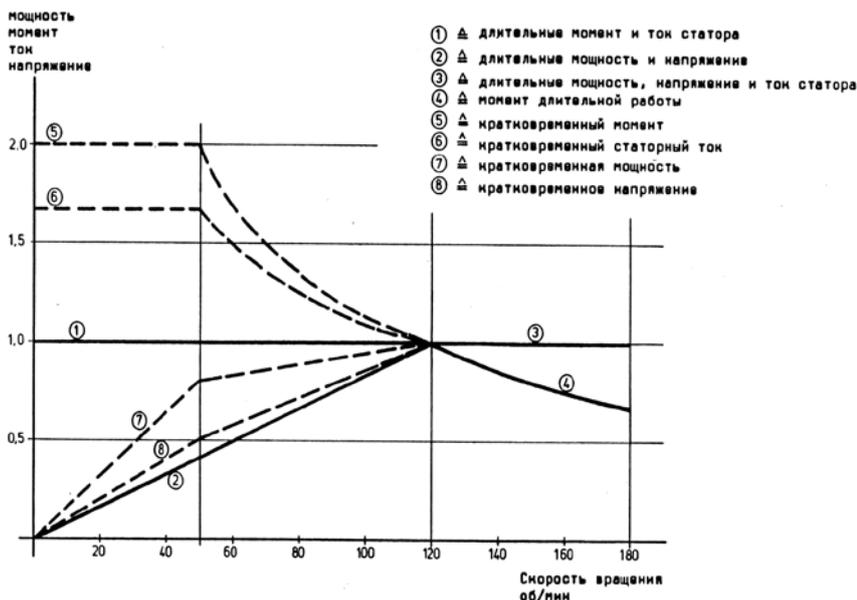


Рис. 3. Рабочие характеристики синхронного ГЭД

1 – длительный момент и ток статора; 2 – длительные мощность и напряжения; 3 – длительные мощность, напряжение и ток статора; 4 – момент длительной работы; 5 – кратковременный момент; 6 – кратковременный статорный ток; 7 – кратковременная мощность; 8 – кратковременное напряжение

ЛИТЕРАТУРА

1. Быков А. С., Башаев С. В., Малышев В. А., Романовский В. В. Гребные электрические установки атомных ледоколов. – СПб.: Элмор. – 2004. – 320 с.
2. Богуславский И. З. Метод определения допустимой мощности двигателя переменного тока при работе в нелинейной сети // Электротехника. – 2009. – № 31. – С. 9–13.
3. Данилевич Я. Б. Энергетическое машиностроение России (настоящее и будущее) // Изв. РАН. Сер. Энергетика. – 2008. – № 1. – С. 41–44.
4. Богуславский И. З., Иванов В. Г., Рогачевский В. С., Турусов С. Н. Метод определения МДС обмотки статора для исследования эксплуатационных характеристик частотно-регулируемых двигателей // Науч.-техн. ведомости СПбГПУ. – 2008. – С. 34–37.
5. Гармаш Д., Наумова Т., Темкин М., Мартулев П. Суда спасатели: новые подходы к концепции создания // Морской флот. – 2014. – № 5. – С. 36–46.
6. Федоров Ф. Ю. Технологии АБВ для морских установок. – АБВ Марин, 2012. ■

9 октября 2015 г. подписан приемный акт ледокола «Владивосток» пр. 21900М.

Проектная документация судна, а также рабочая конструкторская, эксплуатационная и приемо-сдаточная документация была разработана КБ «Вымпел». В статье предлагается ознакомиться с некоторыми аспектами проектирования электроэнергетической установки (ЭЭУ) судна.

Помимо проектных работ, регламентированных правилами классификационного общества и требованиями заказчика, на судах со сложными ЭЭУ неизбежно возникает необходимость проведения дополнительных исследований.

Электроэнергетическая система (ЭЭС) ледокола представлена на рис. 1.

Все генераторы приводятся во вращение дизельными двигателями. Для надежности электроснабжения ответственных потребителей использована перекрестная схема их питания с разных участков шин главных распределительных щитов. Для плавного перевода ЭЭС судна из режима «ход» в режим «стоянка» предусмотрена кратковременная параллельная работа стояночных генераторов с понижающим трансформатором 6,3/0,4кВ. Имеется аварийный генератор.

Управление гребными электродвигателями и электродвигателями подруливающего устройства осуществляют преобразователи частоты со звеном постоянного тока и автономным инвертором напряжения (ПЧ с АИН). Мощность преобразователей частоты ГЭУ имеет тот же порядок, что и мощность источников электроэнергии.

Подробному анализу в первую очередь было подвергнуто влияние статических преобразователей частоты гребной электроустановки и подруливающего устройства на судовую сеть. Этому вопросу посвящено большое количество статей, учебной и справочной литературы. Однако из «реальных» инструментов, действующих руководящих документов судостроительной промышленности существует только документ издания 1985 г. Очевидно, техника за прошедшее время изменилась, и методики руководящих документов нуждаются в актуализации. Совместно с кафедрой электрооборудования судов НГТУ им. Р.Е. Алексеева была разработана математическая модель ЭЭС судна на базе системы уравнений синхронного генератора Парка–Горева, математической модели преобразователей частоты электродвигателей. С использованием средств математического моделирования ЭЭС был проведен анализ их работы в различных режимах работы судна. Результат моделирования приведен на

ОБ ОСОБЕННОСТЯХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ЛЕДОКОЛА ПРОЕКТА 21900М

*С.А. Милавин, зам. ген. директора,
Д.В. Умяров, начальник отдела, КБ «Вымпел»,
В.Г. Титов, д-р техн. наук, зав. кафедрой НГТУ им. Р.Е. Алексеева,
контакт. тел. (831) 412 4427, 439 6734*

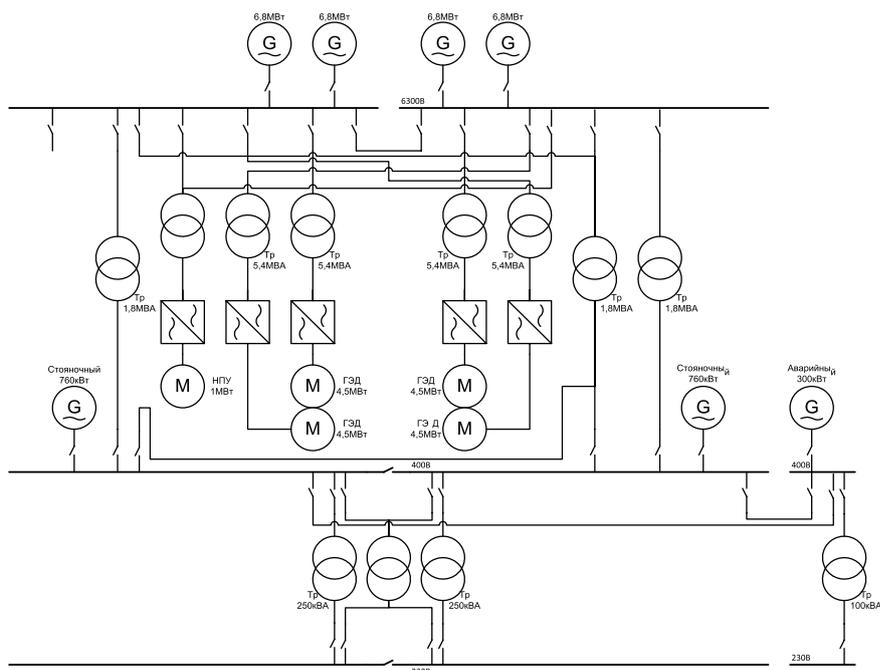


Рис. 1. Структура ЭЭС ледокола пр. 21900М

рис. 2. Исследования показали, что коэффициент несинусоидальности кривой напряжения на шинах ГРЩ400В не превышает допустимых Правилами РС 10% и не оказывает значительного негативного влияния на судовую сеть. Ходовые испытания подтвердили правильность выводов, сделанных по результатам расчетов.

В рамках этой работы были также исследованы переходные процессы при торможении судна реверсом винта и разворотом ВРК. Кинетическая энергия судна определяется по уравнению.

$$E_k = \frac{m \cdot V^2}{2}, \text{ где } m - \text{масса, } V - \text{скорость движения.}$$

Для торможения судна необходимо создать вектор тяги, направленный противоположно направлению движения судна. Это можно сделать двумя способами: реверсом гребного винта или разворотом колонки на 180°. Для реверса винта необходимо реверсировать гребной электродвигатель, который начинается с его торможения до нулевой частоты вращения. Это может быть сделано двумя способами: динамическим торможением

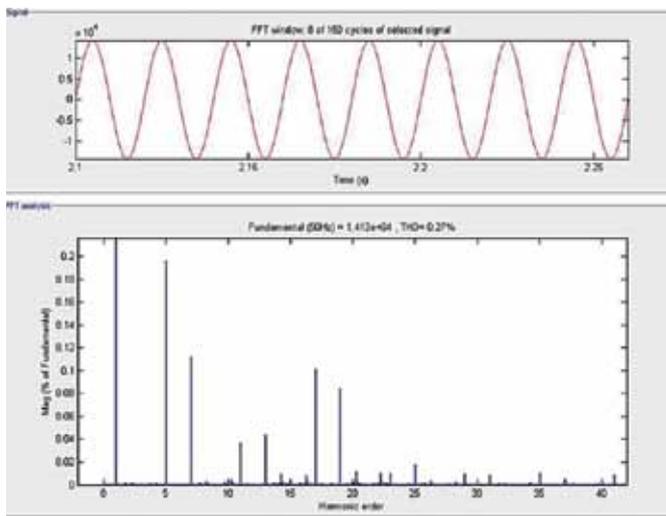


Рис. 2. Результаты гармонического анализа напряжения для одного из режимов работы ГЭУ

нием (гашением энергии двигателя на тормозном резисторе) и торможением с рекуперацией энергии в сеть. Преобразователь частоты (ПЧ) с АИН, используемые для управления гребными двигателями, не позволяют рекуперировать электроэнергию в сеть. Для этого выпрямитель на их входе должен быть управляемым, что усложняет преобразователь и повышает его стоимость. Сеть и ди-

зель-генераторы также не приспособлены к периодическим выбросам энергии от гребной электроустановки. Таким образом, остаются вариант динамического торможения с последующей сменой направления вращения поля статора ГЭД и вариант разворота колонки (рис. 3). Для торможения ГЭД с номинальной частоты вращения в режиме динамического торможения при поддержании тока

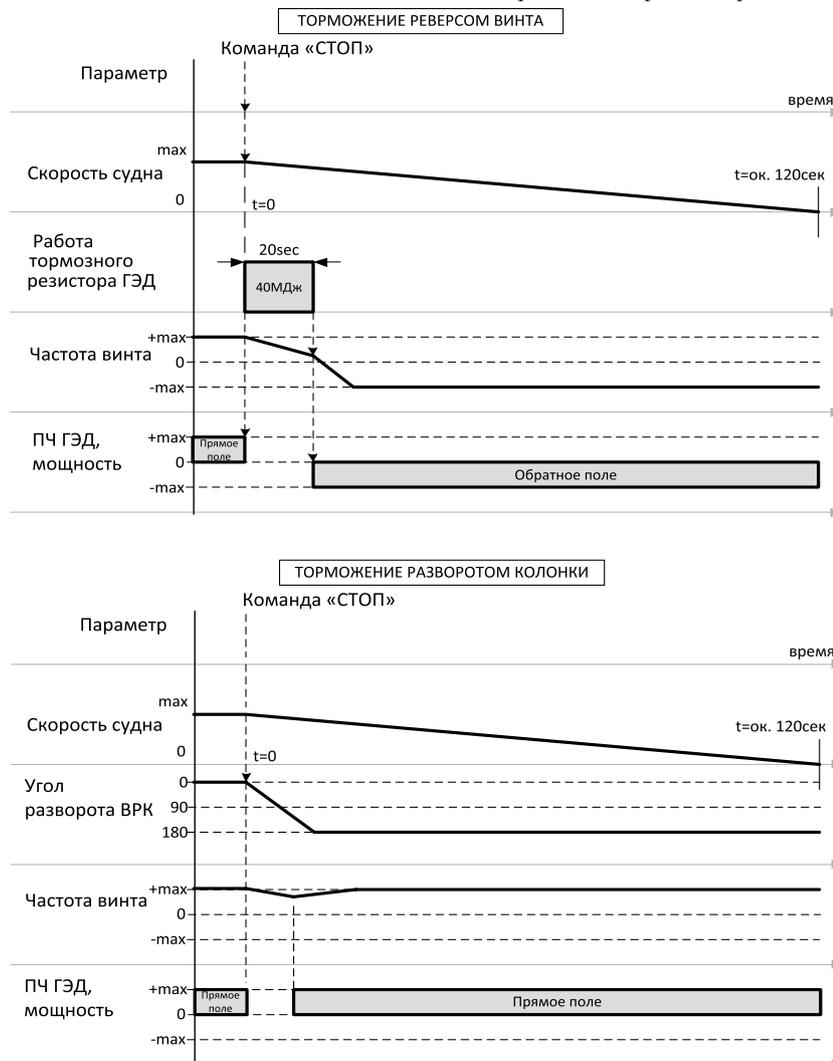


Рис. 3. Циклограмма вариантов торможения судна

в статоре, равном номинальному, требуется примерно 20 с. За это время выделяется тепловая энергия, определяемая интегралом Джоуля $\int_0^T I(t)^2 \cdot R_t dt$, где $I(t)$ – функция тока, R_t – величина тормозного сопротивления.

Около 40 МДж (2 МВт) тепловой энергии необходимо было бы утилизировать. Для сравнения необходимо отметить, что тепловыделения всего машинного отделения не превышают 1МВт. За это же время винторулевая колонка (ВРК) может быть развернута на 180°, так как максимальная скорость ее разворота составляет 9 град./с. Режим динамического торможения требует установки тормозного резистора и системы отвода выделяемого тепла, тогда как разворот ВРК может быть выполнен уже имеющимися средствами и без больших тепловыделений. На основании приведенных выше рассуждений было принято решение не предусматривать реверс в алгоритме управления ГЭД, а тормозить судно разворотом ВРК. Ходовые испытания подтвердили правильность принятого решения.

Другим объектом исследования стал механизм разворота ВРК, точнее, обеспечение возможности руления при потере хода и при буксировке судна при работе аварийного генератора. Номинальная мощность системы разворота и смазки ВРК равна четырем (!) мощностям аварийного генератора. Столь высокая мощность механизмов разворота обусловлена высоким ледовым классом судна. При этом в других конвенциональных аварийных режимах, которые требуется рассматривать при выборе мощности аварийного генератора, загрузка последнего не превышала 85%. Решением стала адаптивная система электроснабжения, в которой мощность механизмов разворота и канал передачи к нему электроэнергии определяются состоянием ЭЭУ: в штатном режиме электроэнергия в полном объеме подается по основным фидерам к работающим на полную мощность механизмам разворота, при работе аварийного генератора мощность механизмов разворота ограничивается и электроэнергия к ним подается по аварийным фидерам. Для штатных и аварийных режимов работы ЭЭС требования к скорости разворота ВРК разные. При работе ГЭУ судна на полную мощность в тяжелых навигационных условиях скорость разворота ВРК должна быть выше, чем при буксировке судна. Регулирование мощности системы разворота осуществляется применением в механизме разворота асинхронных электродвигателей, управляемых преобразователями частоты. Возможность плавного регулирования оборотов при постоянном электромагнитном моменте – одно из достоинств частотных электроприводов (рис. 4).

Устройство механизма разворота приведено на рис. 5.

Алгоритм работы адаптивной системы электроснабжения механизма разворота ВРК поясняет рис. 6.

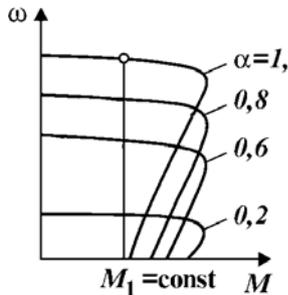


Рис. 4. Механические характеристики частотно-управляемого асинхронного электродвигателя при постоянном моменте

а)

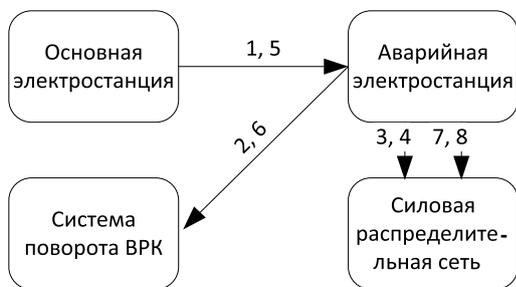


Рис. 6. Функциональная схема (а) и циклограмма работы адаптивных фидеров механизмов поворота ВРК (б)

Данное решение позволило уйти от необоснованного увеличения мощности аварийного генератора и сохранить ее в оптимальных пределах.

Необходимо отметить, что ВРК с полноповоротным погружным электродвига-

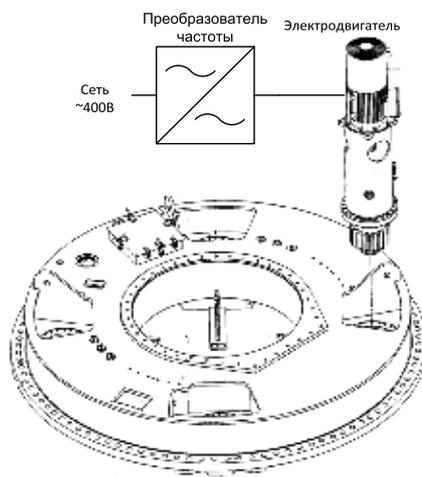
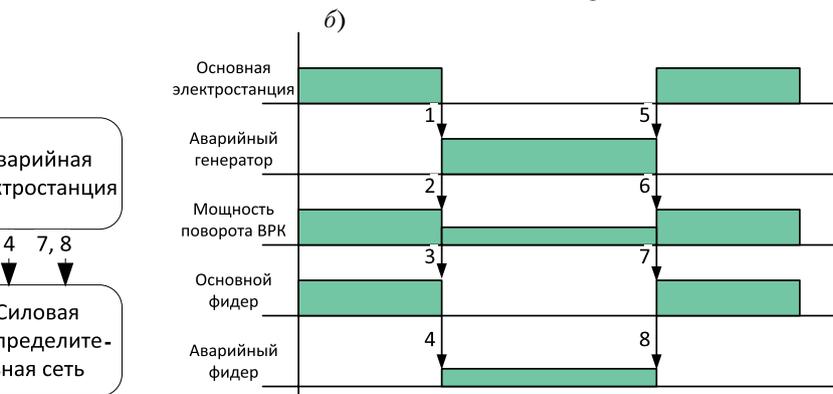


Рис. 5. Устройство механизма разворота ВРК



телем, предлагаемые в настоящее время к установке на суда, имеют гидравлический привод разворота, который не позволяет регулировать мощность разворота так же плавно, как это осуществляется в электрическом приводе механических ВРК.

Одной статьи недостаточно, чтобы исчерпывающе изложить в ней все тонкости проектирования ЭЭС ледокола пр.21900М. Это сложный многоступенчатый процесс, результат которого зависит от качества работы всех его участников.

Отдельного рассмотрения заслуживает расчет токов короткого замыкания и анализ селективности защиты, система автоматизации ЭЭС судна, вспомогательных механизмов главной энергоустановки.

Проект 21900М – это глубокая модернизация ледоколов «Москва» и «Санкт-Петербург» пр. 21900, которые были спроектированы и построены после сорокалетней паузы в создании дизель-электрических ледоколов в Рос-

сии. Успешные испытания и сдача судна заказчику доказывают, что пр. 21900М свидетельствует о продолжении возрождения отечественной школы проектирования и строительства дизель-электрических ледоколов. ■

Трудности с электроснабжением корабельного электрооборудования от береговой сети связаны с несовпадением параметров корабельных и береговых электросетей (напряжения и частоты) в разных частях мира. Помимо этого, в береговой сети могут быть нарушены технические нормы на качество электроэнергии. На линии берегового электроснабжения возможны провалы, колебания, выбросы и отклонения частоты напряжения, высокочастотные и импульсные помехи. Исходя из этого, существующие и вновь строящиеся суда должны быть оборудованы преобразователями берегового питания, который может автоматически корректировать параметры береговой электросети в соответствии с параметрами корабельной системы независимо от того, какое напряжение и частоту имеет береговая электросеть.

ПИТАНИЕ КОРАБЛЕЙ ОТ БЕРЕГОВОЙ ЭЛЕКТРОСЕТИ

А.П. Емельянов, канд. техн. наук, доцент,
В.И. Вершинин, канд. техн. наук, доцент,
 Национальный минерально-сырьевой университет «Горный»,
А.Н. Богданов, инженер АО «Новая ЭРА»,
 контакт. тел. (812) 610 02 40

КОРАБЕЛЬНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ БЕРЕГОВОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Для сетей напряжением 0,4 кВ целесообразно такой преобразователь строить по схеме с двойным преобразованием электроэнергии без трансформатора. Береговое трехфазное переменное напряжение преобразуется в постоянное, а затем постоянное напряжение – в переменное. Преобразователь формиру-

ет выходное трехфазное напряжение с параметрами судовой сети заданного качества. Чтобы уложиться в рамки современных международных стандартов и отечественного стандарта ГОСТ Р 54149 на качество потребляемой электроэнергии по гармоникам потребляемого тока, во входных устройствах стали применять активные выпрямители с возможностью коррекции коэффициента мощности. Отличительными осо-

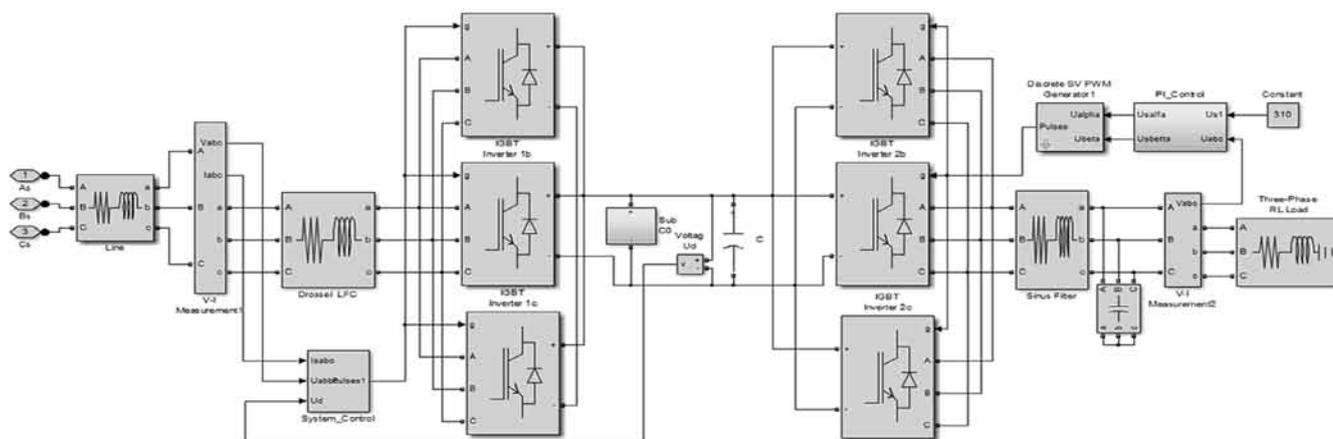


Рис. 1. Корабельный преобразователь береговой электроэнергии

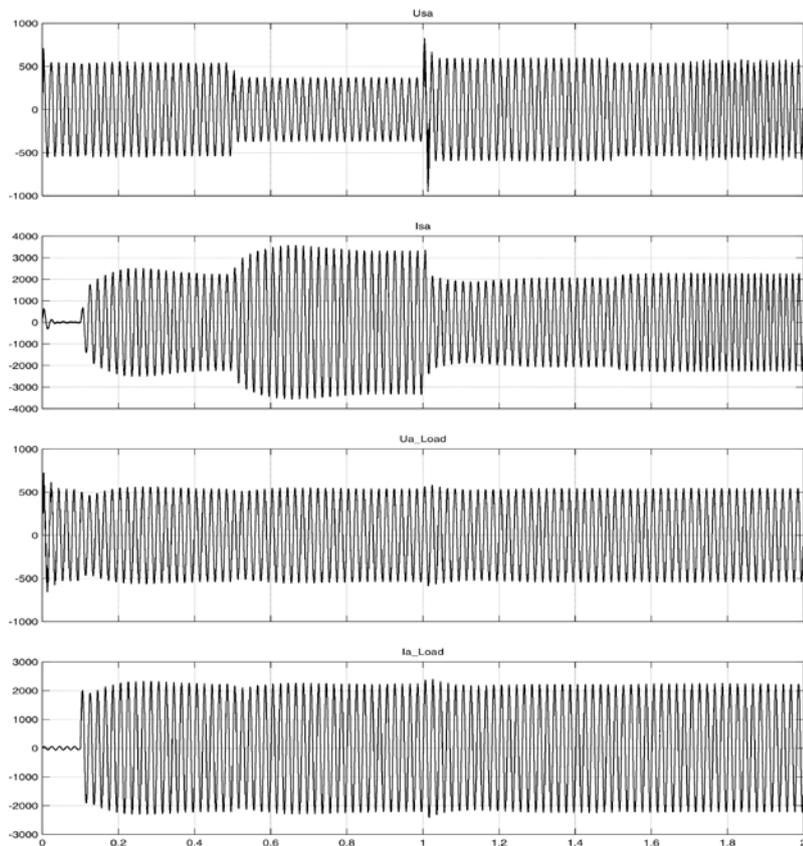


Рис. 2. Графики переходных процессов в преобразователе электроэнергии

На вход преобразователя электроэнергии, согласно рис. 1, по кабелю подается береговое напряжение питания (блок Line). Схема состоит из двух трехфазных инверторов, для увеличения мощности которых ключи инверторов соединены параллельно. Первый трехфазный инвертор относится к активному выпрямителю, второй инвертор формирует трехфазное выходное напряжение и через синус фильтр (блок Sinus Filter) подключен к судовой сети (блок Three-Phase RL Load). Первый уровень стабилизации амплитуды напряжения достигается в активном выпрямителе путем стабилизации выходного напряжения постоянного тока. Второй уровень стабилизации организован в выходном инверторе с помощью ПИ-регулятора амплитуды напряжения. Работу преобразователя электроэнергии иллюстрирует рис. 2.

Рис. 2 характеризует напряжения и токи на входе преобразователя электроэнергии (U_{sa} , I_{sa}) и на выходе (U_{a_Load} , I_{a_Load}). Входное напряжение (U_{sa}) частотой 50 Гц через время 0,5 с уменьшилось на 30% от номинального значения, через 1 с входное напряжение возросло на 10% от номинального и через 1,5 с входное напряжение вернулось к номинальному значению. Через 1,7 с частота сети увеличилась до 60 Гц.

Как видно из графиков, выходное напряжение (U_{a_Load}) стабилизировано на заданном номинальном уровне, при потребляемой мощности нагрузок корабельной сети 1000 кВА. Преобразователь нечувствителен к изменению частоты входного напряжения.

Такой преобразователь электроэнергии в сочетании с валогенератором, который соединен с главным корабельным двигателем, может применяться для длительного электропитания корабля на ходу, даже при изменении частоты вращения гребного вала. ■

бенностями активного выпрямителя являются:

- малые искажения входного тока;
- возможность рекуперации энергии в сеть;
- коэффициент мощности, близкий к единице;
- стабилизация выпрямленного напряжения на уровне большем, чем амплитудное напряжение сети.
- Наиболее распространенной системой управления активным выпрямителем является система векторного управления с ориентацией по обобщенному вектору напряжения сети и контурами подчиненного регулирования активного и реактивного токов сети, причем кон-

тур регулирования активного тока подчинен контуру стабилизации напряжения.

Схема корабельного преобразователя береговой электроэнергии с двухступенчатой стабилизацией амплитуды напряжения представлена на рис. 1.

Преобразователь имеет следующие параметры:

Входное трехфазное напряжение, В.....	380
Выходное трехфазное напряжение, В.....	380
Частота сети, Гц	От 50 до 60
Мощность в нагрузке, кВА	1000
Гармонические искажения:	
тока сети по входу	THD < 2%
напряжения на выходе	THD < 3%
напряжения на выходе	THD < 2%
КПД, %	98

ВВЕДЕНИЕ

Работоспособность теплового двигателя, его энергетическая эффективность, топливная экономичность, уровень негативного воздействия на окружающую среду во многом зависят от качества организации внутрицилиндровых процессов, свойств образовавшегося рабочего тела и его возможности полностью отдавать аккумулированную в нем энергию на совершение внутрицилиндровой работы. Однако эффективность внутрицилиндровой работы станет еще значимей, если конструктивное оформление рабочего объема будет в полной мере соответствовать максимальному использованию внутренней энергии рабочего тела.

РАБОТА ГАЗА КАК РАБОЧЕГО ТЕЛА

Рассмотрим образовавшееся в процессе рабочего цикла поршневого двигателя рабочее тело или газ. Помимо совершаемой работы расширения тело получает (или отдает) энергию путем непосредственной передачи ее к соприкасающимся элементам рабочего цилиндра и обменом лучеиспусканием с этими же элементами рабочего цилиндра, предварительно нагретыми от предыдущих циклов. Эта часть изменения внутренней энергии является стоком или внутренним источником количества теплоты ΔQ . Таким образом, изменение энергии тела можно записать как:

$$dU = \Delta Q - p \times dV,$$

где $p \times dV$ – малое количество работы, совершенное за счет перемещения элемента поверхности с высвобождением какого-то объема V под действием давления газа p .

Положительной считается работа, совершенная внешними силами над телом, т. е. когда внутренняя энергия тела возрастает. Если же тело совершает работу над окружающей средой за счет своей внутренней энергии, то эта работа считается отрицательной.

Тогда вид полного дифференциала внутренней энергии запишется так [1, 2]:

$$dU = T \times dS - p \times dV.$$

Сравнивая это выражение с предыдущим, получаем

$$\Delta Q = T \times dS \text{ или } dS = \Delta Q / T.$$

Это подтверждает представление об энтропии как о приведенной теплоте.

Элементарные количества работы $p \times dV$ и количества теплоты ΔQ , получаемые телом при бесконечно малом изменении его состояния, в общем случае не являются полными дифференциалами. Только сумма $\Delta Q + p \times dV$, т. е. изменение внутренней энергии dU , всегда есть полный дифференциал. Иначе говоря, энергию тела нельзя разделить строго на механическую и тепловую. Необходимость в таком делении возникает лишь при определении путей изменения имевшегося количества энергии. Соот-

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ВНУТРИЦИЛИНДРОВЫХ ПРОЦЕССОВ ПОРШНЕВОГО ДВИГАТЕЛЯ КАК ОДНО ИЗ СРЕДСТВ ВЫБОРА ЕГО КОНСТРУКЦИОННОГО ОФОРМЛЕНИЯ

М.Н. Покусаев, д-р техн. наук, зав. кафедрой Астраханского государственного технического университета, П.А. Дорохов, инженер-инспектор Астраханского филиала ФАУ «Российский морской регистр судоходства», контакт. тел. (812) 605 0521

ношение получающихся количеств теплоты и работы не определяется только начальным и конечным состоянием тела, а полностью зависит от пути перехода, т. е. характера процесса. Наиболее наглядно это свойство видно на замкнутых процессах (циклах), начинающихся и кончающихся в одном состоянии. Здесь изменение внутренней энергии равно нулю, а тело при этом может получать или отдавать теплоту или совершать работу.

Функции, изменение которых при замкнутом цикле равно нулю (т. е. их дифференциалы являются полными), называются *функциями состояния*, или *потенциалами*. В термодинамике они называются термодинамическими функциями или потенциалами. Исходя из вида полного дифференциала для внутренней энергии, можно видеть, что U является термодинамическим потенциалом относительно переменных S и V .

ТЕПЛОВАЯ ФУНКЦИЯ

Термодинамических переменных, от которых зависит внутренняя энергия, четыре. Это объем V , давление p , температура T и энтропия S . Независимыми из них будет любая пара (если учитывать состав, то независимых переменных будет три). Поэтому, зная какой-нибудь термодинамический потенциал при значениях двух соответствующих переменных и используя свойства потенциалов, можно вычислить (через частные производные) значения двух других переменных и всех остальных потенциалов. Этот факт и определяет методику нахождения и использования термодинамических потенциалов на практике, в прикладных расчетах [3].

Например, найдем функцию состояния, в математическом отношении потенциальную, относительно переменных S и p . Известно, что количество теплоты, полученное телом, зависит от условий проведения процесса. На практике часто рассматривают процессы с постоянным объемом (изохорные) или процес-

сы с постоянным давлением (изобарные). Если процесс изохорный, то тело не совершает механической работы ($dV=0$), очевидно, что вся получаемая теплота идет на изменение энергии – dU . На рис. 1 показан теоретический термодинамический комбинированный цикл поршневого двигателя (цикл Тринклера – Сабатэ) в координатах $p - V$ и $T - S$. На этом цикле основано действие всех действительных циклов современных дизельных двигателей. В этом цикле к начинающему формироваться рабочему телу теплота сначала подводится по изохоре – участок 2–3 при $V = \text{const}$, при этом вся получаемая теплота идет на увеличение внутренней энергии dU . На следующем участке в связи с началом движения поршня и соответствующим увеличением объема V процесс подвода теплоты продолжается, но уже по изобаре при $p = \text{const}$ на участке 3–4.

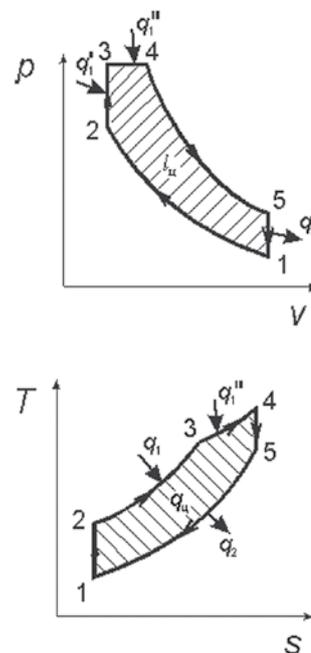


Рис. 1. Теоретический термодинамический цикл Тринклера – Сабатэ

Если процесс изобарный ($p = \text{const}$), то рассмотренное ранее соотношение

можно переписать как дифференциал некоторой функции H полученного рабочим телом количества теплоты dQ :

$$dQ = dH,$$

где $H = U + p \times V$,

которая по физическому смыслу является теплосодержанием и в теоретической физике носит название *тепловой функции*, а чаще всего, особенно в термодинамике, называется *энтальпией* [3]. Ее физический смысл в том, что при постоянном давлении изменение энтальпии (теплосодержания) равно количеству теплоты, получаемому телом,

$$(\Delta Q)_{V,S} = dH$$

и которое идет:

- на изменение внутренней энергии dU (через изменение температуры тела);
- на совершение работы над внешней средой $p dV$ (через изменение объема).

Полный дифференциал энтальпии для произвольного процесса будет иметь вид [4]

$$dH = dU + (pdV + Vdp) = TdS - pdV + pdV + Vdp = TdS + Vdp.$$

Отсюда сразу следует, что для процесса, проводимого при постоянном давлении p и энтропии S , количество получаемой теплоты dH есть полный дифференциал. Следовательно, сама функция H – энтальпия – есть термодинамический потенциал относительно переменных p и S . Тогда следует, что для увеличения работоспособности дизельных двигателей необходимо максимально возможно увеличивать теплосодержание рабочего тела H при переменных p и S за счет увеличения суммарной температуры газа T и объема V .

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ ОРГАНИЗАЦИИ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫХ РАБОЧИХ ПРОЦЕССОВ ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Из рис. 1 видно, что для увеличения суммарной температуры газа T необходимо увеличивать количество изохорно подведенной теплоты $(\Delta Q)_{p,T}$. Технически это осуществляется за счет увеличения мелкодисперсных капель в топливном факеле, впрыскиваемом в цилиндр через форсунку с тем, чтобы эта мелкодисперсная составляющая быстро испарялась в горячей и движущейся воздушной среде внутри цилиндра, смешивалась с воздухом, образуя рабочую топливовоздушную смесь, сгорающую при минимальных изменениях объема цилиндра, т. е. практически изохорно. Чем больше будет удельный вес этой мелкодисперсной составляющей в общей массе цикловой подачи топлива, тем большее количество теплоты будет подведено к рабочему телу на изохорном участке и тем больше будут значения давления и температуры.

Современное дизелестроение старается решать эту задачу сочетанием вы-

соких и сверхвысоких давлений впрыска (200 МПа) и сверхмалых диаметров сопловых отверстий распылителей форсунок (0,03 мм) [5, 6], а также разделением цикловой подачи топлива путем применения систем двойного впрыска. Таким образом, достигаются высокие значения термического КПД цикла. Дополнительным увеличением количества работы за счет увеличения объема V получают дополнительный рост энтальпии, т. е. работоспособности газа, что позволяет достичь высоких значений индикаторного КПД цикла. Поэтому современные среднеоборотные двигатели имеют тенденцию к длинноходности т. е. к увеличению хода поршня [5, 6].

Однако есть и другой путь увеличения изохорно подведенной теплоты к рабочему телу, конструктивно и технологически более простой. Путь заключается в применении принципа комбинированного смесеобразования в дизельных двигателях [8, 9]. В двигателе сжимается обедненная гомогенная топливно-воздушная рабочая смесь, сформированная на этапе внешнего смесеобразования, включающая в себя часть цикловой подачи топлива, хорошо подготовленная к сгоранию. При впрыске в цилиндр оставшейся части цикловой подачи происходит быстрое воспламенение с последующим быстрым сгоранием при минимальном периоде задержки самовоспламенения и достижения максимальной температуры и давления за малый угол поворота коленчатого вала, т. е. почти изохорно. Это позволит увеличить внутреннюю энергию рабочего тела за счет быстрого подвода к нему теплоты.

Увеличение хода поршня, для получения дополнительной работы, ведет к общему росту габаритов двигателей, что накладывает определенные ограничения на область их применения. В этом плане становится актуальной задача использования двигателей с бесшатунными механизмами преобразования движения (БМПД). У двигателей с БМПД определенной компоновки при одинаковых габаритах с двигателями с традиционным кривошипно-шатунным механизмом ход поршня больший, что и позволяет решать задачу получения дополнительной работы. Кроме того, отсутствие трения поршня с цилиндром не требует значительного количества масла для смазки при более высоких значениях механического КПД, в принципе, можно и вовсе отказаться от использования жидких смазок, заменяя их твердыми или газовыми [10]. Помимо этого появляются предпосылки к адиабатизации рабочего процесса путем термоизоляции (частичной или полной) рабочего цилиндра [10]. Увеличение общего термического со-

противления стенок цилиндра теплопередаче приведет к возрастанию температурного напора (разнице температур между тепловоспринимающей и теплоотдающей стенками) за счет увеличения температуры тепловоспринимающей стенки при неизменной температуре теплоотдающей стенки. Рассмотрим структуру внутреннего теплового баланса двигателя

$$Q_{\text{расп}} = Q_i + Q_{\text{тп}} + Q_{\text{пот}},$$

где $Q_{\text{расп}}$ – располагаемая теплота, эквивалентная теплоте, введенной в цилиндр с топливом; Q_i – индикаторная теплота, эквивалентная индикаторной работе газов в цилиндре; $Q_{\text{тп}}$ – теплота, отведенная из цилиндра с отработавшими газами; $Q_{\text{пот}}$ – теплота отведенная за стенки цилиндра теплопередачей; $Q_{\text{пот}}$ – потерянная теплота, в основном вследствие неполноты сгорания топлива (до 15% от массы цикловой подачи топлива).

Увеличение температуры тепловоспринимающей стенки при возросшем температурном напоре возможно только за счет увеличения температуры газа в цилиндре. Увеличение температуры газа приводит к возрастанию его теплосодержания (энтальпии), что повышает работоспособность газа за счет роста давления в цилиндре. Следовательно, имеет место увеличение индикаторной работы и, как следствие, увеличение индикаторного КПД $\eta_i = Q_i / Q_{\text{расп}}$. Увеличение индикаторного КПД влечет за собой рост эффективного КПД при неизменном уровне внутренних потерь двигателя. Баланс сохраняется ввиду снижения потерь теплоты в цилиндре из-за уменьшения степени неполноты сгорания топлива, что явилось следствием повышения температуры внутрицилиндровых процессов.

СУММАРНАЯ ТЕМПЕРАТУРА ЦИКЛА И СРЕДНЯЯ ИНДИКАТОРНАЯ ТЕМПЕРАТУРА

Долгое время без должного внимания оказывался внутрицилиндровый температурный фактор, если не считать определения максимальной температуры цикла при тепловом расчете двигателя T_z или T_z ($^{\circ}\text{C}$ или K). Однако суммарное значение температуры образованного рабочего тела за рабочий цикл определяет его теплосодержание и, следовательно, работоспособность. На рис. 2–4 приведены графики действительных индикаторных диаграмм и цикловых температур, полученные при испытаниях дизеля 4ЧН9,5/11 в Лаборатории проблем моторной энергетики Института физики Дагестанского государственного технического университета под руководством профессора А. Ф. Дорохова [11].

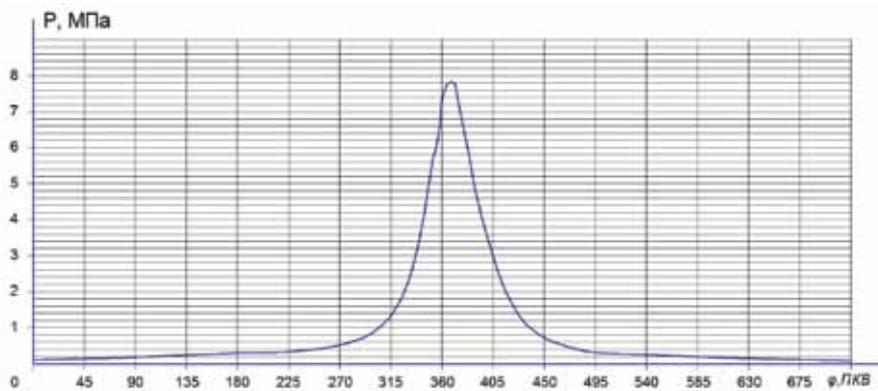


Рис. 2. Развернутая индикаторная диаграмма 4ЧН9,5/11, полученная в ходе эксперимента

Индикаторные диаграммы являются основой для построения графиков температур либо графическим методом по В. А. Ваншейдту [7], либо по уравнению состояния идеального газа Клапейрона–Менделеева

$$pV = GRT,$$

где p – давление, МПа; V – объем, м³; R – универсальная газовая постоянная, Дж/(моль, К); T – температура, К.

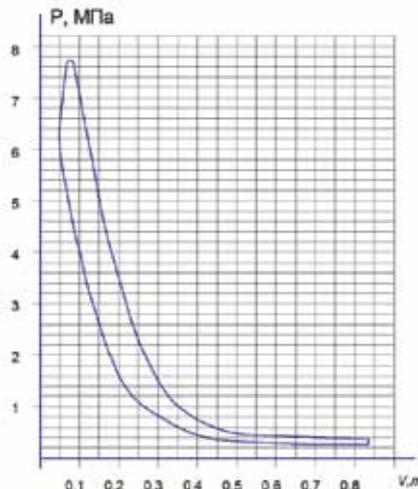


Рис. 3. Свернутая индикаторная диаграмма

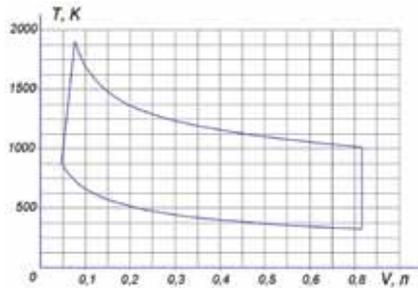


Рис. 4. График температур цикла

Суммарное значение температуры рабочего тела за цикл можно определить по формуле

$$T_{\Sigma} = \int T(V)dV, \text{ К}\cdot\text{м}^3,$$

тогда средняя индикаторная температура за цикл определится как

$$T_i = T_{\Sigma} / V_h, \text{ К},$$

где V_h – рабочий объем цилиндра, м³.

Условимся считать, что средняя индикаторная температура цикла есть условная постоянная температура рабочего тела, определяющая его теплоемкость (энтальпию), а следовательно, работоспособность в течение всего цикла. Графически T_i можно представить как высоту прямоугольника, площадь которого равна площади замкнутой температурной кривой, а основание равно ходу поршня. Сравнивая значения средних индикаторных температур для разных термодинамических циклов поршневых двигателей, можно оценить уровень работоспособности рабочего тела и предложить технические решения, направленные на повышение его энтальпии.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, термодинамический анализ состояния рабочего тела в цилиндре двигателя, оценка средней температуры газа за цикл, индикаторной температуры дают возможность оценки перспектив работоспособности газа, что позволяет прогнозировать возможность повышения эффективности работы машины с помощью различных конструктивных новаций. В этом плане температурные показатели T_{Σ} и T_i имеют приоритет перед силовыми – p_2 и p_1 , которые только фиксируют текущее состояние рабочего тела и не позволяют оценить скрытую перспективу роста работоспособности газа.

Кроме того, приведенный термодинамический анализ и рассмотренные направления конструкционного оформления судовых дизелей позволят повысить энергоэффективность судов, пре-

дусмотренную положениями Международной Конвенции МАРПОЛ 73/78 [12]. Эти же направления конструкционного оформления судовых дизелей будут способствовать снижению выбросов NO_x и SO_x вследствие максимального использования работоспособности газа в цилиндре дизеля и минимизации его температуры на выходе из цилиндра, что также предусматривается Приложением VI к Конвенции МАРПОЛ 73/78. Высокие значения средней температуры цикла, обеспечивающие минимизацию недогара топлива, будут способствовать уменьшению количества выбросов сажи и, соответственно, дымности двигателя.

ЛИТЕРАТУРА

1. Базаров И. П. Термодинамика. – М.: Высшая школа, 1991. – 376 с.
2. Александров А. А. Термодинамические основы циклов теплоэнергетических установок. – М.: Изд-во МЭИ, 2004. – 340 с.
3. Квасников И. А. Термодинамика и статистическая физика. Т. 1: Теория равновесных систем: Термодинамика. Изд. 2-е испр. и доп. – М.: УРСС, 2002. – 240 с.
4. http://www.kaf9.mephi.ru/thermodynamics/textbook/files/P_3_2.htm
5. Конкс Г. А., Лашко В. А. Мировое судовое дизелестроение. Концепции конструирования, анализ международного опыта. – М.: Машиностроение. 2005. – 512 с.
6. Возницкий И. В., Пунда А. С. Судовые двигатели внутреннего сгорания. – В 2-х т. – «МОР-КНИГА», 2008. – 283 с.
7. Ваншейдт В. А. Судовые двигатели внутреннего сгорания. – Л.: Судостроение, 1977. – 392 с.
8. Дорохов А. Ф., Исаев А. П., Колосов К. К., Малютин Е. А. Способ работы двигателя внутреннего сгорания, устройство для осуществления комбинированного смешения. Патент РФ № 2388916 С2; МПК F02B 19/18. Заявл. 10.06.2008. Оpubл. 10.05.2010 // Бюлл. № 13.
9. Исаев А. П. Рабочий процесс судового ДВС с комбинированным смешением и воспламенением от сжатия. Диссерт. канд. техн. наук, Астрахан. гос. техн. ун-т, 2012. – 170 с.
10. Михайлов Л. И. На пути создания адиабатного двигателя // Двигателестроение. – 1982. – № 5. – С. 52–59.
11. Дорохов П. А., Дорохов А. Ф. Суммарная температура газа за рабочий цикл и средняя индикаторная температура // Вестник Астрахан. гос. техн. ун-та. – Сер.: Морская техника и технология, 2014. – № 3. – С. 77–82.
12. Российский морской регистр судоходства. Руководство по применению положений Международной конвенции МАРПОЛ 73/78. СПб, 2015. – 122 с. ■

Законодательным органом, нормирующим экологические показатели судовых ДВС, является Международная морская организация (ИМО). Разработанные ею и действующие с 1 января 2011 г. технические нормы ИМО Tier-2 касаются только выбросов оксидов азота. С 2016 г. предлагается ввести новый стандарт ИМО Tier-3, в котором предельно допустимое содержание оксидов азота в отработавших газах (ОГ) будет снижено почти в 4 раза. Такое жесткое ужесточение нормативов на выбросы загрязняющих атмосферу веществ вынуждает изыскивать все новые и новые технические решения. С полным правом к ним относится предлагаемый способ подачи сжатого воздуха в период впрыскивания топлива, который позволяет решить сразу три задачи: снизить выбросы оксидов азота и уменьшить дымность ОГ и удельный эффективный расход топлива.

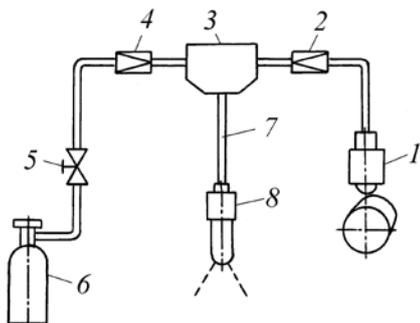


Рис. 1. Схема подготовки топливоздушной смеси

Основным элементом устройства для кратковременной подачи воздуха служит специально изготовленный смеситель 3 (рис. 1), в который одновременно подводится воздух и топливо. Топливо от насоса высокого давления 1 подается к смесителю через невозвратный клапан 2, препятствующий забросу воздуха в топливную трубку высокого давления. В нашем случае его роль выполняет форсунка от двигателя 2Ч 8,5/11. Воздух из баллона 6 подводится к смесителю через три клапана. Один клапан – запорный, расположен на баллоне, другой 5 – обычный механический, позволяет регулировать давление и расход воздуха, третий – невозвратный клапан 4 шарикового типа, препятствует забросу топлива в воздушную трубку. Приготовленная в смесителе горячая топливоздушная смесь поступает к форсунке 8 дизеля через переходник 7. Посредством его крепится смеситель на штатной форсунке дизеля.

Общий вид смесителя и его отдельные детали показаны на рис. 2.

Таким образом, задачей предлагаемого устройства является дробление цикловой подачи топлива на мельчайшие капли и перемешивание их с воздухом. Распад топливной струи проис-

ДОБАВКА ВОЗДУХА В ТОПЛИВО – СРЕДСТВО СНИЖЕНИЯ ОКСИДОВ АЗОТА И ДЫМНОСТИ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ СУДОВЫХ ДВС

В. К. Румб, канд.техн.наук, проф.,
О. В. Серажудинов, аспирант, СПбГМТУ,
контакт. тел. (812) 494 0952



Рис. 2. Топливоздушный смеситель и его детали

ходит под действием деформации при прохождении через калибровочное отверстие диаметром 1,5 мм корпуса смесителя и дополнительно под воздействием аэродинамических сил. Эти силы обусловлены струей воздуха, который подается в смеситель. Непосредственное насыщение топлива воздухом и образование топливоздушной смеси происходит в переходнике.

Указанные процессы перемешивания совмещены с впрыском топливоздушной смеси через сопловые отверстия штатной форсунки. Для реализации этих процессов давление воздуха перед смесителем должно быть больше остаточного давления в переходнике. Это необходимо для того, чтобы в промежутках между впрысками воздух мог поступать в смеситель. Максимальная величина этого давления не должна превышать давление впрыскивания, иначе, как показали эксперименты, возможен сбой в подаче топлива и остановка дизеля.

Экспериментальная проверка снижения выбросов оксидов азота и дым-

ности отработавших газов проводилась на лабораторном стенде с дизелем 3NVD 24 (3Ч 17,5/24) мощностью 48 кВт при 630 мин⁻¹ [1]. Такие двигатели в качестве стояночных дизель-генераторов использовались на больших морозильных рыбопромысловых траулерах типа «Маяковский». Испытания проводились при работе двигателя по нагрузочной характеристике. Приготавливалась топливоздушная смесь в смесителе, который через переходник устанавливался на штатную форсунку одного цилиндра дизеля. При этом остальные два цилиндра были отключены путем прекращения подачи в них топлива в результате подъема толкателей топливных насосов высокого давления с помощью специальных скоб. Испытание двигателя проводилось сначала при отключенной подаче воздуха, а затем с подачей воздуха.

Двигатель был дополнительно оборудован устройством отбора отработавших газов, системой регистрации внутрицилиндровых процессов, приборами для регистрации эмиссии токсичных компонентов и дымности ОГ. Для изучения внутрицилиндровых процессов использовался вычислительный комплекс ДМ-2000, который позволяет одновременно регистрировать давления газов в цилиндре двигателя, топлива в трубопроводе высокого давления и угол поворота коленчатого вала. Эмиссия оксидов азота NO_x определялась с помощью газоанализатора «АВТОТЕСТ-02.03П» [2], а замеры дымности – прибором МЕТА-01МП-0.43 с эффективной базой 43 см [3]. Количественно оценить эффект от питания цилиндра топливоздушной смесью позволяют результаты прямых замеров NO_x и дымности ОГ при работе дизеля на чистом топливе и на топливе с добавкой сжатого воздуха, приведенные на рис. 3 и 4. Сопоставление указанных величин показывает: за счет добавки воздуха в топливо зафиксировано снижение оксидов азота на 16%, а дымность ОГ уменьшилась с 69 до 59,8%, т.е. снижение составило 13,3%.

Для дизеля 3Ч 17,5/24 нормируемый уровень выбросов NO_x по ИМО Tier-2 должен составлять 9,9 г/кВт·ч. Пересчет прямых измерений к удельным показателям для режима с p_i = 0,6 МПа

(эффективная мощность $N_e = 14,91$ кВт) и работе двигателя на чистом топливе дал величину $10,78$ г/кВт·ч, что превышает предельную норму на $7,9\%$. При добавке воздуха в топливо объемная концентрация оксидов азота 808 ppm. В пересчете она эквивалентна $9,05$ г/кВт·ч и уже не превышает предельный уровень.

Сравнительный анализ полученных при испытании дизеля результатов позволяет сделать следующие очевидные выводы:

- на малых и средних нагрузках добавка воздуха мало ощущается, так как замеры при испытании двигателя на чистом топливе и топливовоздушной смеси практически не отличаются друг от друга. Их расхождения укладываются в доверительный интервал с вероятностью 95% ;

- добавка воздуха в топливо дает наибольший эффект снижения токсичности и дымности ОГ на нагрузках, близких к номинальному режиму, т.е. на режимах, наиболее характерных для работы судовых ДВС;

- с увеличением нагрузки на двигатель выбросы оксидов азота растут независимо от вида используемого топлива.

В целом эти выводы хорошо согласуются с теоретическими положениями. Их суть заключается в том, что на образование токсичных компонентов отработавших газов существенное влияние оказывает коэффициент избытка воздуха α : понижение этого коэффициента неизбежно приводит к увеличению эмиссии токсичности отработавших газов. Доказательством данной зависимости служат кривые рис. 3, которые подтверждают наличие указанной закономерности и не требуют дополнительных пояснений.

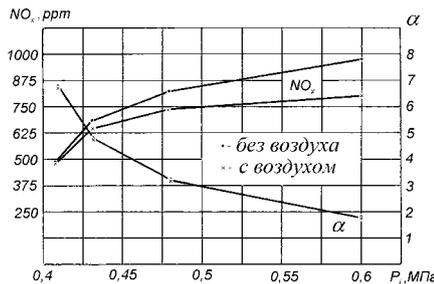


Рис. 3. Совмещенные зависимости для оксидов азота и коэффициента избытка воздуха при работе дизеля 1Ч17,5/24 на нагрузочной характеристике

Имеются все основания считать, что за счет добавки воздуха в топливо создаются дополнительные условия, благоприятно влияющие на тонкость и однородность распыливания. Эти условия обусловлены наличием в топливе пузырьков воздуха, которые ослабляют силы поверхностного натяжения и внутреннего сцепления топлива. В результа-

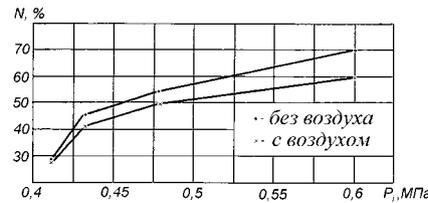


Рис. 4. Экспериментальные зависимости для дымности отработавших газов, проценты непрозрачности

те получается топливный факел, состоящий из перемешанных между собой каплей топлива и пузырьков воздуха. Из-за разных плотностей топлива и воздуха поступательное движение такого факела сопровождается большими потерями энергии, поскольку более легкие пузырьки воздуха тормозят движение относительно тяжелых капель топлива. При этом дальность топливного факела сокращается, растет его поперечное сечение и улучшается микроструктура. Таким образом, подача сжатого воздуха позволяет:

- обеспечить мелкое распыливание, мелкие капли топлива быстрее прогреваются и окисляются, тем самым увеличивается число очагов самовоспламенения;

- уменьшить в топливном факеле количество зон с недостатком кислорода по причине того, что факел расширяется в поперечном направлении и большее количество воздуха вовлекается в него.

Пузырьки воздуха, находящиеся внутри топливного факела, служат дополнительным источником кислорода и новыми очагами воспламенения.

В определенной мере подтверждением сказанному служит анализ индикаторных диаграмм, показанных на рис. 5. При работе дизеля на топливовоздушной смеси сгорание получается относительно плавным, приближенным к изо-

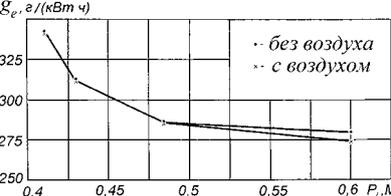
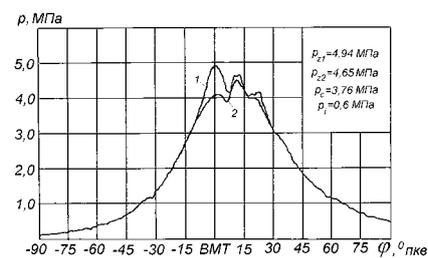


Рис. 5. Совмещенные индикаторные диаграммы 1 — без подачи воздуха, 2 — с подачей воздуха

барному процессу. При этом максимальное давление цикла снизилось с $4,94$ до $4,65$ МПа, или на $5,9\%$, а уменьшение жесткости составило $1,7\%$.

Еще одним аргументом в защиту эффекта от добавки воздуха в топливо и объяснением причин уменьшения концентрации NO_x и снижения дымности ОГ служат кривые тепловыделения и текущие температуры газов, полученные расчетом непосредственно с использованием приведенных индикаторных диаграмм и представленные на рис. 6 [4].

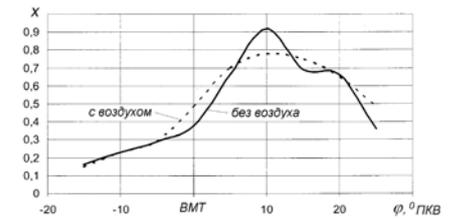


Рис. 6. Кривые тепловыделения и температуры газов

При рассмотрении этих кривых напрашиваются следующее:

- на начальном этапе горения топлива более высокие значения тепловыделения и температуры газов характерны для работы двигателя на топливе с добавкой воздуха. В дальнейшем выделение теплоты и изменение температуры идет плавно, без ярко выраженного максимума, свойственного горению чистого топлива;

- работа двигателя на топливовоздушной смеси обеспечивает снижение максимальной температуры цикла с 1689 до 1587 К, т.е. понижение температуры составило 102° . Так как решающее влияние на образование оксида азота имеет максимальная температура, понятно, почему добавка воздуха в топливо снижает концентрацию NO_x в отработавших газах;

- процесс основного горения топлива, главным образом определяющий механизм образования NO , смещается на линию расширения. Максимум тепловыделения и температуры газов наблюдается при $12-14^\circ$ поворота коленчатого вала после ВМТ, что на $2-4^\circ$ больше, чем при работе двигателя на топливе без добавки воздуха. Смещение на линию расширения сгорания сокращает время протекания реакций образования оксида азота и его закалки.

В связи с положительным влиянием добавки воздуха в топливо на токсичность ОГ возникает вопрос о топливной экономичности двигателя. Ответом на данный вопрос служат экспериментально полученные зависимости для удельного эффективного расхода топлива g_e (рис. 7). Из рассмотрения кривых следует, что перевод дизеля с чистого топлива на топливо с добавкой воздуха приводит к снижению g_e на 5 г/кВт·ч) т.е. эффект по экономии топлива составляет $1,8\%$.

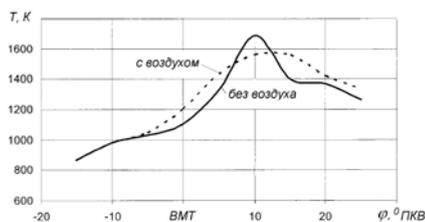


Рис. 7. Зависимости для удельного эффективного расхода топлива без подачи воздуха и с подачей воздуха

Приведенные результаты испытания судового дизеля ЗЧ 17,5/24, работающего по нагрузочной характеристике с опытным топливоздушным смесителем, позволяют констатировать: кратковременная подача сжатого воздуха в процессе вырыскивания топлива способствует

Мировой океан занимает свыше 70% поверхности нашей планеты, в результате чего оказывает огромное влияние на все происходящие на Земле процессы. Поэтому проблема усиливающегося с каждым годом загрязнения Мирового океана является одной из главных проблем, стоящих сегодня перед человечеством.

Морской флот – существенный источник загрязнения воздушной атмосферы и Мирового океана. Огромное количество нефти попадает в море в результате сброса с судов промысловых, балластных и льяльных (трюмных) вод, а также потерь при погрузке и разгрузке танкеров.

Также очень остро стоит вопрос обработки, обезвреживания и утилизации судовых фекальных (черных), хозяйственно-бытовых (серых) и балластных вод.

Сточные воды образуются на судах в процессе водоотведения от санитарного оборудования кают, камбуза, прачечных, санузлов общего пользования, медицинских блоков и помещений, в которых содержатся животные.

Проблеме качественной очистки и обеззараживания сточных вод на судах придается огромное значение, ведь экологическая ситуация в мире не становится лучше. Международные санитарные нормы предъявляют высокие требования к системам очистки сточных вод, устанавливаемых на различных судах. В 1983 г. вошла в силу Конвенция МАРПОЛ–73/78 – Международная конвенция 1973 г. по предотвращению загрязнения с судов, измененная Протоколом 1978 г.

Согласно требованиям Конвенции МАРПОЛ–73/78 все суда должны быть снабжены установками для очистки и обеззараживания льяльных, сточных и хозяйственно-бытовых вод или цистернами для их сбора и последующей передачи на очистные сооружения.

Жесткие требования Международной морской организации (ИМО) от 1997 г. по контролю качества удаляемых

уменьшению выбросов оксидов азота и дымности ОГ и одновременно улучшат топливную экономичность. В частности, зафиксировано снижение удельного эффективного расхода топлива на 1,8%, оксидов азота – на 16%, дымности – на 13,3%. Установлено, что эффект от добавки воздуха в топливо увеличивается по мере роста нагрузки на двигатель, а на режимах, близких к номинальному, он достигает наибольшего значения. Во многом полученный эффект подтверждается теоретическими положениями, согласно которым насыщение топливного факела пузырьками воздуха вызывает более эффективное сгорание по сравнению с обычным факелом, состоящим только из капель топлива.

ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЕ: ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ ООО «ВИНЕТА»

*П.В. Наливкин, начальник ИЦ,
М.М. Ливкова, вед. инженер-конструктор, ООО «Винета»,
контакт. тел. +7 (911) 736 1001*

за борт льяльных, бытовых и сточных вод направлены на ограничение отрицательного воздействия эксплуатируемых судов на окружающую среду. В настоящее время требования к очистке ужесточаются. Это приводит к созданию высокоэффективных методов физико-химической очистки, интенсификации процессов биологической очистки, разработке технологических схем с сочетанием механических, физико-химических и биологических способов очистки и повторному использованию очищенных вод в технологических процессах.

До сих пор оборудование для очистки и обеззараживания сточных, льяльных и балластных вод поставлялось на российские судостроительные заводы зарубежными поставщиками, такими как «Compass Water Solutions» (США), «Hamworthy» (Англия), «DVZ» (Германия), «RWO GmbH» (Германия), «Severn Trent De Nora» (США) и другими.

Приказом Министерства промышленности и торговли №661 от 31 марта 2015 г. «Об утверждении отраслевых планов мероприятий по импортозамещению в судостроительной отрасли Российской Федерации» предусмотрена необходимость разработки установок для очистки нефтесодержащих (льяльных), сточных и балластных вод взамен импортного оборудования. Также в связи с приостановкой выдачи лицензий на прямой экспорт в Россию товаров для военных нужд и товаров двойного назначения на предприятии ООО «Ви-

ЛИТЕРАТУРА

1. Гаврилов В.В., Красильников В.Б. Испытание двигателя ЗЧ 17,5/24 по нагрузочной характеристике. Метод. указания к лабораторным работам. – Л.: Изд.ЛКИ, 1989. – 35 с.
2. Газоанализаторы многокомпонентные. Модификация «АВТОТЕСТ-02.03»: Руководство по эксплуатации М 047.000.00 МП. – Научно-производственная фирма «МЕТА». – 79 с.
3. Измеритель дымности отработавших газов. Руководство по эксплуатации М 045.000.00 РЭ. Методика проверки М 006.000.00 МП. – Научно-производственная фирма «МЕТА». – 44 с.
4. Шаров Г.И., Румб В.К. Обработка индикаторной диаграммы дизеля на характеристику тепловыделения: Метод. указания. – СПб.: Изд. СПбГМТУ, 2007. – 29 с. ■

нета» было принято решение о начале разработки указанных выше изделий для нужд ВМФ и гражданского флота. Далее мы познакомим читателей с проектами наших разработок.

Установка для очистки нефтесодержащих (льяльных) вод (УОНСВ), разрабатываемая предприятием ООО «Винета», предназначена для очистки воды из льяльных помещений судна от нефтесодержащих примесей, в том числе эмульсий (табл. 1). Она представляет собой двухступенчатую систему отделения (сепарации) трюмной (льяльной) воды. На первой ступени сепарации используется высокопроизводительный коалесцентный блок для удаления основной части свободных нефтесодержащих включений и для отделения твердых частиц. На второй ступени очищаемая вода проходит через ряд последовательно установленных фильтров, где осуществляется ультрафильтрация для удаления эмульгированных частиц нефти, наряду с остающимися твердыми частицами и воздухом, попавшим из трюмной воды.

Установка полностью автоматизирована, работает автономно и соответствует требованиям резолюции МЕРС.107(49).

Установка очистки сточных вод (УОСВ), разрабатываемая нашим, предназначена для переработки судовых фекальных (черных) и хозяйственно-бытовых (серых) вод (табл. 2). Она представляет собой комплекс оборудования, состоящий из сборных цистерны,

Таблица 1

Основные технические характеристики установки для очистки нефтесодержащих вод

Параметр	Значение
Пропускная способность, м ³ /ч, не менее	1,0
Качество очистки НСВ – содержание нефтепродуктов в очищенной воде без ее разбавления на выходе из установки, мг/л (частей на миллион), не более	15 (15)
Вакуумметрическая высота всасывания насоса, м, не более	5
Давление очищенной воды или НСВ на выходе из УОНСВ, МПа, не менее	0,2
Время работы УОНСВ в автоматическом режиме без наблюдения, ч, не менее	24
Время срабатывания сигнализатора, т.е. время, прошедшее с момента изменения состава пробы воды, поступающей в сигнализатор, и до выдачи им окончательных показаний, с, не более	5
Отклонение показаний сигнализатора, мг/л, не более	±5
Общее время срабатывания (включая время срабатывания сигнализатора) в промежуток времени между началом слива воды с содержанием нефти более значений, установленных в п.3 табл. 1, из установки и прекращением слива воды за борт при срабатывании устройства автоматического прекращения сброса, с, не более	20
Материал УОНСВ	08Х18Н10Т ГОСТ5632–72
Параметры очищаемой среды:	
Плотность нефтепродуктов в НСВ, кг/м ³ , не более:	
– при температуре НСВ 20 °С	860
– с подогревом НСВ до температуры 45 °С (опционально)	940
Наличие механических примесей в НСВ, г/л, не более	1,7
Фракционный состав механических примесей:	
- количество частиц размером менее 100 мкм, %, не менее	90
- количество частиц размером 100 мкм и более, %, не более	10
Наличие поверхностно-активных веществ в НСВ, г/л, не более	0,5
Содержание нефтепродуктов в НСВ, %, не более	100
Электрическое питание	Ток трехфазный переменный, один фидер
Потребляемая мощность электрооборудования, кВт, не более	2,5

куда поступают сточные и хозяйственно-бытовые воды, предварительно очищенные от масел, жиров и ПАВ в жиросепараторе. Насос-мацератор как бы измельчает сточные воды и перекачивает их в смеситель, где они перемешиваются с отфильтрованной забортной (морской) водой, пропущенной через электролизер.

Затем смесь сточных вод и забортной воды попадает в смесительные камеры, где окисляется и обеззараживается.

После выхода из смесителей поток сточных вод проходит процедуру дезактивации сульфитом натрия, после

чего очищенные сточные воды сбрасываются за борт.

Таблица 2

Основные технические характеристики установки очистки сточных вод

Параметр	Значение
Пропускная способность УОСВ по сточным водам, м ³ /ч, не менее	0,6
Пропускная способность жиросепаратора по серым водам, м ³ /ч, не более	1
Взвешенные вещества на выходе из УОСВ, мг/л, не более	35
БПК ₅ на выходе из УОСВ, мг/л, не более	25
Коли-индекс на выходе из УОСВ на 1 л, не более	1000
Остаточный хлор на выходе из УОСВ, мг/л, не более	5
Предельная концентрация сбрасываемого хлора (ХПК) на выходе из УОСВ, мг/л, не более	125
Время работы установки в автоматическом режиме без наблюдения, ч, не менее	20
Расход забортной воды, м ³ /ч	10±0,5
Расход раствора дехлоратора, л/сут.	10±1
Расход сульфита натрия, кг/сут.	2±0,3
Материал изготовления УОСВ	08Х18Н10Т ГОСТ 5632–72

Отличительная особенность данной УОСВ заключается в том, что забортная морская вода подвергается воздействию постоянного тока до смешивания со сточными водами. Это позволяет более длительно эксплуатировать электролитные кассеты, а также вырабатывать гипохлорид натрия даже при минимальной солености морской воды.

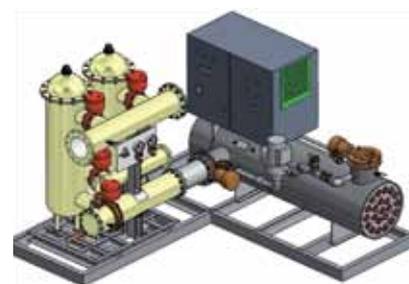
В УОСВ также реализована возможность увеличения интенсивности обеззараживания при необходимости снижения расхода забортной воды или ее низкой солености.

УОСВ соответствует требованиям резолюций МЕРС.159(55), МЕРС.227(64) и Правилам по предотвращению загрязнения с судов, эксплуатирующихся в морских районах и внутренних водных путях Российской Федерации НД 2-020101-074, поставляется «под ключ», полностью готовая к встраиванию в систему заказа.

Эксплуатация судов и кораблей сегодня невозможна без установок для очистки нефтесодержащих и сточных вод.

Установка обеззараживания балластных вод, также разрабатываемая предприятием ООО «Винета», представляет собой комплекс очистки и обеззараживания балласта до необходимого качества для его последующего сброса за борт согласно МЕРС 124–53. Производительность установки – 250 м³/ч.

Установка включает два аппарата обработки балласта, расположенных на единой раме либо поставляемых комплектом: СООБ-Ф250 – фильтр механических



Установка обеззараживания балластных вод

примесей; СООБ-УФ250 – УФ аппарат.

При работе на СООБ-Ф250 балласт проходит два последовательных этапа обработки.

На первом этапе происходит фильтрация механических примесей. Балластная вода, проходя через струнные фильтрующие камеры, очищается от механических загрязнений с тонкостью отсева 50 мкм. Фильтрующие камеры снабжены электромагнитными заслонками для перепуска воды из загрязненной камеры в чистую.

Переключение происходит по достижении предельного перепада давления на манометрах аппарата.

Также на корпусе СООБ-Ф250 есть краны отбора проб для определения качества фильтрации воды.

На втором этапе осуществляется обеззараживание воды УФ-лампами. После фильтрации балластная вода поступает в аппарат с СООБ-УФ250, в корпусе которого установлено 22 УФ лампы. Обеззараживающее действие УФ-излучения основано на необратимых повреждениях молекул ДНК и РНК микроорганизмов, находящихся в воде, за счет фотохимического воздействия лучистой энергии.

Результаты работ предполагается использовать при создании конкретных объектов морской техники КБ-проектантами морской техники – ОАО Северное ПКБ, АО «Зеленодольское ПКБ», АО «ЦМБК «Алмаз», ОАО КБ «Вымпел», ОАО «ЦКБ «Айсберг», а также заводами-строителями судов и морской техники – Прибалтийский судостроительный завод «Янтарь», ОАО «Зеленодольский завод им.А.М.Горького», ОАО «Ярославский судостроительный завод», судостроительный завод «Северная верфь», ОАО «Судостроительный завод «Волга», ОАО «Восточная верфь», ОАО «Судостроительный завод «Вымпел», ОАО «Судостроительный завод имени Октябрьской революции», ООО «Балтийский завод – судостроение», плавучий энергоблок (ПЭБ).

Рассматриваемое оборудование может быть использовано для пр. МБ-305, 20380, 22350, 23470, 21631, 22160, 22100, 21180, 22220, 11356, 19910, а также на вновь проектируемых объектах морской техники. ■

Развитие техники привода арматуры в последние десятилетия по большей части базируется на электроприводе. Появление новых компонентов в силовой электронике, новой элементной базы, датчиков и магнитных материалов дает мощный импульс развитию электропривода и практически не оставляет шансов для пневмо- и гидропривода по совокупности получаемого функционала, экономичности и эксплуатационных характеристик.

Практически все современные электроприводы, в том числе и четвертьоборотные, оснащаются редуктором – механическим преобразователем угловых скоростей и моментов. Применение механического преобразователя обусловлено необходимостью согласования механической мощности электродвигателя, имеющего, как правило, скорость вращения 1000–3000 об/мин, и механической мощности на выходном валу привода, скорость вращения которого, как правило, не превышает 4 об/мин. Создание так называемого «прямого» (безредукторного) электропривода, где электродвигатель передает крутящий момент напрямую на элемент регулирования арматуры, опирается с одной стороны в массогабаритные характеристики такого привода, в котором необходимо применять высокомоментные электродвигатели, с другой стороны – в необходимость применения более мощной и дорогостоящей силовой элементной базы, что снижает экономическую привлекательность подобных решений. Поэтому на данном этапе развития техники «прямой» электропривод может применяться в относительно узком диапазоне задач и не может являться полноценной заменой электропривода, оснащенного механическим преобразователем.

ОСОБЕННОСТЬ РАБОТЫ НА ШАРОВОЙ КРАН

Одним из наиболее распространенных видов арматуры являются шаровые краны. В общем случае шаровые краны имеют схожие конструкции и обладают схожими техническими и эксплуатационными особенностями. Известно, что наибольшие моменты сопротивления запорного элемента возникают в закрытом положении шарового крана (рис. 1, 1), когда на него в течение длительного времени действует давление среды. Как следует из кривой 1, для обеспечения страгивания (начального движения) при максимальном перепаде давления до крана и после него привод, управляющий шаровым краном, должен развивать в 2–3 раза больший момент, чем на остальных участках рабочего диапазона. При закрытии шарового крана также возникает повышенный момент за счет взаимодействия шара и уплотнения. Моменты стра-

ЧЕТВЕРТЬОБОРОТНЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД СУДОВОЙ АРМАТУРЫ НА ОСНОВЕ ЧЕТЫРЕХЗВЕННОГО МЕХАНИЗМА

А.С. Петрушенко, зам. ген. директора,
В.В. Николаев, гл. конструктор направления работ,
О.В. Епифанов, вед. инженер-конструктор,
ОАО «Системы управления и приборы»,
контакт. тел. (812) 320 2393

гивания в начале и конце рабочего хода шарового крана в большинстве случаев действуют на участках, не превышающих 10°. Указанная особенность оказывает существенное влияние как на конструкцию привода арматуры, так и на критерии выбора электропривода под конкретные параметры крутящего момента арматуры.

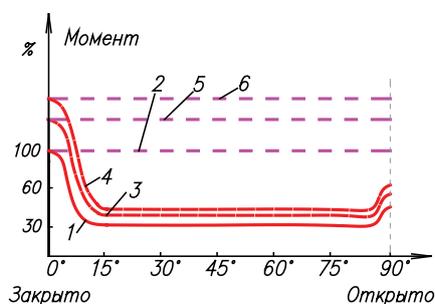


Рис. 1. Типовая силовая диаграмма шарового крана и электропривода арматуры

Современные четвертьоборотные электроприводы для управления арматурой имеют настраиваемые механические или электронные системы ограничения развиваемого момента. При этом электроприводы арматуры имеют редуктор с постоянным передаточным отношением между быстроходным и тихоходным (выходным) валами. На рис. 1, 2 показан развиваемый момент привода с постоянным передаточным отношением, необходимый для страгивания поворотного элемента арматуры. Для приводов арматуры, в частности шаровых кранов, принято использовать коэффициенты запаса по гарантированному развиваемому моменту: 1,3; 1,5 и более. На рис. 1, 3 показана кривая момента с коэффициентом запаса 1,3 по отношению к моменту, возникающему на поворотном элементе арматуры, на рис. 1, 4 – кривая момента с коэффициентом запаса 1,5. На рис. 1, 5 и 6 – необходимые моменты приводов с постоянным передаточным отношением для обеспечения коэффициентов запаса 1,3 и 1,5 по развиваемому моменту. Графики показывают, что развиваемый момент привода с постоянным передаточным отношением редуктора, кроме участка страгивания, существенно больше, чем требуется для надежного поворота поворотного элемента.

Отмеченная особенность ведет к возникновению определенного противоречия. Необходимость обеспечить надежное управление арматуры при максимально тяжелых условиях работы требует введения коэффициентов запаса. Однако это приводит к тому, что в большей части рабочего диапазона электропривод использует лишь малую часть своей мощности, а это указывает на неэффективность его работы.

Попытки разрешить указанное противоречие для обеспечения оптимальных силовых характеристик электропривода шарового крана отражают выданные патенты, направленные на создание повышенных моментов страгивания. Наиболее интересные идеи сводятся к реализации двухступенчатых редукторов, например, в патенте «Двухскоростное приводное устройство» [1, 2]. Для страгивания используется редуктор с увеличенным передаточным отношением, а для перемещения – другой редуктор с номинальным передаточным отношением. К недостатками подобных приводов можно отнести не только сложность конструкции и алгоритма работы, но и возможность возникновения ударных процессов в момент перехода от одного передаточного отношения механизма к другому, что приводит к снижению ресурса работы и уменьшению надежности.

Таким образом, можно утверждать, что в традиционных электроприводах, работающих на шаровые краны, силовая характеристика привода согласуется с силовой характеристикой шарового крана неоптимально, что обусловлено применением в электроприводах редукторов с постоянным передаточным отношением.

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ЧЕТВЕРТЬОБОРОТНЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМ

Другой важной характеристикой привода арматуры является время срабатывания. Как правило, электроприводы общего назначения обеспечивают смену положения шара крана за время от 4 с до нескольких минут. Сокращение времени переключения для создания быстро-

действующего привода можно достичь разными способами, например, за счет увеличения мощности электродвигателя или введения в привод механического накопителя энергии. Также немаловажной характеристикой привода арматуры является низкая вибрационная активность. Данное требование особенно актуально для некоторых видов судовой арматуры. Создание малошумных судовых приводов на базе традиционных редукторных механизмов, отвечающее по малошумности специальным требованиям, упирается в чрезвычайно высокие требования к точности изготовления зубчатых зацеплений, что труднодостижимо технологически. Кроме этого, под нагрузкой элементы зубчатого зацепления неизбежно испытывают упругие деформации, что, в свою очередь, приводит к увеличению вибраций. Исключением являются редукторы на базе червячной передачи, обладающие достаточно низкой виброактивностью, но имеющие определенные ограничения по компоновке (перекрещивающиеся оси), достаточно низкий КПД и удельный момент.

КИНЕМАТИЧЕСКАЯ СХЕМА ПЕРЕДАТОЧНОГО МЕХАНИЗМА

Рассмотренные выше противоречия можно разрешить, применяя специальный четырехзвенный передаточный механизм. Он состоит из двух рычагов, соединенных между собой шатуном. На рис. 2 показана схема четырехзвенного механизма и работа механизма в нескольких фазах; где a – плечо первого рычага, c – плечо второго рычага, d – расстояние между осями вращения рычагов, b – расстояние между шарнирами шатуна.

Первый рычаг соединен с двигателем, второй – с выходным валом. Рычаги стоят на подшипниковых опорах, шатун соединен с рычагами посредством пальцев, установленных на подшипниках. Взаимное расположение осей вращения рычагов, соотношение длин рычагов и шатуна выбирают таким образом, чтобы при работе механизма обеспечивался угол поворота второго рычага в 90° , при этом первый рычаг будет совершать неполный оборот. Значения получаемого передаточного отношения такого механизма приведены на рис. 3. Как видно из графика, в положении «закрыто» механизм имеет максимальное передаточное отношение, плавно убывающее по мере поворота второго рычага и возрастающее вновь, когда второй рычаг приходит в положение «открыто», при этом минимальное значение передаточного отношения может находиться в диапазоне 1,7–1,9. Если разместить указанную зависимость передаточного отношения от угла поворота выходного вала (см. рис. 3) и диаграмму момента шарового крана на одном графике (рис. 4), то уви-

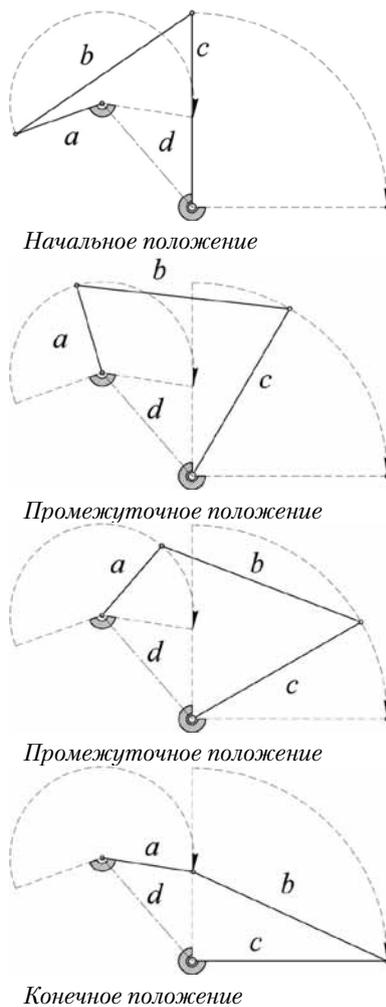


Рис. 2. Фазы работы четырехзвенного механизма

дим, что можно получить существенный запас развиваемого момента в наиболее нагруженных участках диаграммы шарового крана с учетом передаточного отношения рассматриваемого механизма.

В данном передаточном механизме нет зубчатых передач, что позволит исключить специализированные операции формообразования и существенно снизить требования к точности изготовления элементов электропривода.

ЧЕТВЕРТЬОБОРОТНЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД АРМАТУРЫ ЭПВМ-350

Для проверки принципа работы четырехзвенного механизма в составе привода арматуры и подтверждения основных технических характеристик, ОАО «Системы управления и приборы» разработало и изготовило макетный образец четвертьоборотного привода арматуры ЭПВМ-350. (рис. 5).

Четвертьоборотный привод содержит высокомоментный электродвигатель на постоянных магнитах, четырехзвенный передаточный механизм и пускозащитную аппаратуру. Структура электропривода показана на рис. 6.

Для достижения требуемых силовых характеристик привода основные геометрические параметры механизма

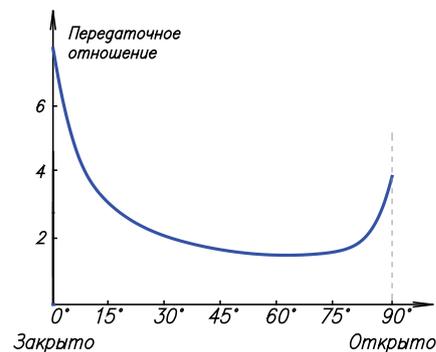


Рис. 3. Передаточное отношение четырехзвенного механизма

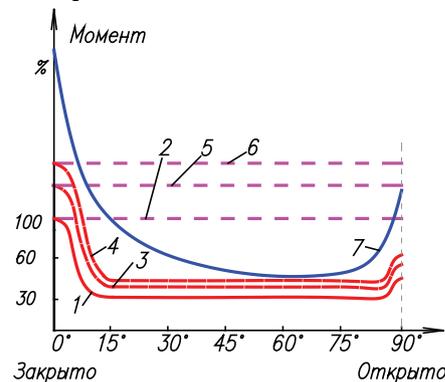


Рис. 4. Силовая диаграмма шарового крана, электроприводов арматуры с редуктором и четырехзвенным передаточным механизмом. Обозначения те же, что и на рис. 1; 7 – кривая передаточного отношения четырехзвенного механизма



Рис. 5. Общий вид электропривода ЭПВМ-350

были выбраны следующими: длина рычага a – 48 мм, длина рычага c – 102 мм, расстояние между осями рычагов d – 72 мм, длина шатуна b – 112 мм. Работа четырехзвенного механизма в разных фазах показана на рис. 7.

При повороте рычага c на 90° рычаг a поворачивается на угол 210° . Расчетный график передаточной функции механизма показан на рис. 8.

Минимальное значение передаточной функции при такой конфигурации механизма – 1,75, максимальное значение достигается в положении «закрыто» (0°) и равно 6. В положении «открыто» (90°) значение передаточной функции – 3,5.

Особенностью четырехзвенного механизма является более высокая нагруженность шарниров механизма на участ-

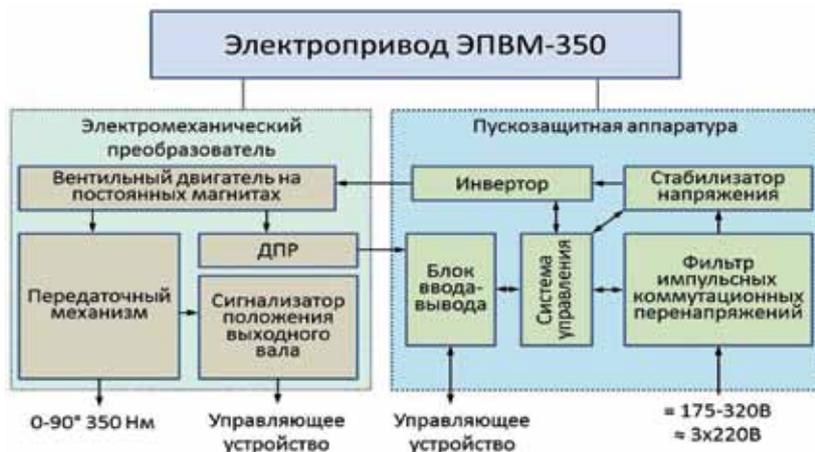


Рис. 6. Структура электропривода ЭПВМ-350



Рис. 7. Работа четырехзвенного механизма ЭПВМ-350 в нескольких фазах

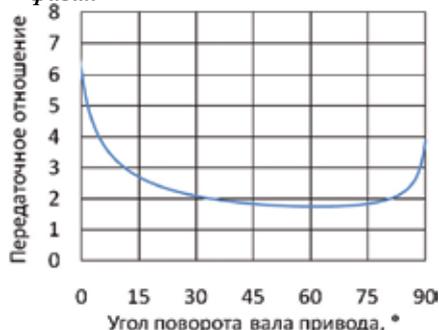


Рис. 8. Расчетный график передаточной функции механизма ЭПВМ-350

ке рабочего диапазона, соответствующего положению «открыто». Данное обстоятельство требует особого внимания при расчете и проектировании механизма, а также обязательного ограничения момента на крайних участках рабочего диапазона со стороны системы управления приводом. Зависимость реакций в шарнирах четырехзвенного механизма от угла поворота представлена на рис. 9.

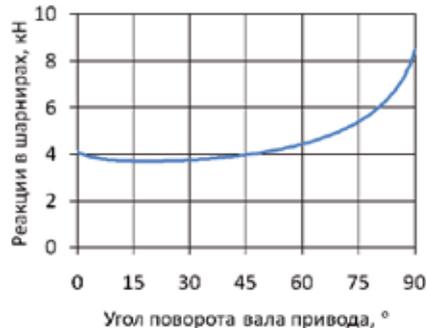


Рис. 9. Реакции в шарнирах механизма

Общие технические характеристики электропривода ЭПВМ-350 приведены ниже.

КОМПОНОВКА ПРИВОДА

Привод имеет оригинальную компоновочную схему, основанную на четырехзвенном передаточном механизме. На рис. 10 показан разрез привода ЭПВМ-350.

Рычаг *a* конструктивно объединен с ротором двигателя, установленного в двух подшипниках, рычаг *c* по оси вращения также установлен в подшипниковый узел. Пальцы шагуна *b* размещены в рычагах на игольчатых подшипниках.

Технические характеристики электропривода ЭПВМ-350

Макс. момент привода, Н·м	350
Время срабатывания, с	1–2
Режим работы	Повторно-кратковременный
Номин. скорость вращения электродвигателя, об/мин	40
Номин. момент двигателя, Н·м	120
Тип электродвигателя	Синхронный
Потребляемая мощность в режиме ожидания, Вт	10
Габаритные размеры, мм	325×263×235
Тип сигнализаторов положения	Встроенные, сухой контакт
Масса, кг	37

Для исключения чрезмерных нагрузок в механизме, для рычага *a* введены механические упоры, которые не достигаются при номинальной работе привода. Внутри полости ротора расположен датчик углового положения ротора, который может быть реализован как на вращающемся трансформаторе (resolver), так и на датчиках Холла. Сверху привод герметично закрыт крышкой, снабженной шка-



Рис. 10. Привод ЭПВМ-350, местный разрез

лой, показывающей угловое положение выходного штока привода. В специальной выборке крышки размещается рычаг ручного дублера качающегося типа.

ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЬ

Для реализации всех преимуществ привода на основе четырехзвенного механизма был разработан высокомоментный электродвигатель на постоянных магнитах. Основными задачами, которые решались при проектировании электродвигателя, были:

- обеспечение высокого момента и низкой частоты вращения при заданном напряжении питания и ограничении потребляемой мощности;
- обеспечение минимальной вибрации при работе электродвигателя;
- ограничение габаритов.

Как известно, момент в электродвигателе создается за счет взаимодействия магнитных полей статора и ротора, а их векторное произведение и определяет величину развиваемого момента. Величина магнитного поля ротора определяется характеристиками магнитов, а величина магнитного поля статора – конфигурацией магнитопровода, числом витков в пазу магнитопровода и протекающим через обмотку статора током. Число витков ограничено конфигурацией пазы, из чего следует, что в условиях ограничений габаритов высокий момент можно получить, применяя более мощные магнитные материалы, а также за

счет увеличения плотности тока в обмотках электродвигателя.

Так как режим работы судовой арматуры кратковременный, это снимает некоторые ограничения, связанные с перегревом обмоток, поэтому основным ограничением при решении данной задачи будет ограничение потребляемой электродвигателем мощности. Несмотря на развитие магнитных материалов и возможность получения магнитов с достаточно высокими магнитными характеристиками, развитие магнитопроводящих материалов, таких как электротехнические стали, практически не происходит. Применение более мощных магнитов дает обратный эффект – магнитопровод электродвигателя насыщается, и взаимодействие полей статора и ротора становится невозможным.

Таким образом, для достижения высоких значений вращающего момента электродвигателя, необходимо особое внимание уделять конфигурации магнитопровода статора и выбору магнитопроводящего материала.

Вибрации в электродвигателе имеют два основных источника. Во-первых, это вибрации в магнитопроводе статора. Вращающееся магнитное поле статора, за которым при вращении следует ротор, создается за счет переменного напряжения, образуемого с помощью ШИМ-модуляции. Взаимодействия проводников друг с другом и с зубцами статора обусловлены силой Лоренца, возникающей при прохождении через проводники тока, а так как ток имеет периодический характер, будут возникать периодические колебания, приводящие к вибрациям проводников и зубцов статора. Эта проблема частично может быть решена путем заливки статора специальным компаундом, который фиксирует заложенные в пазах обмотки и снижает вибрации.

Во-вторых, вибрации ротора, вызванные тем, что угловой сдвиг между магнитными векторами статора и ротора непостоянен за один оборот ротора. Из-за непостоянства магнитной проницаемости статора, связанной с чередованием пазов, заполненных воздухом и медью, и зубцов из электротехнической стали, магнитные поля ротора и статора имеют несовпадающую форму, что существенно усложняет задачу поддержания постоянного электрического угла. Для уменьшения вибраций электродвигателя форма магнитного поля ротора должна быть максимально приближенной к магнитному полю статора. Снижение вибраций, в том числе, может быть достигнуто путем применения двоякой магнитной системы с радиально намагниченными магнитами специальной формы, причем эти две магнитные группы имеют определенное угловое смещение.

Таким образом, задача создания электродвигателя для четвертьоборотного

привода арматуры на основе четырехзвенного механизма многоитерационная, зависящая от большой совокупности влияющих друг на друга факторов и требующая точного учета особенностей работы.

На рис. 11 представлена осциллограмма формы ЭДС, наводимой в фазах электродвигателя для четвертьоборотного привода ЭПВМ-350. Форма ЭДС полученного электродвигателя близка к синусоиде, что снижает вибрации при его работе.

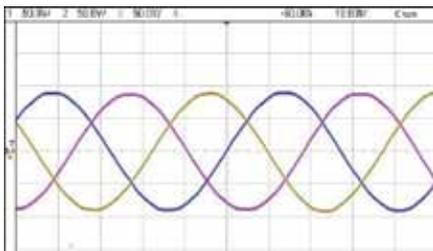


Рис. 11. Форма ЭДС в фазах электродвигателя

На рис. 12 представлен график зависимости момента на валу двигателя от тока. В идеальном вентильном электродвигателе этот график представляет собой прямую, так как значение момента прямо пропорционально току. Из-за специфики заложенных решений и работе практически в крайних для свойств материала областях реальный график отличается от прямой, однако, как видно, до номинального значения он практически линейен и имеет запас по моменту для экстремальных режимов. Необходимый момент на валу электродвигателя, равный 120 Н·м, развивается при токе 9 А.

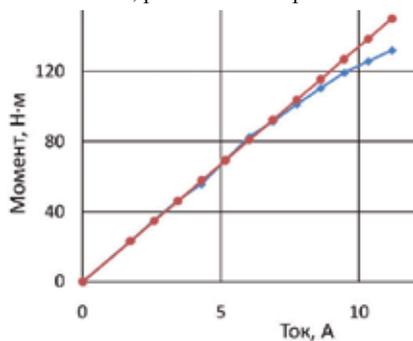


Рис. 12. Зависимость момента на валу двигателя от тока
— идеальная характеристика
— реальная характеристика

РУЧНОЙ ДУБЛЕР

В силу того, что для привода на основе четырехзвенного механизма необходимо применять высокомоментный электродвигатель, возникают определенные сложности с реализацией ручного дублера. Применение подключаемого к электродвигателю понижающего редуктора для уменьшения момента на маховике ручного дублера усложняет конструкцию привода и увеличивает его габариты, что противоречит целям, преследуемым при создании электроприво-

да. Для преодоления этого противоречия был применен качающийся ручной дублер с управляемым двунаправленным храповым механизмом. Данное решение позволило существенно снизить габариты как ручного дублера, так и самого привода. Для исключения вращения электродвигателя при подключенном ручном дублере конструкция привода содержит ряд защит и блокировок. При отказе какой-либо из защит, учитывая достаточно низкую скорость вращения моментного двигателя (40 об/мин), а также механическое ограничение хода корпуса дублера, ручной дублер остается травмобезопасным для персонала.

ВЫВОДЫ

Проведенные испытания макетного образца привода ЭПВМ-350 подтвердили низкую виброактивность четвертьоборотного привода на базе четырехзвенного механизма.

В процессе проектирования, изготовления и испытаний электропривода были выявлены следующие преимущества: малозумность; высокая быстродействие; простота и надежность механизма и недостатки: необходимость ограничения момента двигателя с учетом передаточной функции механизма, несимметричность конструкции.

Высокое быстродействие электропривода достигается за счет низкого среднего передаточного отношения механизма, при обеспечении высокого передаточного отношения в краях рабочего диапазона привода, при этом время смены состояния шарового крана может составлять не более 1 с.

Данные характеристики получены за счет применения специального четырехзвенного механизма, позволяющего отказаться от редуктора с зубчатым зацеплением и имеющего переменную передаточную функцию, по характеру изменения повторяющую моментную характеристику шарового крана, и применения высокомоментного синхронного электродвигателя на постоянных магнитах. Четырехзвенный механизм имеет параллельное расположение осей быстроходного и тихоходного вала, при этом моментный электродвигатель имеет малую осевую длину, что в совокупности позволяет получать относительно компактные в осевом направлении электроприводы.

На основе четырехзвенного механизма возможно создание быстродействующих малозумных приводов для специальной судовой арматуры.

ЛИТЕРАТУРА

1. Авт. свид. (СССР) №323989, F 16 N 1/28. – Оpubл. 23.09.1981.
2. Патент США №5507469, F16K 31/53. – Оpubл. 16.04.1996. ■

Тенденции современного развития корабельных систем компенсации магнитных полей корпусных конструкций в связи с появлением на новых проектах систем с посекционным питанием компенсационных обмоток требуют от разработчиков этих систем не только углубления в детали проектирования, но и оправданности применения технических решений. В противном случае слепое наращивание количества приборов может привести к необходимости увеличения объемов корабельных помещений под размещение этих систем. Конечно, не жалко отдать эти объемы под размещение системы, которая приводила бы практически к стопроцентной компенсации магнитного поля корабля, но реально дело обстоит иначе: преимущество секционированных систем перед общекорабельными не столь очевидно, хотя они позволяют более гибко подойти к настроечным операциям и точнее «настроить поле», и, кроме того, сократить время настройки. Именно поэтому, дабы не «палить из пушки по воробьям», необходимо оценивать технические затраты и соизмерять их с достигаемым эффектом.

Давно известно, что выработать наилучшие с точки зрения их оптимальности решения можно только в условиях «идейной конкуренции». Поэтому со всех точек зрения огромный интерес представляет анализ технических решений, применяемых в изделиях зарубежных фирм. Особенно потому, что данное тематическое направление относится к области специальной техники, где фирмы-производители крайне неохотно делятся любой информацией. Но мы все-таки попробуем рассмотреть то, что имеется в открытых источниках, и сделать для себя полезные выводы.

Фирма «Sam Electronics» располагается в Гамбурге (Германия) и оснащает заказы автоматической аппаратурой компенсации магнитных полей типа DEGCOMP. Центром системы является прибор DCU (Degaussing Control Unit), показанный на рис. 1, а и б в модификациях 2.1 и более современной 2.2. Прибор DCU имеет в своем составе стандартные цифровые интерфейсы связи с сопрягаемыми системами, формирует управляющие воздействия на основе данных международной аналитической модели магнитного поля Земли либо данных непосредственного измерения поля датчиками.

Оператор может выбрать каждый из источников данных в качестве основного. Во время работы постоянно контролируется достоверность обоих источников. В случае, когда недопустимые отклонения между сигналами выходят за установленную погрешность, система запускает тест и по его результатам выбирает достоверный источник данных, а недостоверный отключается.

СОВРЕМЕННЫЕ СИСТЕМЫ КОМПЕНСАЦИИ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ КОРАБЕЛЬНЫХ КОРПУСНЫХ КОНСТРУКЦИЙ: ВЗГЛЯД СКВОЗЬ ПРИЗМУ МИРОВОГО ОПЫТА

Б.Ю. Семенов, гл. конструктор АО «НПФ «Меридиан»,
контакт. тел. (812) 602 0375, доб. 134



Рис. 1. Прибор DCU в аппаратуре DEGCOMP

В состав аппаратуры DEGCOMP входят также датчики магнитного поля Земли модификаций 2.1 и 2.2, показанные на рис. 2, а и б соответственно.

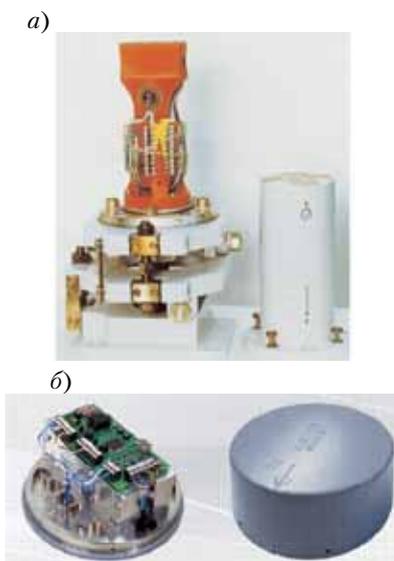


Рис. 2. Датчик магнитного поля Земли в аппаратуре DEGCOMP

Источники питания обмоток имеют вид, показанный на рис. 3. Концепция аппаратуры предполагает использование одиночных приборов (рис. 3, а), групповых многоканальных приборов с выходной мощностью каждого канала в диапазоне от 60 до 500 Вт (рис. 3, б), предназначенных для кораблей с маломагнитными корпусами, и групповых многоканальных приборов с выходной мощностью каждого канала в диапазоне



Рис. 3. Источники питания обмоток в аппаратуре DEGCOMP

от 3 до 9 кВт (рис. 3, в), предназначенных для кораблей с ферромагнитными корпусами. Питание преобразователей осуществляется от трехфазной судовой сети частотой 60 Гц и напряжением 440 В.

Еще одна известная зарубежная фирма-производитель аппаратуры для систем компенсации магнитных полей «IFEN» располагается в городе Цепарано (Италия). Согласно пресс-релизу фирмы, ее продукцией оснащено более 180 кораблей, эксплуатируемых ВМС разных стран. С помощью аппаратуры DGM, производимой «IFEN», можно проектировать системы как общекорабельного, так и секционного вида.

На рис. 4, а показан внешний вид управляющего прибора аппаратуры DGM с магнитометрическим каналом. Фирма-производитель косвенным образом упоминает о наличии у изделия функции управления на основе международной аналитической модели магнитного поля (об этом говорит внешний вид прибора сопряжения с навигационными системами – см.рис. 4, б), но основной акцент все-таки делает на магнитометрическом канале с трехканальным датчиком магнитного поля Земли (рис. 4, в).

Источники питания обмоток объеди-

а)



б)



в)



Рис. 4. Приборы управления в аппаратуре DGM

няются в групповые приборы либо по 48 каналов (рис. 5, а), либо по 12 (рис. 5, б), либо – по 8 (рис. 5, в). Количество объединяемых каналов зависит от выходной мощности источников питания. Аппаратура управления и источники питания обмоток могут вообще объединяться в единую конструкцию, как показано на рис. 5, а.

а)



б)



в)



Рис. 5. Источники питания обмоток в аппаратуре DGM

Производитель аппаратуры компенсации магнитных полей «Ultra Electronics» располагается в канадском Дартмуте. Фирма позиционирует три типа систем: централизованного, полностью распределенного и полураспределенного типа.

Как сообщает «Ultra Electronics» поставлено несколько сот образцов систем централизованного вида. Состав системы традиционный и включает в себя прибор управления и управляемые преобразователи питания обмоток (рис. 6, а).

Системы полностью распределенного вида включают в себя кроме приборов управления маломощные преобразова-

а)



б)



в)



Рис. 6. Аппаратура фирмы «Ultra Electronics»

тели питания секций обмоток. Преобразователи в данном случае одноканальные, их внешний вид показан на рис. 6, б. Согласно данным производителя, в настоящее время поставлено 14 образцов.

Наконец, в третьем типе систем, позиционируемым «Ultra Electronics» как полураспределенные, секции обмоток сохраняются, но преобразователи объединяются в групповые стойки (рис. 6, в). Осуществлена поставка 23 систем, в том числе 12 комплектов – на фрегаты ВМС Канады типа «Галифакс».

К сожалению, «Ultra Electronics» представила крайне мало информации об управляющих функциях своих изделий, но по внешнему виду прибора управления системой централизованного вида можно заключить, что в системе однозначно имеется датчик магнитного поля Земли.

Кратко упомянем еще несколько известных фирм, которые также выпускают аппаратуру для комплектования систем компенсации магнитных полей. Это – немецкая «Siemens», французская «Converg Nexeua» и шведская «Polyamp». Основные структурные единицы систем, разработанных этими

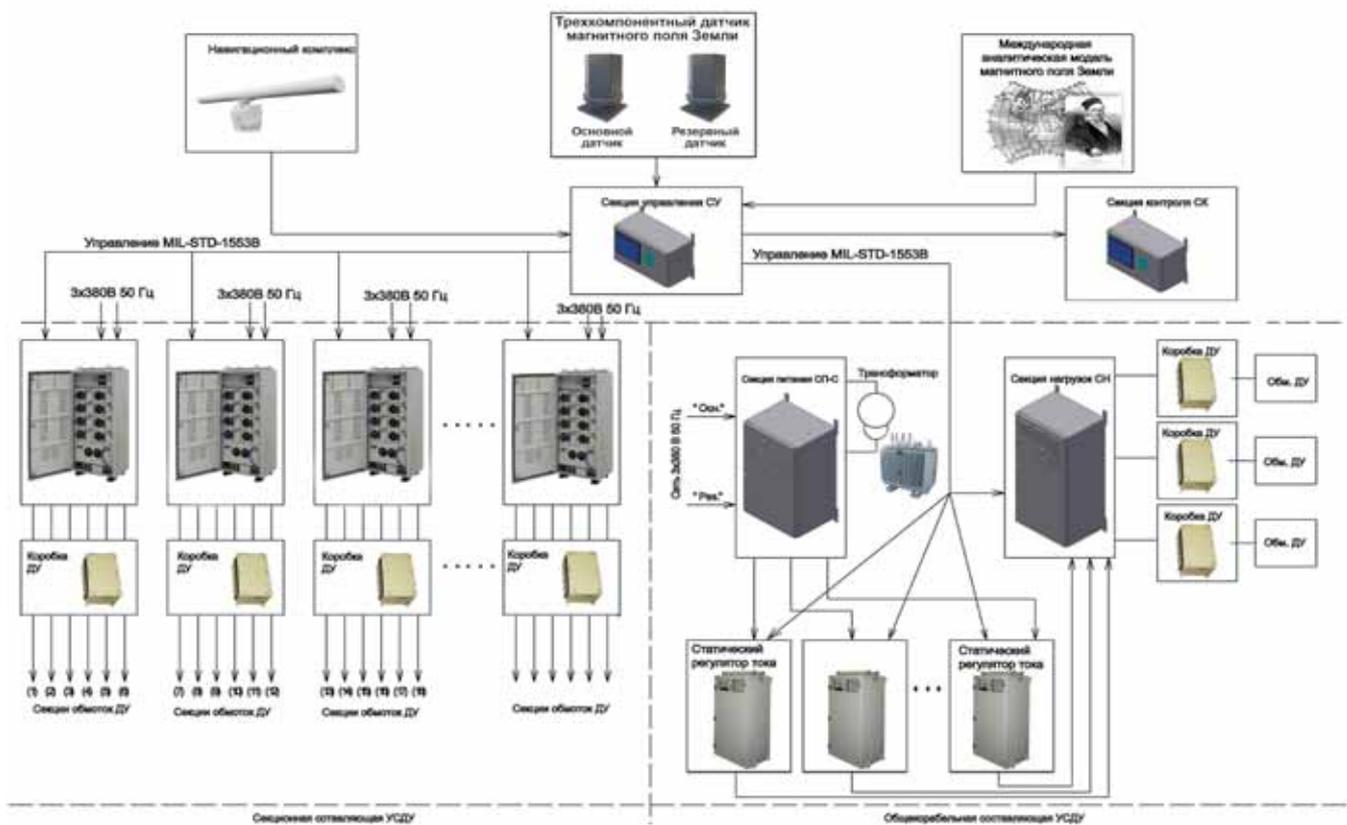


Рис. 7. Концепция универсальной системы компенсации магнитного поля корабля

фирмами, в целом аналогичны приведенным выше, отмечаются только более или менее значительные отличия в конструктивном оформлении.

Как видим, мировой опыт красноречиво свидетельствует, что, во-первых, активно развиваются системы секционированного типа как обладающие высокими тактико-техническими характеристиками, правда, при высокой стоимости и необходимости наличия значительных площадей для размещения, а, во-вторых, не снимаются с производства и традиционные общекорабельные системы, несомненные достоинства которых – компактность и невысокая стоимость. Тем не менее никто из зарубежных производителей не сделал попытку объединить достоинства общекорабельных и секционных систем компенсации магнитных полей в оптимальном объеме. Такая возможность есть, поскольку часть компенсационных обмоток может быть настроена единожды, при постройке заказа, а часть требует периодической регулировки после выполнения мероприятий по размагничиванию. Поэтому целесообразно однократно регулируемые обмотки питать в общекорабельном варианте, а многократно регулируемые обмотки разбить на секции и управлять токами в секционном варианте.

Специалистами АО «НПФ «Меридиан» разработана концепция универсальной системы компенсации магнитного поля, структурная схема которой показана на рис. 7.

При поступлении на вход системы информации о курсе, крене, дифферен-

те, широте и долготе плавания корабля от навигационного комплекса либо информации о значении компонент магнитного поля Земли управляющий прибор изделия вырабатывает сигналы задания токов для статических преобразователей электроэнергии. Статические преобразователи управляют магнитным полем секций обмоток размагничивающего устройства через установку тока в них.

Представленная система позволяет отказаться от традиционных размагничивающих устройств с общекорабельным способом питания обмоток и настройкой токов компенсации магнитного поля путем грубого дискретного переключения витков в пользу плавной установки токов компенсации секционированной части, что, в конечном итоге, обеспечивает выполнение современных норм ТЗК-90.

Основные тактико-технические характеристики универсальной системы – питание – корабельная сеть 3x380 В, 50 Гц, основная и резервная; – переключение питания – автоматическое, с приоритетом основной сети; – управление:

- а) в функции широты, долготы, курса географического, крена, дифферента и расчета параметров магнитного поля Земли по международной аналитической модели;
- б) в функции курса географического, крена, дифферента и непосредственного измерения магнитного поля Земли выносным трехкомпонентным датчиком;
- количество отсечных приборов – до 30 шт.;

– выходные параметры каналов отсечных приборов:

- а) номинальное выходное напряжение – 230 В;
- б) номинальный выходной ток – 10 А;
- в) номинальная выходная мощность – 2 кВт;

– одиночные статические преобразователи – типовой ряд мощностей 4, 8, 12, 24, 30 кВт;

– выходные параметры одиночных статических преобразователей:

- а) номинальное выходное напряжение – 230 В;
- б) номинальный выходной ток – от $\pm 17,4$ до ± 130 А;
- возможность индивидуальной или групповой установки токов обмоток на сенсорном дисплее секции управления;
- комплектуется соединительными коробками различного назначения.

Обеспечивается высокая ремонтопригодность за счет резервирования составных частей и блочно-модульного исполнения, межприборные связи выполнены в виде унифицированных интерфейсов типа RS-422/485 (ГОСТ Р52070–2003). Минимизирована номенклатура кабельных трасс и межприборных связей за счет оптимально распределенных функций оборудования.

Изделие разработано на основе элементной базы и материалов отечественного производства, идеально подходит для выполнения задач импортозамещения.

Представленная система может быть гибко сконфигурирована под конкретный проект при высокой степени межпроектного заимствования составных частей. ■

ВВЕДЕНИЕ

В практических задачах управляемого маневрирования морских подвижных объектов, например, автономного необитаемого подводного аппарата, эффективность проектируемых систем управления движением (СУД) в значительной степени определяется заданной функциональностью их алгоритмического обеспечения (АО). При конструировании функциональных алгоритмов по критериям, обеспечивающим требования по точности, координированию, связности процессов управления, в АО СУД также необходимо оценивать текущие и прогнозные изменения фазовых параметров состояния.

Такое оценивание функционирования систем управления и информации необходимо выполнять в АО СУД в реальном масштабе времени. Так, например, в работе [1] в обеспечение безопасного траекторного движения аппарата в условиях сложного донного рельефа и при ограничениях на время вычислений состояния каждого из k -х текущих параметров регулирования исследуется система информационной поддержки задачи принятия решений. Для этого случая в корректируемых алгоритмах СУД вектор фазовых параметров состояния системы дополняется вычисляемым в реальном времени вектором желаемых управлений.

В статье рассматривается возможность реализации качественного оценивания процесса управления движением при ограничениях на фазовые координаты.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Пусть при формировании в АО СУД дополнительного состава программных компонентов, организуемых в функциональных алгоритмах на основе соответствующих сообщений систем информации, геометрическое отображение процесса изменения параметров движения в течение времени $t \in T$ представляется рис. 1.

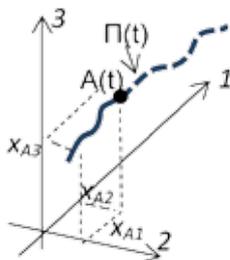


Рис. 1

Здесь $\Pi(t)$ – процесс движения точки $A(t)$ в текущий момент (времени $t = t_A$ с координатами $\{X_{A1}, X_{A2}, X_{A3}\}$), а прогнозное – после состояния в точке $A(t)$.

Формализм изменения координат процесса $\Pi(t)$ будем представлять в виде

УПРАВЛЯЕМЫЙ ПРОЦЕСС ДВИЖЕНИЯ В ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ОЦЕНКАХ ФАЗОВЫХ ПАРАМЕТРОВ СОСТОЯНИЯ

К.Ю. Шилов, *д-р техн. наук, ген. директор,*
В.К. Болховитинов, *канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник,*
 ОАО «Концерн «НПО «Аврора»,
 контакт. тел. (812) 643 1817, 610 1109

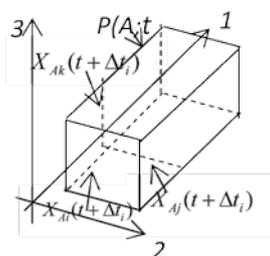


Рис. 2

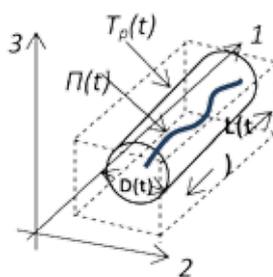


Рис. 3

параллелепипеда $P(A; t)$ допустимых состояний (рис. 2):

$$\begin{cases} x_{A_i}(t) \leq x_{A_i}^{\max}, & i = 1, 2, 3 \dots n; \\ x_{A_j}(t) \leq x_{A_j}^{\max}, & j = (i+1); \\ x_{A_k}(t) \leq x_{A_k}^{\max}, & k = (i+2), \end{cases} \quad (1)$$

где i – число наблюдений оцениваемого параметра за время Δt_s .

Желаемую границу состояний процесса $\Pi(t)$ в течение времени $t \in T$ с допустимыми значениями параметров состояния в параллелепипеде $P(A; t)$ будем характеризовать (рис. 3) трубкой $T_p(t)$.

Описание трубки $T_p(t)$ представляем в форме

$$T_p(t) = f[D(t); L(t)], \quad (2)$$

где $D(t)$ – переменное основание трубки как направляющая [2] с функцией вида

$$D(t) = D[x_{A_j}(t); x_{A_i}(t)];$$

$L(t)$ – образующая трубки по выражению $L(t) = L[x_{A_k}(t)]$.

Условия (1), (2) для трубки $T_p(t)$ исследуем на отрезке времени $[\Sigma \Delta t_s \in T]$ процесса управления, где время наблюдения T может принимать достаточно большое значение, что вызывает необходимость в большой оперативной памяти вычислителей базы знаний (БЗ) СУД.

Для устранения этого целесообразно обновление оперативной памяти вычислителей АО и динамической БЗ СУД проводить по результатам «изменения»

процесса $\Pi(t)$ в трубке $T_p(t)$. При этом рассматриваемую трубку состояний процесса управления будем представлять в виде наращиваемого через промежуток времени Δt_s «произвольного цилиндра» с $D_s(\Delta t)$ -ми «порциями основания» в (2), описываемого следующими выражениями:

– величина переменного основания

$$D_s(\Delta t) = D[\Delta x_{A_j}(\Delta t_s); \Delta x_{A_i}(\Delta t_s)]; \quad (3)$$

– образующая (длина) трубки

$$\Delta L_{k_s}(\Delta t) = L[\Delta x_{A_k}(\Delta t_s)], \quad (4)$$

где $\Sigma \Delta t_s = T$ характеризует величину устанавливаемого в вычислителях СУД времени оценивания состояния текущего процесса управления.

В свою очередь, для оценки необходимой оперативной памяти вычислителей БЗ текущую «порцию» трубки $T_p(t)$ по выражениям (3), (4) станем характеризовать ее «мощностью» процесса $M_{\Pi}(t)$, определяемую (рис. 1) для состояния $A(t)$ на отрезке времени Δt_s выражением

$$M_{\Pi}(\Delta t_s) = D_s(\Delta x_{A_i}; \Delta x_{A_j}) \times \Delta L_{k_s}(\Delta t_s) \times \Delta t_s, \quad (5)$$

Учитывая, что в общем случае в процессе $\Pi(t)$ координаты наблюдаемого состояния (5) не равны, т.е. $\Delta x_{A_i} \neq \Delta x_{A_j}$, основание трубки в (3) будем рассчитывать [2] как площадь эллипса по выражению

$$D(\Delta t_s) \cong \pi \Delta x_{A_i}(\Delta t_s) \times \Delta x_{A_j}(\Delta t_s), \quad (6)$$

где $\Delta x_{A_i}(\Delta t_s)$, $\Delta x_{A_j}(\Delta t_s)$ – приращения текущих координат процесса (см. рис. 2) как полуоси эллипса $D_s(\Delta t)$ за промежуток времени Δt_s .

В этом случае условия (3) – (6) станут определять как собственно «порцию» обновления вычислительных ресурсов, используемых в АО СУД, так и обеспечивать выполнение требования по непрерывности оценивания состояний процесса $\Pi(t)$.

Таким образом, выражения (5), (6) с учетом соотношений (3), (4) могут быть использованы для задачи качественного оценивания в АО СУД состояний процесса управления (см. рис. 1) с использованием характеристик его трубки (см. рис. 3), наращиваемой в интервале времени $(t \in T)$. Накапливаемую по мере наращивания трубки «мощность» процесса на период времени оценивания T в виде значения

$$M_{\Pi}(t \in T) = \Sigma M_{\Pi}(\Delta t_s) \quad (7)$$

принимается в качестве интегральной переменной при формировании требуемой оперативной памяти вычислителей БЗ. Зависимость «мощности» наращиваемой k -й трубки $T_p(t)$ от скорости изменения «порций» будет характеризоваться степенью взаимовлияния фазовых параметров состояния процесса управления. В этом случае при рассмотрении возможных ситуаций текущего процесса управления трубку, иллюстрирующую взаимовлияние фазовых параметров, поименуем следующим образом:

$$[T_{kp}^{fs}(t)] \subset [T^{fs}(t)], k=1,2, \dots, n, \quad (8)$$

где с индексом « kp » обозначена k -я трубка состояний процесса $\Pi(t)$ в мощности (7).

На основании геометрического представления состояний систем управления в виде рис. 2, 3 и соотношений (5) – (8) реализация процедуры оценивания фазовых параметров состояния потребует дополнительной организации формирования, обработки и представления в программных компонентах АО СУД текущих и прогнозных значений регулируемых параметров. Эти параметры будем определять как в функционирующих смежных системах информации, связанных с СУД, так и при выполнении процедуры пополнения БЗ и алгоритмов СУД динамическими структурами их допустимых и прогнозных значений в следующей последовательности вычислений.

1. Оценивание процесса управления $\Pi(t)$ проводим по результатам наполнения динамической БЗ и АО СУД ансамблем данных всего содружества (*fellowship* – *fls*) параметров процесса, представляемым в виде

$$A_{fs}(t) \subset fls[A_{\Pi}(t)]. \quad (9)$$

Под содружеством $fls[A_{\Pi}(t)]$ в соотношении (9) понимаем взаимосвязанный состав параметров регулирования, например, в виде совокупности «курс + скорость хода + дистанция + + отклонение +...», влияющей на характер изменения состояния оцениваемого текущего процесса движения. Степень влияния («вклада») каждого параметра в содружестве $A_{fs}(t)$ на изменение текущего процесса $A_{\Pi}(t + \Delta t_s)$ на Δt_s -ом отрезке времени будем определять относительной величиной $\sigma_{\varphi}(\Delta t_s)$, рассчитанной, например, для канала курса $\varphi(\Delta t_s)$, по соотношению

$$\sigma_{\varphi}(\Delta t_s) = \frac{|\Delta\varphi(\Delta t_s)|}{\Delta\varphi_{доп}}, \quad (10)$$

где $\Delta\varphi(\Delta t_s)$, $\Delta\varphi_{доп}$ – соответственно текущее и допустимое отклонение курса.

Тогда оценивание (3) – (6) процесса управляемого движения станет характеризоваться степенью приближения k -й трубки содружества параметров к параллелепипеду (рис. 2, 3) с максимальными значениями его граней:

$$\max \Delta x_{Ai}; \max \Delta x_{Aj}; \max \Delta x_{Ak}. \quad (11)$$

2. Как только при различии ситуаций (7) – (10) наблюдается тенденция к нарушению условия (1) в изменениях соотношений (3), (4), (8) и приближения k -й трубки к границам (11), в БЗ и АО СУД будут сформированы соответствующие директивы – сообщения о состоянии оцениваемого процесса $\Pi(t)$. По этим сообщениям в АО вырабатываются корректирующие воздействия в тех алгоритмических компонентах, которые в данный момент времени определяют текущий характер изменения регулируемых параметров движения, например, параметров курса, скорости хода и дистанции.

3. Оценивание в БЗ СУД процессов плоского и пространственного маневрирования при изменении параметров продольного X , бокового Y движения и глубины H согласно табл. 1, например, на отрезке времени оценивания $[t_0 - t_5]$ будем производить, используя графические отображения процессов, представленные на рис. 4 в виде параллелепипеда с гранями:

верхняя – ($H = 50$ м) $D_5 - D_6 - D_7 - D_8$,
передняя – ($Y = 10$ м) $D_{10} - D_5 - D_8 - D_{13}$,
нижняя – ($H = 100$ м) $D_{10} - D_{11} - D_{12} - D_{13}$,
задняя – ($H = 100$ м) $D_{11} - D_6 - D_7 - D_{12}$,
левая – ($Y = 30$ м) $D_{13} - D_8 - D_7 - D_{12}$,
правая – ($Y = 0$ м) $D_{10} - D_5 - D_6 - D_{11}$.

Таблица 1

t_s , с	X , м	Y , м	H , м	Точка траектории
t_0	0	0	100	A_0
$t_1 = 100$	10	10	100	A_1
$t_2 = 200$	50	30	100	$\bullet A_2$
$t_3 = 300$	70	30	50	$\bullet A_3$
$t_4 = 350$	100	-50	50	$\bullet A_4$
$t_5 = 400$	150	10	100	$\bullet A_5$

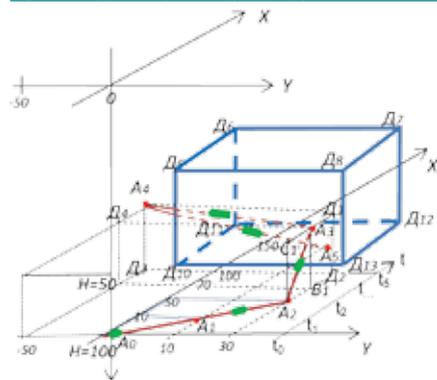


Рис. 4

Согласно рис. 4 в АО СУД контролируются фазовые координаты отображаемого процесса управляемого маневрирования:

плоское движение:

– в горизонтальной плоскости по траекториям $A_0 - A_1 - A_2$ треугольника $A_0 50 A_2$ и $A_3 - A_4$ прямоугольника $A_3 D_1 A_4 D_4$;

– при маневре в вертикальной плоскости по траектории $A_2 - A_3$ прямоугольника $A_2 C_1 A_3 B_1$;

пространственное движение:

– по траектории $A_4 - A_5$ с точкой A_5 в координатах: $X = 150$ м, $Y = 10$ м, $H = 100$ м.

Графическое отображение плоского и пространственного движения на отрезке времени $t_0 - t_5$ используется в БЗ АО СУД при функционировании в программных компонентах АО вычислительных процедур оценивания тенденции состояний процесса управления. Так например, оценивание в АО СУД процесса движения по заданной траектории $A_0 - A_1 - A_2 - A_3 - A_4 - A_5$ при его графическом представлении в варианте рис. 4 позволяет:

1) при движении в горизонтальной плоскости по траекториям $A_0 - A_1 - A_2$ и $A_3 - A_4$ в режиме стабилизации курса контролировать текущие наблюдаемые отклонения фазовых координат по глубине $\pm \Delta H$ с одновременной оценкой отклонений в поперечном смещении $\pm \Delta Y$, что будет характеризоваться трубкой с вычисляемым по выражению (6) основанием

$$D(\Delta t_s) \cong \pi \Delta Y(t_0 > t_2; t_3 > t_4) \times \Delta H(t_0 > t_2; t_3 > t_4)$$

и с образующей вида (4)

$$\Delta L_{ks}(\Delta t) = \Delta X(t_0 > t_2; t_3 > t_4);$$

2) при движении в вертикальной плоскости по траектории $A_2 - A_3$ обеспечивать режим стабилизации скорости изменения текущей глубины H с наблюдаемыми отклонениями по дифференцу $\pm \Delta \psi$ (угол $B_1 A_2 A_3$) и по курсу $\pm \Delta \varphi$, что будет характеризоваться трубкой с основанием (6)

$$D(\Delta t_s) \cong \pi \Delta \psi(t_2 > t_3) \times \Delta \varphi(t_2 > t_3)$$

и с образующей вида (4) –

$$\Delta L_{ks}(\Delta t) = \Delta X(t_2 > t_3).$$

Отметим, что ограничения, накладываемые на изменение i -х фазовых параметров состояния управляемого объекта в представлении рис. 4, определяют на период времени $t_0 - t_5$ пространственного маневрирования «объем» параллелепипеда, вычисляемый по выражению

$$V_{\Pi}(t + k\Delta t_s) = \prod_k \Delta x_{Ai}, \quad (12)$$

$$k = 0, 1, 2, \dots, i = 1, 2, \dots, n,$$

где k – количество итераций оценивания, \prod_k – символ произведения, Δx_{Ai} – фазовые параметры регулирования.

Введение в АО БЗ СУД параметра (12) обуславливает формирование в БЗ директивных сообщений по результатам оценивания процесса управления, например, с использованием характеристик рис. 4.

При этом вычисленные оценки состояний процесса маневрирования делают возможным установить, что отрезки $A_3 - A_4$, $A_4 - A_5$ желаемой (заданной) траектории «выходят» (точка A_4) за пределы заданных параллелепипедом ограничений. Поэтому заданная траектория

по директивным сообщениям БЗ будет заблокирована вычислительными алгоритмами АО СУД и не будет принята к реализации при маневрировании.

Пример 1. Пусть для процесса вида «траектория A_3-A_4 » в описании параллелепипеда (1) представлены параметры содружества (9): X – продольное, Y – поперечное смещение, H – изменение глубины.

Тогда из (12) получим при $k = 1$

$$V_{\Pi}(t + \Delta t_s) = \lambda(\Delta X \times \Delta Y \times \Delta H),$$

где λ – коэффициент масштаба, $\Delta X, \Delta Y, \Delta H$ – текущие отклонения параметров на отрезке времени $t + \Delta t_s$.

С использованием представлений по рис. 1, 2 процесс управления с оценками $V_{\Pi}(t + k\Delta t_s)$ отображается параллелепипедами для трех последующих состояний изменения содружества координат $\Delta X, \Delta Y, \Delta H$ процесса $A_0-A_1-A_2-A_3-A_4-A_5$:

$$\begin{cases} V_{\Pi_1}(t_s) = \lambda(\Delta x_1 \times \Delta y_1 \times \Delta H_1); \\ V_{\Pi_2}(t_s + \Delta t_s) = \lambda(\Delta x_2 \times \Delta y_2 \times \Delta H_2); \\ V_{\Pi_3}(t_s + 2\Delta t_s) = \lambda(\Delta x_3 \times \Delta y_3 \times \Delta H_3). \end{cases} \quad (13)$$

Пусть на отрезке времени $t = t_s + k\Delta t_s$, $k = 0 \dots 5$ имели место следующие численные отклонения параметров регулирования

$$\begin{aligned} \Delta x_1 &= 4 \text{ м}; \Delta y_1 = 3 \text{ м}; \Delta H_1 = 0,9 \text{ м}; \\ \Delta x_2 &= 3 \text{ м}; \Delta y_2 = 3,5 \text{ м}; \Delta H_2 = 0,8 \text{ м}; \\ \Delta x_3 &= 3 \text{ м}; \Delta y_3 = 5,5 \text{ м}; \Delta H_3 = 0,6 \text{ м} \end{aligned}$$

от соответствующих допустимых значений $\Delta x_{\text{доп}} = \Delta y_{\text{доп}} = 3,5 \text{ м}; \Delta H_{\text{доп}} = 0,5 \text{ м}$, при допустимом обобщенном параметре (12).

Последовательно сравнив параллелепипеды $V_{\Pi}(t + k\Delta t_s)$ с использованием отношения

$$q_k = \frac{V_k(t)}{V_{k\text{доп}}(t \leq t_s)} \quad (14)$$

и применяя к каждому из содружества параметру преобразование вида (10), с учетом приведенных численных значений отклонений получим из (14) значения $q_1 = 1,763$; $q_2 = 1,371$; $q_3 = 1,620$.

Согласно процедуре сопоставления состояний процесса пространственного движения с оценками $V_{\Pi}(t + k\Delta t_s)$ имеем неравенство

$$V_{\Pi_2} \leq V_{\Pi_3} \leq V_{\Pi_1}. \quad (15)$$

Из (15) следует, что из трех последовательных состояний (13), неблагоприятным процессом «пространственное маневрирование» следует считать процесс $V_{\Pi_1}(t_s)$, в котором критичным параметром является изменение глубины ΔH_1 , а нежелательным – процесс $V_{\Pi_3}(t_s)$, в котором наблюдается недопустимое изменение поперечного смещения ΔY_3 .

Алгоритмизация процедуры оценивания процесса управления в форме (12) – (15) выполняется, таким образом, на основе разработанной в БЗ АО процедуры ввода-вывода динамически пополняемых, в темпе вычислений (1), (3–7), (10), (12), данных (13)–(15).

«Распознавание» ансамбля сообщений (9) становится оперативным, если в пополняемой БЗ динамические изменения регулируемого фазового параметра вычисляются с учетом ограничений (11) и изменения трендов (14). Это становится возможным, если в АО СУД циклически, с тактом Δt_s , на отрезке времени $t = t_s + k\Delta t_s$ формируются прогнозные значения изменения регулируемого параметра. Вычисление прогнозных параметров состояния производим в два этапа: 1) по данным текущего состояния процесса определяем модельные (фильтрованные) прогнозные значения переменных; 2) определяем по результатам этапа 1 прогнозируемые изменения параметров регулирования.

Пример 2. Пусть процесс динамической стабилизации параметров x_k продольного движения описывается в виде структуры дифференциальных уравнений объекта управления (судна) и наблюдающего устройства – фильтра:

$$\begin{cases} \text{-объект управления} \\ \dot{X}_x = 1/m_x (R_x + \Sigma F_x) \\ \Delta \dot{X} = V_x \\ \text{-наблюдающее устройство} \\ \dot{X}_x = 1/m_x (R_x + \Sigma \hat{F}_x) + k_{11}\varepsilon_1, \\ \Delta \dot{X} = \hat{V}_x + k_{22}\varepsilon_1, \\ \dot{F} = k_{11}\varepsilon_1, \\ \varepsilon_1 = X - X_{\text{зад}} - \hat{X}, \end{cases} \quad (16)$$

где X, V_x – текущие параметры смещения и скорости продольного движения судна; \hat{X}, \hat{V}_x – фильтрованные значения; R_x, F_x – управляющее и возмущающее воздействия. В соответствии с моделью (16) на этапе 1 выполняем прогноз модельных значений параметров продольного движения x_k по выражениям:

$\hat{x}_2(t_k + \Delta t) = (1 - \Delta t \zeta)x_2(t_k) - \Delta t \mu x_1(t_k)$;
 $\hat{x}_1(t_k + \Delta t) = x_1(t_k) - 0,5 \Delta t [x_2(t_k) + x_2(t_k + \Delta t)]$,
 где \hat{x}_1, \hat{x}_2 – соответственно оценки параметров смещения и его скорости; ζ, μ – коэффициенты регулятора соответственно с размерностью 1/с и $1/c^2$ при функционировании в структуре (16) модели наблюдателя вида

$$\begin{cases} \dot{\hat{x}}_1(t_k + \Delta t) = \hat{x}_2(t_k + \Delta t) + k_{x1}[x_1(t_k) - \hat{x}_1(t_k)]; \\ \dot{\hat{x}}_2(t_k + \Delta t) = \mu \hat{x}_1(t_k + \Delta t) - \zeta x_2(t_k + \Delta t) + \\ + k_{x2}[x_1(t_k) - \hat{x}_1(t_k)]. \end{cases}$$

Здесь $\hat{x}_1(t_k + \Delta t), \hat{x}_2(t_k + \Delta t)$ – соответственно модельные значения скорости и ускорения изменения смещения; k_{x1}, k_{x2} – коэффициенты коррекции наблюдателя.

На втором этапе вычислений для формирования прогнозных параметров движения судна предсказанные модельные значения корректируем с учетом последних измерений параметра x_k ;
 $x_1(t_k + \Delta t) = \hat{x}_1(t_k + \Delta t) + \Delta t k_{x1}[x_1(t_k) - \hat{x}_1(t_k)]$;
 $x_2(t_k + \Delta t) = \hat{x}_2(t_k + \Delta t) + \Delta t k_{x2}[x_2(t_k) - \hat{x}_2(t_k)]$;
 $x_3(t_k + \Delta t) = \hat{x}_3(t_k + \Delta t) + \Delta t k_{x3}[x_3(t_k) - \hat{x}_3(t_k)]$,

где $x_1(t_k + \Delta t), x_2(t_k + \Delta t)$ – соответственно вычисляемые прогнозные значения параметров смещения и скорости продольного движения; $x_3(t_k + \Delta t), \hat{x}_3(t_k + \Delta t)$ – соответственно прогнозные и модельные значения внешнего возмущающего воздействия F_x .

Для качественного оценивания текущего процесса управления прогнозные фазовые параметры состояния, полученные в геометрических оценках, сопоставляем в АО БЗ соответственно с ограничениями (1), (11), установленными параллелепипедом вида рис. 4. По результатам сопоставления с учетом условий (10), (12) формируем необходимые коррективы в алгоритмах СУД.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе идеологии работ [3, 4] в статье рассматриваются геометрические оценки качества функционирования алгоритмического обеспечения систем управления движением. Такое оценивание управляемого процесса движения в реальном масштабе времени предложено выполнять по данным базы знаний, пополняемой по результатам изменения фазовых параметров состояния объекта. Следуя подходу работы [5], в алгоритмическом обеспечении базы знаний предложено вводить дополнительные программные компоненты, учитывающие ограничения на изменение параметров регулирования.

Собственно динамическое оценивание процесса с графической его интерпретацией (рис. 4) производится не по отдельным параметрам состояния, а по содружеству его взаимосвязанных параметров с их текущими и прогнозными значениями. Обработка в программно-алгоритмическом обеспечении базы знаний СУД данных о процессе в представлениях (12) и наличие дополнительных функциональных алгоритмов вида (13) – (16) сокращают время качественного оценивания процесса управляемого движения морского подвижного объекта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кобзев В. В., Болховитинов В. К. К вопросу интеллектуализации управления маневрированием автономных необитаемых подводных аппаратов, ч. 1. // Морской вестник. – 2014. – № 4 (52).
2. Jakoblev E. M. Сборник задач по алгебре – <http://internet.oldskole1.narod.ru>.
3. Лейтман Дж. Введение в теорию оптимального управления. – М.: Наука, 1968.
4. Аграчев А. А., Сачков Ю. Л. Геометрическая теория управления. – М.: Физматлит, 2005.
5. Сачкова Е. Ф. Приближенное решение двухточечных граничных задач для систем с линейными управлениями // Автоматика и телемеханика. – 2009. – № 4. – С. 186–189, п. 6. ■

ВВЕДЕНИЕ

На надводных кораблях ВМФ управление техническими средствами (ТС) осуществляется операторами за пультами систем управления (СУ) главной энергетической установки (ГЭУ), электроэнергетической системы (ЭЭС), общекорабельных систем (ОКС), технических средств движения (ТСД).

Операторы СУ размещаются в специально оборудованных местах, к которым относятся:

- командный пункт энергетики и живучести (КПЭЖ);
- запасной командный пункт энергетики и живучести (ЗКПЭЖ);
- пост дистанционного управления (ПДУ);
- ходовая рубка (ХР);
- местные посты управления;
- трюмные, пожаротушения и другие.

Пульты управления (ПУ) являются рабочими местами операторов (РМО) и подразделяются на центральные (ЦПУ), размещаемые в КПЭЖ, ЗКПЭЖ и ПДУ, и местные (МПУ), размещаемые в местных постах управления ТС ГЭУ, ЭЭС, ОКС и ТСД, в которых по необходимости размещаются локальные системы управления (ЛСУ) главными двигателями (ГД), реверс-редукторами (РР), дизель-генераторами (ДГ) и другими ТС. Особое место занимает пульт рулевого в составе системы управления движением (СУД), размещаемый в ХР.

На операторов СУ ТС возлагаются функции контроля и управления разнородными технологическими процессами в ГЭУ, ЭЭС, ОКС и ТСД.

С пульта центральной координирующей системы управления (ЦКСУ), которая входит в состав комплексной системы управления (КСУ), проводится контроль за работой операторов СУ ТС и координированное управление ТС электромеханической боевой части (ЭМБЧ) корабля. За пультом ЦКСУ размещается командир ЭМБЧ, вахтенный инженер-механик или дежурный по ЭМБЧ.

Существующая организация службы на кораблях обеспечивает эффективную работу операторов по управлению и контролю ТС, однако в соответствии с современными требованиями ВМФ необходимо обеспечить взаимозаменяемость личного состава в постах управления, сократить численность экипажей, подготовить специалистов, способных в совершенстве выполнять функции управления и контроля ТС с любого поста СУ.

Одним из направлений реализации этих требований является создание унифицированных мест операторов управления ТС ГЭУ, ЭЭС, ОКС и ЦКСУ на основе современной вычислительной

УНИФИЦИРОВАННЫЕ РАБОЧИЕ МЕСТА ОПЕРАТОРОВ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИМИ СРЕДСТВАМИ НАДВОДНЫХ КОРАБЛЕЙ

Б.В. Грек, *д-р техн. наук, проф.*,
С.Н. Сурин, *канд. техн. наук*,
ОАО «Концерн «НПО «Аврора»»,
контакт. тел. (812) 702 5971

техники и сетевых технологий. Создание унифицированных РМО рассматривается в составе цифровых КСУ ТС и интегрированных систем управления.

РАБОЧИЕ МЕСТА ОПЕРАТОРОВ В КСУ ТС

Цифровая КСУ ТС надводного корабля, как правило, содержит автономные функциональные СУ, которые выполнены как локальные сети на основе стандартных межприборных средств обмена данными, например, MILSTD 1553, объединенные по межсистемной магистрали, например, стандарта Ethernet.

На рис. 1 представлена структура типовой КСУ ТС, разработанной для малого артиллерийского корабля (МАК) «Астрахань», которая содержит четыре автономные функциональные СУ [1]:

- ТС ГЭУ – двухсекционный ПУ в ПЭЖ, две станции локальные технологические (СЛТ) для связи с объектами управления и контроля (ОУК), МПУ и средства управления движением в ходовой рубке;
- ТС ЭЭС – односекционный ПУ в ПЭЖ и две СЛТ;

- ТС ОКС – навесной прибор управления, размещаемый в ПЭЖ и три коробки соединительные (КС);
- ТСД – пульт в ХР, процессорные станции в местном посту управления рулями и заслонками водометных движителей, выносные приборы индикации.

Центральная координирующая система содержит односекционный ПУ, устройство печати и коммутаторы – сетевые приборы центральных Ethernet (ПЦЕ), к которым подключены ПУ функциональных систем.

В составе цифровой КСУ ТС для МАК применены единые аппаратно-программные средства и операционная система реального времени. Реализация функциональных задач СУ осуществляется с помощью функционального программного обеспечения (ФПО), загружаемого в вычислительные приборы.

Эффективная работа оператора за ПУ предполагает наличие средств, обеспечивающих быстрое восприятие информации и оперативную выдачу управляющих воздействий. Наглядность информации, выводимой на экран дис-

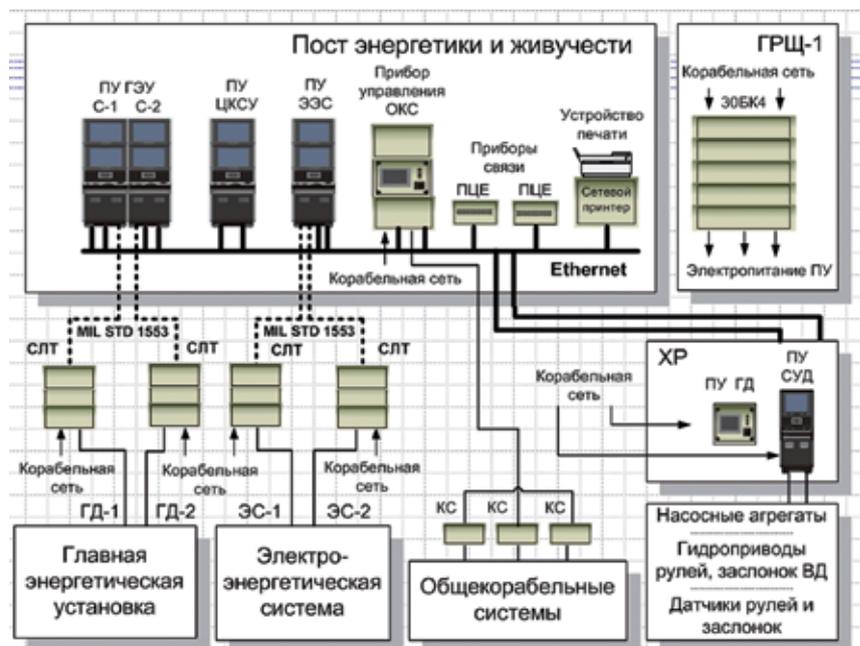


Рис. 1. Структура цифровой КСУ ТС типа «Фауна» для МАК «Астрахань»

поя, и оперативность управления поддерживаются интерфейсами, реализуемыми в ПУ. Подготовка операторов базируется на знаниях специальности и инструкций по эксплуатации ТС, формировании умений и отработке практических навыков.

Функциональность систем управления, входящих в КСУ ТС, наглядно отображается в уникальных ПУ, которые, как показано на рис. 2, разработаны



Рис. 2. Внешний вид средств управления ПУ КСУ ТС типа «Фауна»

под конкретные задачи постов управления МАК.

На лицевых панелях центральных ПУ размещаются разнообразные средства индикации, контроля и управления – кнопки, табло, копки-табло, переключатели и другая аппаратура. Сохраняется индивидуальность функциональных СУ, входящих в состав КСУ ТС, уникальность интерфейсов и, соответственно, разнообразие в подготовке операторов. Применение единых аппаратно-программных средств в КСУ ТС не обеспечивает унификации рабочих мест операторов функциональных систем управления.

СТРУКТУРА ИНТЕГРИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Под интегрированной системой управления (ИСУ) понимается «совокупность двух или более взаимосвязанных автоматизированных систем, в которой функционирование одной из них зависит от результатов функционирования другой (других), так что эту совокупность можно рассматривать как единую автоматизированную систему» [2].

Переходу к интеграции способствует становление автоматики основных объектов управления СУ ТС – ГД, ДГ и других. На эту автоматику возлагаются функции пуска, останова, защиты и сигнализации состояния ОУК. В качестве источников информации применяются стандартизованные датчики и сигнализаторы. Выбор исполнительных органов определяется спецификой ОУК. Особое внимание обращается на обеспечение унифицированных

входов и выходов автоматизированных ТС и ЛСУ.

Пример цифровой ИСУ, в состав которой входят функциональные системы управления ГЭУ, ЭЭС, комплексов технических средств (КТС), СУД и ЦКСУ, представлен на рис. 3. Управление ТС производится из КПЭЖ, ПДУ, ХР и местных постов. Питание ИСУ осуществляется от централизованной системы, которая включает аг-

регаты бесперебойного питания (АБП) с аккумуляторами. В отсеках корабля, обозначенных цифрами, размещаются элементы ИСУ.

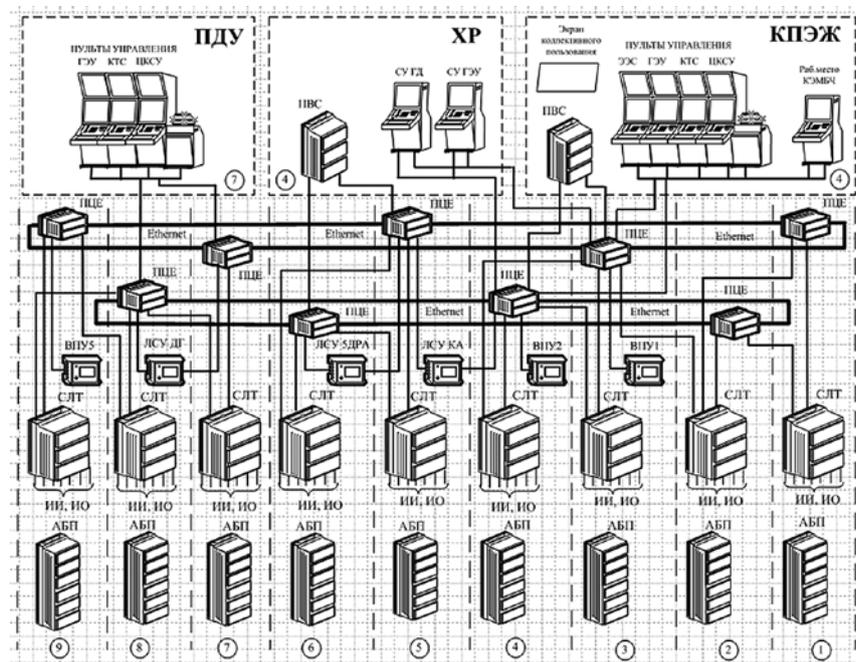


Рис. 3. Пример структуры интегрированной системы управления

Принципиальным отличием ИСУ является наличие общих ресурсов и их одновременное использование всеми функциональными СУ для решения задач управления разнородными ТС ГЭУ, ЭЭС, ОКС, ТСД и ЦКСУ. Общим ресурсом является система обмена данными (СОД), которая содержит два оптоволоконных кольца, разделенных на сегменты ПЩЕ, к которым парами подключены абоненты:

ПУ, МПУ, СЛТ, ЛСУ и другие автоматизированные ОУК. Обмен данными в ИСУ производится по принципу равного доступа к вычислительным приборам по согласованным протоколам.

Новым в ИСУ является распределение вычислительных ресурсов. Так, алгоритмы управления и контроля ТС размещаются в СЛТ, к которым в соответствии с зонной концепцией подключены датчики, сигнализаторы, ЛСУ и автоматизированные ОУК. Под зоной понимаются отсек, надстройка, помещение или другой объем корпуса корабля. В ПУ размещаются алгоритмы передачи управляющих воздействий в ОУК, обработки и представления поступающей информации оператору.

Работоспособность всех СУ, входящих в ИСУ, зависит от исправности единой СОД, два дублированных оптоволоконных кольца которой размещаются на разных уровнях корпуса корабля, а приборы ПЩЕ – в разных отсеках. Наиболее важные абоненты ИСУ подключаются через ПЩЕ к обоим кольцам СОД основным и резервным каналами, обеспечивая резервирование линий связи и работоспособность абонентов до трех физических отказов элементов СОД – коммутаторов и линий связи между ними.

Остальные абоненты подключаются одним каналом к ближайшему ПЩЕ.

Оба кольца СОД непрерывно находятся в работе. Контроль работоспособности элементов СОД и передачи информации осуществляется с двух резервируемых приборов внешних связей (ПВС). При возникновении отказов ИСУ деградирует. Восстановление работоспособности ИСУ производится путем замены отказавших элемен-

тов на исправные из состава комплекта запасных изделий и принадлежностей (ЗИП). Отказоустойчивость ИСУ может быть повышена за счет автоматической реконфигурации структуры при переходе на управляемые коммутаторы ПЩЕ.

Таким образом, отличительным признаком ИСУ является единая СОД, к которой по принципу равного доступа подключены вычислительные приборы, обеспечивающая одновременную работу функциональных СУ ГЭУ, ЭЭС, ОКС, ТСД и ЦКСУ. Алгоритмы управления и контроля размещаются в СЛТ. Управляющие воздействия передаются от ПУ по СОД к СЛТ, и от СЛТ – в ЛСУ ГД, РР, ДГ и другие автоматизированные ОУК.

РАБОЧЕ МЕСТА ОПЕРАТОРОВ В ИСУ

Общие ресурсы, сетевая технология и новое распределение алгоритмов управления в цифровой ИСУ создают предпосылки для унификации аппаратуры управления, в том числе ПУ.

Для унификации ПУ должны быть выполнены следующие мероприятия.

1. Размещение на лицевых панелях ПУ универсальных средств представления информации и формирования команд управления, единых при решении функциональных задач СУ: мониторов, функциональной клавиатуры, сенсорных микропроцессорных панельных станций (МПС), трекбола и т. п.

2. Отказ от оборудования, встраиваемого в ПУ: выносных панелей управления ГД (ДГ), устройств замера сопротивления изоляции, тахометров вращения гребных валов и т. п. Аналогично встраиваемого оборудования должны содержать источники информации, стандартизованные средства передачи дискретных, аналоговых и цифровых сигналов, а также программное обеспечение (ПО), загружаемое в вычислительные приборы ИСУ.

3. Вынос встраиваемого оборудования, от которого невозможно отказаться, например, аварийного машинного телеграфа, за пределы ПУ или в порядке исключения, размещение его на ПУ с подключением непосредственно или через внешние разъемы электромонтажного комплекта ПУ.

В качестве примера на рис. 4 представлен универсальный ПУ решения функциональных задач СУ для ИСУ надводного корабля, в составе которого два монитора, две сенсорные МПС, универсальная клавиатура, трекбол, средства подачи и контроля наличия электропитания.

Унифицированное РМО в составе ИСУ создается на основе универсального ПУ, в центральный процессор ко-



Рис. 4. Пример двухмониторного универсального ПУ

торого загружается единое программное обеспечение, которое объединяет ФПО всех функциональных систем управления ТС ГЭУ, ЭЭС, ОКС и ЦКСУ, а также ПО аналогов встраиваемого оборудования.

Единое ПО позволяет подключать универсальное ПУ к свободным разъемам приборов ПЩЕ и обеспечивает доступ к информационным и управляющим потокам, циркулирующим в СОД, создавая два преимущества ИСУ: высокую модернизационную способность и повышенную устойчивость к отказам при различных режимах работы.

Высокая модернизационная способность ИСУ заключается в наращивании функций управления без изменения структуры и приборного состава СОД. Унифицированное РМО в ИСУ создает свойство виртуальности ПУ, которое принципиально меняет всю организацию управления – позволяет создавать посты управления для решения функциональных задач практически в любом месте корабля: внутренних помещениях, надстройке, открытой палубе.

Повышенная отказоустойчивость ИСУ заключается в обеспечении работоспособности любого ее участка, содержащего исправные элементы СОД, к которым подключены исправно работающие хотя бы одно унифицированное РМО и одна СЛТ с датчиками, сигнализаторами и автоматизированными ОУК. Операторы размещаются за унифицированными РМО и при наличии питания решают задачи функциональных СУ на разобщенных участках СОД.

Универсальные ПУ содержат взаимозаменяемые модули, обеспечивая единство аппаратуры и сокращение ЗИП. Унификация приборов, ПО и ЗИП сокращают расходы на со-

здание ИСУ и поддержание ее работоспособности на этапе эксплуатации.

УНИФИКАЦИЯ ИНТЕРФЕЙСОВ ОПЕРАТОРОВ В ИСУ

Успешное решение операторами функциональных задач в ИСУ зависит от интерфейса, создаваемого на унифицированных РМО. Для унификации экраны мониторов РМО одинаково разделены на области (панели, блоки), в которых размещаются графические и текстовые элементы для вывода информации и формирования управляющих воздействий.

В качестве примера на рис. 5 рассматривается ИСУ, в состав которой включены три функциональные системы управления: ГД и РР типа «Радуга», ЭЭС типа «Вишера» и ОКС типа «Зайсан».

Каждая СУ содержит унифицированный интегрированный пульт (ИНП) с исполнениями: ИНП1 – ПУ СУ ОКС; ИНП1.1 – ПУ СУ ГД и РР; ИНП1.2 – ПУ СУ ЭЭС. Каждый ИНП, на который подано электропитание, может находиться в одном из трех режимов: СУ ОКС (ФПО СУ ОКС типа «Зайсан»); СУ ЭЭС (ФПО СУ ЭЭС типа «Вишера»); СУ ГД, РР (ФПО СУ ГД и РР типа «Радуга»).

В каждом режиме ПУ может находиться только в одном из двух состояний:

- КОНТРОЛЬ, которому соответствует «пассивное» состояние ФПО, в котором осуществляется только контроль ТС;
- ИСПОЛНЕНИЕ, которому соответствует «активное» состояние ФПО, в котором проводятся управление и контроль ТС.

Для примера на рисунке представлен экран монитора универсального ПУ, который разделен на следующие общие для всех ПУ области:

- панель режимов работы;
- зона постов управления;
- панель аварийных и предупредительных сообщений;
- основная область (видеокадры);
- панель менеджера задач rwm.

Панель режимов работы ПУ размещается сверху экрана монитора, оформлена в виде строки и содержит следующие средства контроля состояния и управления режимами работы:

- виртуальную клавишу УПР (без памяти), которая предназначена для перевода ПУ из состояния КОНТРОЛЬ в состояние ИСПОЛНЕНИЕ;
- обозначение «Вст», которому на универсальной клавиатуре соответствует «горячая» клавиша, нажатие которой дублирует клавишу УПР и осуществляет перевод ИНП из со-

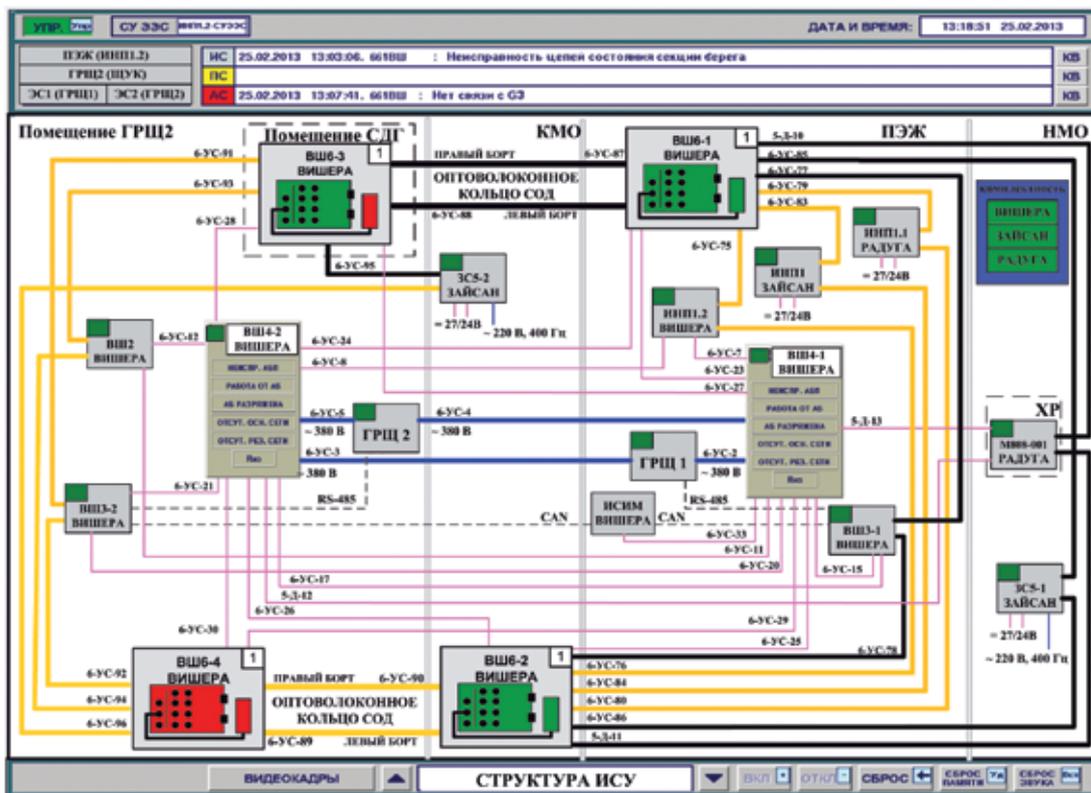


Рис. 5. Пример деления на области экрана монитора универсального ПУ

стояния КОНТРОЛЬ в состоянии ИСПОЛНЕНИЕ;

- три информационных поля, поименованные ИНП1, ИНП1.1 и ИНП1.2, которые отображают информацию о режимах работы ПУ, и в каждом информационном поле:
 - а) отсутствует текст, цвет фона, если ПУ выключен или нет связи по СОД;
 - б) появляется обозначение режима работы (СУ ЭЭС, СУ ГД, РР или СУ ОКС), если ПУ включен, и информационное поле отображается цветом:

фона, если ПУ в состоянии КОНТРОЛЬ (ФПО «пассивное»); «зеленым», если ПУ в состоянии ИСПОЛНЕНИЕ (ФПО «активное»).

Информационное поле ПУ отображается «светло-голубым» цветом, если обозначение информационного поля совпадает с обозначением прибора.

Зона постов управления размещается под строкой панели режимов работы ПУ в левой части экрана монитора и оформлена в виде полей контроля и управления, в которых размещаются табло и виртуальные клавиши. С помощью виртуальных клавиш производится передача управления на верхний уровень с отображением состояния, а с помощью табло – отображение состояния постов управления ТС. Строка, соответствующая посту, принявшему на себя управление, отображается «зеленым» цветом, остальные строки отображаются цветом фона. Количество строк в зоне постов управления зависит от числа уровней управления, предус-

мотренных для конкретной СУ. Заполнение строк производится в соответствии с приоритетом постов управления. Высшим приоритетом обладает пост, который записывается в нижней строке зоны управления.

Например, для СУ ЭЭС в зоне постов управления строки сверху вниз содержат следующие записи:

- ПЭЖ (пульт ИНП1.2), цвет «зеленый», управление производится из ПЭЖ;
- ГРЩ2 (прибор ЩУК – щит управления и контроля), цвет фона;
- НЭС (ГРЩ1) и КЭС (ГРЩ2), цвет фона, МПУ.

Панель аварийных и предупредительных сообщений (АПС) размещается в правой части экрана монитора под панелью режимов работы ПУ и содержит три строки по группам сообщений: аварийные (АС), предупредительные (ПС) и информационные (ИС). Строки упорядочены по типам сообщений, автоматически обновляются и содержат только последние сообщения. Сообщения, фиксируемые аппаратурой СУ ТС, автоматически записываются в архив АПС процессорного модуля ПУ. Для предотвращения переполнения архива АПС вводятся ограничения по количеству записей и времени контроля. Вывод сообщений производится ФПО (СУ ОКС, ЭЭС или ГД, РР), состояние которых «активное». Сообщения автоматически удаляются из панели АПС и не вызываются в список АПС, если соответствующие им сигналы «норма-

лизованы» – ликвидированы причины их появления.

Основная область экрана монитора представляет содержательную часть, которую называют экранные страницы или видеокадры (ВК). ВК подразделяются на общие, предназначенные для управления и контроля за общими ресурсами ИСУ и автоматизированными ОУК, и функциональные, отражающие специфику управления и контроля в функциональных СУ. Основная область внизу содержит строку навигации для вызова ВК.

Панель менеджера задач rwtm является нижней строкой экрана монитора и содержит средства переключения ПУ с помощью кнопки ПУСК, размещаемой слева, в один из режимов работы – СУ ОКС, СУ ЭЭС или СУ ГД, РР. На панели rwtm допускается также размещение средств навигации по видеокадрам СУ.

Унификация интерфейсов универсальных ПУ обеспечивает единообразие в подготовке операторов функциональных СУ и отработке ими практических навыков, сокращает расходы на обучение и время на операторскую подготовку личного состава корабля.

ПЕРЕКЛЮЧЕНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ПУ

Для переключения режимов работы универсального ПУ используются две области экрана монитора ПУ: панель rwtm и панель режимов работы.

Алгоритм переключения режимов работы ПУ представлен на рис. 6.

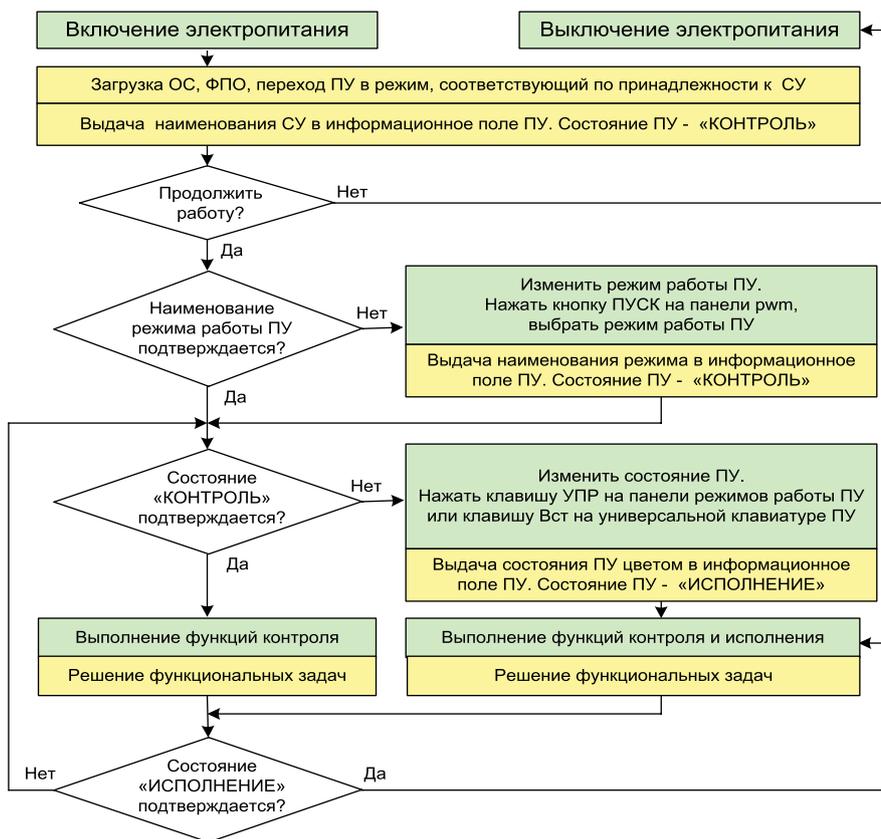


Рис. 6. Алгоритм переключений режимов работы ПУ

После подачи электропитания производится начальная загрузка ОС и ФПО. В информационное поле ПУ (панель режимов работы) записывается наименование СУ, в состав которой входит ПУ: прибор ИНП1 загружается в режим СУ ОКС; прибор ИНП1.1 – в режим СУ ГД и РР; прибор ИНП1.2 – в режим СУ ЭЭС. Состояние ПУ – КОНТРОЛЬ.

Действия оператора выделены «желтым» цветом, ФПО – «зеленым».

В цикле алгоритма производится опрос элементов памяти, состояния которых устанавливаются оператором.

Намерение оператора продолжить работу подтверждается состоянием кнопки ВКЛ/ОТКЛ электропитания на горизонтальности плоскости ПУ.

Для изменения режима ПУ оператор нажимает виртуальную кнопку ПУСК (панель rwm) и из всплывающего меню выбирает требуемый режим работы: СУ ОКС; СУ ГД и РР; СУ ЭЭС.

Для перехода ПУ в один из режимов, представленных в меню, необходимо разместить курсор в поле с назначенным режимом работы и активировать назначенный режим – нажать клавишу Enter на универсальной клавиатуре.

В результате:

- всплывающее меню сворачивается, панель rwm приобретает прежний вид;
- ПУ переходит в состояние КОНТРОЛЬ заданного режима работы,

на экран монитора вызываются ВК СУ, соответствующей назначенному режиму;

- на панели режимов работы ПУ в поле, которое соответствует обозначению ПУ, появляется наименование назначенного режима.

Резервным средством переключения режимов работы ПУ являются комбинации «горячих» клавиш на клавиатуре ПУ: «Alt+1» – СУ ОКС; «Alt+2» – СУ ГД, РР; «Alt+3» – СУ ЭЭС.

После выбора нового режима работы ПУ всегда переходит в состояние КОНТРОЛЬ.

Для перевода ПУ в состояние ИСПОЛНЕНИЕ производится активизация ФПО путем нажатия на виртуальную кнопку УПР (панель режимов работы ПУ) или на «горячую» клавишу Вст на стандартной клавиатуре ПУ (резервное средство активизации ФПО). Обязательным условием активизации ФПО является передача управления на ПУ из зоны постов управления. Решение о передаче управления на ПУ, размещаемый в КПЭЖ, формируется от более приоритетного поста управления и отображается в зоне постов управления.

Обратный переход ПУ в состояние КОНТРОЛЬ производится путем нажатия на виртуальную кнопку ПУСК на панели rwm и подтверждением в выпадающем меню выбранного режима работы (или с помощью «горячих» клавиш, указанных ранее).

Алгоритм переключения работы ПУ обеспечивает выбор назначенного режима, перевод ПУ из состояния КОНТРОЛЬ в состояние ИСПОЛНЕНИЕ и обратно, создавая оператору возможность управления разнородными технологическими процессами в каждой функциональной СУ.

ВЫВОДЫ

1. Основой унифицированного РМО является универсальный ПУ с единым ПО в составе цифровой ИСУ, содержащей единую СОД и вычислительные приборы, которые обеспечивают работу одновременно всех функциональных СУ: ГЭУ, ЭЭС, ОКС, ТСД и ЦКСУ.

2. Единые средства представления данных и формирования команд управления, размещаемые в универсальном ПУ, образуют общий интерфейс, обеспечивающий решение всех задач функциональных СУ.

3. Цифровая ИСУ обеспечивает работоспособность любого разобленного участка сети с исправными элементами СОД, содержащего исправные хотя бы одно унифицированное РМО и одну СЛТ с датчиками, сигнализаторами и автоматизированными ОУК, получающих электропитание.

4. Свойство виртуальности универсального ПУ в цифровой ИСУ ведет к изменению организации управления ТС с сохранением структуры и приборов единой СОД, созданию постов управления практически в любом месте корабля – внутренних помещениях, надстройке и открытой палубе.

5. Унифицированные РМО с общим интерфейсом в ИСУ обеспечивают единообразие в подготовке операторов, способных выполнять функции управления и контроля разнородными ТС с любого поста, единство аппаратуры и ЗИП, сокращение расходов на обучение и численности экипажей надводных кораблей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Грек Б. В., Сурин С. Н. Комплексная система управления техническими средствами «Фауна» малого артиллерийского корабля «Астрахань» // Морская радиоэлектроника. – 2007 – № 2 (20). – С. 36–41.
2. ГОСТ 34.003–90. Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы. Термины и определения. – М.: Комитет стандартизации и метрологии СССР, 1990. – 16 с.
3. Шилов К. Ю., Сурин С. Н., Грек Б. В. Опыт создания современных интегрированных систем управления надводных кораблей // Морской вестник. – 2009. – № 3 (31). – С. 52–60. ■

Известный метод синтеза управления конечным положением линейного стационарного объекта, основанный на минимизации интеграла «энергии» управления, приводит к структуре закона в виде линейной комбинации переменных состояний с коэффициентами, зависящими от времени, оставшегося до окончания процесса [1]. Ограниченные возможности практического применения этого метода обусловлены тем, что вне рассмотрения оказываются характеристики устойчивости и точности системы. К тому же оптимальное управление – единственное, что исключает рассмотрение задачи синтеза как многокритериальной, каковой она является по существу, если принять во внимание требования к характеристикам устойчивости, показателям качества переходного процесса, статистическим характеристикам точности и т.д. Заметим также, что интеграл «энергии» не является контролируемой величиной, например, в задачах управления летательными аппаратами в атмосфере [2]. Эти обстоятельства стимулируют развитие альтернативных подходов.

1. МОДЕЛЬ ОБЪЕКТА

Рассмотрим задачу управления конечным положением подвижного объекта, описываемого системой линейных дифференциальных уравнений с постоянными коэффициентами

$$\dot{x} = Ax + bu, \quad (1)$$

где x – n -мерный вектор; A – постоянная $n \times n$ -матрица; b – n -мерный вектор; u – скалярная функция.

Требуется построить управление u , переводящее объект из произвольного начального положения $x(0)$ в конечное $x(T) = 0$ за время T . Один из методов решения этой задачи состоит в минимизации величины $J = \frac{1}{2} \int_0^T u^2 dt$ при ограничении $x(T) = 0$ [1]. Пусть $w(t)$ – весовая матрица системы $\dot{x} = Au$, $H = wb$. Предположим, что функции h_1, \dots, h_n линейно независимы на $[0, T]$. Следуя [1], определяем оптимальное управление

$$u(\tau, x) = -k(\tau)x(\tau), \quad \tau = T - t,$$

$$k(\tau) = H^T(\tau) G^{-1}(\tau) w(\tau), \quad G(\tau) = \int_0^{\tau} H H^T d\theta.$$

Матрица $G(\tau)$ является вырожденной при $\tau = 0$, а при малых τ – плохо обусловленной. Будем полагать $\tau \geq \Delta > 0$, Δ – некоторая постоянная. Если модель процесса представлена в форме $\dot{x} = Ax + bu + f(t)$, где $f(t)$ – заданная функция, а граничные условия – $x(T) = x_T$, то управление будет иметь вид $u(\tau, x) = -H^T(\tau) G^{-1}(\tau) \{ (w(\tau)x(\tau) - x_T) + \int_w(\theta) f(T - \theta) d\theta \}$.

Обратим внимание на следующее обстоятельство: оптимальная конструкция позволяет выявить предельные свойства переменных коэффициентов при $\tau \rightarrow \infty$ и при $\tau \rightarrow 0$, а они, как далее будет показано, связаны со свойствами устойчивости и точности процесса. Асимптотическая устойчивость решения системы (1) означает, что терминальная ошибка $\|x(T - \Delta)\|$ стремится к нулю, когда T неограниченно растет. Это свойство отражает то обстоятельство, что реальные процессы могут протекать при различных значениях T , теоретически сколь угодно больших [3, 4]. Под точностью здесь понимается предельное свойство: $\|x(t)\| \rightarrow 0$ при $t \rightarrow T$. Последнее требует доказательства, поскольку решение уравнения связи имеет смысл при $\tau > 0$; в точке $\tau = 0$ переменные коэффициенты $k_i(\tau)$ имеют полюс.

Далее будем рассматривать систему (1) частного вида:

$$\begin{cases} \dot{x}_i = -\sum_{k=1}^{i-1} a_{ik} x_k, & i = 1, \dots, n-1; \\ \dot{x}_n = \sum_{k=1}^n a_{nk} x_k + U(\tau, x); \\ U = -\sum_{i=1}^n k_i(\tau) x_i(\tau), & \tau = T - t, 0 \leq t \leq T. \end{cases} \quad (2)$$

Будем полагать, что $a_{12} a_{23} \dots a_{n-1, n} \neq 0$. Дальнейший анализ направлен на решение следующих задач: 1) выяснение усло-

К ЗАДАЧЕ УПРАВЛЕНИЯ КОНЕЧНЫМ ПОЛОЖЕНИЕМ ДВИЖУЩИХСЯ ОБЪЕКТОВ*

О.С. Селивохин, д-р техн. наук, проф., гл. науч. сотрудник,
М.А. Ермолина, канд. техн. наук, вед. науч. сотрудник,
Д.В. Першин, инженер,
ОАО «Концерн «Гранит-Электрон»,
контакт. тел. (812) 449 6526

вий асимптотической устойчивости решения; 2) определение условий, при которых $x(t) \rightarrow 0$ при $t \rightarrow T$; 3) конструирование закона управления, который посредством выбора параметров придаст процессу вышеуказанные свойства.

2. СВОЙСТВА ПРОЦЕССА

Предположим, что переменные коэффициенты закона управления допускают следующие представления:

а) при $\tau \rightarrow \infty$: $k_i(\tau) = k_i^{(0)} + k_i^{(1)} \tau^{-1} + k_i^{(2)}(\tau)$, $k_i^{(2)}(\tau) = O(\tau^{-2})$;

б) при $\tau \rightarrow 0$: $k_i(\tau) = \tau^{i-n-1} p_i(\tau)$, $i = 1, \dots, n$,

где $p_i(\tau)$ ($i = 1, \dots, n$) – функции, регулярные в точке $\tau = 0$.

Пусть система (2) представлена в виде

$$\begin{cases} \dot{x} = [A_0 + A_1 \tau^{-1} + A_2(\tau)] x; \\ A_0 = A - bK^{(0)}; A_1 = -bK^{(1)}; A_2(\tau) = -bK^{(2)}(\tau); \\ A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & 0 & \dots & 0 \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & a_{n3} & \dots & a_{nn} \end{pmatrix}; b = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 1 \end{pmatrix}; \\ K^{(j)} = (k_1^{(j)} \dots k_n^{(j)}), j = 0, 1, 2. \end{cases} \quad (3)$$

2.1. Рассмотрим вначале условия устойчивости полученной системы со многими нестационарными обратными связями [5]. Предположим, что собственные значения $\lambda_1, \dots, \lambda_n$ матрицы A_0 – простые. Преобразование подобия $x = Py$ приводит систему (3) к виду

$$\begin{cases} \dot{y} = B(\tau)y, \quad B(\tau) = B_0 + B_1 \tau^{-1} + B_2(\tau); \\ B_0 = \text{diag}(\lambda_1, \dots, \lambda_n); B_1 = P^{-1} A_1 P; \\ B_2(\tau) = P^{-1} A_2(\tau) P. \end{cases}$$

Здесь P – матрица преобразования к диагональному виду матрицы A_0 . Положим $t = T - \theta$ и пусть $Z(\theta)$ – $n \times n$ -матрица, определяемая уравнением

$$\begin{cases} Z'_0 = B^T(\theta)Z, \quad \theta \geq \Delta, Z(\Delta) = E; \\ B(\theta) = B_0 + B_1 \theta^{-1} + B_2(\theta), \|B_2(\theta)\| = O(\theta^{-2}), \theta \rightarrow \infty. \end{cases}$$

По свойству инверсно-сопряженных систем [3]

$$y(T - \Delta) = Z^T(T)y(0). \quad (4)$$

Столбцы матрицы Z удовлетворяют уравнению

$$z'_0 = B^T(\theta)z, \quad \theta \geq \Delta. \quad (5)$$

Обратимся к теореме 10 в [6]; из нее следует, что решения уравнения вида (5) представляют собой линейные комбинации функций, имеющих при $\theta \rightarrow \infty$ следующий вид:

$$z^{(k)}(\theta) = e^{\lambda_k \theta} \theta^{\mu_k} (a_k + o(1)), \quad k = 1, \dots, n. \quad (6)$$

Здесь μ_k – коэффициент в разложении собственного значения $\lambda_k(\theta)$ матрицы $B(\theta)$; $\lambda_k(\theta) \sim \lambda_k + \mu_k \theta^{-1} + \dots, \theta \rightarrow \infty$, a_k – постоянный ненулевой вектор.

Способ вычисления коэффициента μ_k приведен в [7]; в случае диагональной матрицы B_0 получим $\mu_k = b_{kk}^{(1)}$ – диагональный элемент матрицы $B_1 = P^{-1} A_1 P$. Таким образом, элементы матрицы $Z(T)$ в формуле (4) являются линейными комбинациями функций вида (6), при этом

$$\|z^{(k)}(T)\| = O\left(e^{\text{Re} \lambda_k T} T^{\text{Re} b_{kk}^{(1)}}\right), \quad T \rightarrow \infty. \quad (7)$$

Формула (6) следует также из теоремы 12.3 [8] и п. 129 [9]. Достаточные условия асимптотической устойчивости решения системы (3) в случае простых собственных значений матрицы A_0 состоят в следующем: вещественные части соб-

* Статья публикуется повторно из-за ошибок в формулах, допущенных в редакции.

твенных значений неположительны, т. е. $\text{Re} \lambda_i \leq 0$ ($i=1, \dots, n$), причем, если $\text{Re} \lambda_i = 0$, то вещественная часть соответствующего диагонального элемента матрицы $P^{-1}A_1P$ – отрицательна, т. е. $\text{Re} \mu_i < 0$. При выполнении этих условий $\|y(T-\Delta)\| \rightarrow 0$ при $T \rightarrow \infty$ и, как следствие, $\|x(T-\Delta)\| \rightarrow 0$.

Предположим, что в правые части уравнений (2) аддитивно входят функции $f_1(t), \dots, f_n(t)$, отражающие возмущения, причем $\|f(t)\| \leq M, t \geq 0$. Пусть также выполнены неравенства $\text{Re} \lambda_i \leq 0$, причем, если $\text{Re} \lambda_i = 0$, то $\text{Re} \mu_i < -1$. В этом случае терминальная ошибка $\|x(T-\Delta)\|$ ограничена при $T \geq \Delta$, т. е. процесс устойчив по отношению к постоянно действующим возмущениям – в смысле «ограниченный вход – ограниченный выход» [5].

2.2. Рассмотрим далее свойство точности [10]. Запишем систему (2), полагая независимой переменной τ :

$$\begin{cases} x'_i = -\sum_{k=1}^{i+1} a_{ik} x_k, i=1, \dots, n-1; \\ x'_n = \sum_{k=1}^n [\tau^{k-n-1} p_k(\tau) - a_{nk}] x_k. \end{cases} \quad (8)$$

Пусть $x_k = \tau^{-k} \eta_k, k=1, \dots, n$; продифференцировав эти выражения и подставляя в уравнения (8), получим систему уравнений

$$\begin{cases} \tau \eta'_i = -(n-i) \eta_i - a_{i,i+1} \eta_{i+1} - \sum_{k=1}^i a_{ik} \tau^{i+1-k} \eta_k, \\ i=1, \dots, n-1; \\ \tau \eta'_n = \sum_{k=1}^n (p_k - a_{nk} \tau^{n+1-k}) \eta_k. \end{cases} \quad (9)$$

Матрицу $\Gamma(\tau)$ системы (9) представим следующим образом:

$$\begin{aligned} \Gamma(\tau) &= \Gamma(0) + \Gamma_1(\tau); \\ \Gamma(0) &= \begin{pmatrix} -(n-1) & -a_{12} & \dots & 0 \\ 0 & -(n-2) & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ p_1(0) & p_2(0) & \dots & p_n(0) \end{pmatrix}; \\ \|\Gamma_1(\tau)\| &\leq c_1 \tau; \tau \in [0, T]; \end{aligned} \quad (10)$$

(c_1 – некоторая постоянная). Предположим, что собственные значения p_1, \dots, p_n матрицы $\Gamma(0)$ – простые. Пусть $\tau = \theta^{-1}, \theta \geq \theta_0 = T^{-1}$. Запишем систему (9) в векторной форме $\eta'_0 = -\Gamma(0)\theta^{-1}\eta + R(\theta)\eta$, где $R(\theta) = -\theta^{-1}\Gamma_1(\theta^{-1}), \|R(\theta)\| \leq c_1 \theta^{-2}$.

Второе слагаемое в правой части равенства (11) будем рассматривать в качестве возмущения уравнения $y'_0 = -\Gamma(0)\theta^{-1}y$; фундаментальная матрица этой системы может быть записана в форме

$$Y(\theta, \theta_0) = Q \text{diag}((\theta / \theta_0)^{p_1} \dots (\theta / \theta_0)^{p_n}) Q^{-1},$$

где Q – матрица преобразования к диагональному виду матрицы $\Gamma(0)$.

Теперь можно записать

$$\eta(\theta) = Y(\theta, \theta_0) \eta(\theta_0) + \int_{\theta_0}^{\theta} Y(\theta, \theta_1) R(\theta_1) \eta(\theta_1) d\theta_1.$$

Предположим, что $\text{Re} p_i > 0$ ($i=1, \dots, n$) и пусть p_0 – вещественная постоянная,

$$0 < p_0 \leq \min_i \{\text{Re} p_i\}.$$

Справедливы неравенства:

$$\begin{aligned} \|Y(\theta, \theta_1)\| &\leq c_2 (\theta_1 / \theta)^{p_0}, \theta_0 \leq \theta_1 \leq \theta; \\ \theta^{p_0} \|\eta(\theta)\| &\leq C_0 + c_1 c_2 \int_{\theta_0}^{\theta} \|\eta(\theta_1)\| \|\theta_1^{-2}\| d\theta_1; \\ C_0 &= c_2 \theta_0^{p_0} \|\eta(\theta_0)\|. \end{aligned} \quad (12)$$

Обозначим $\theta^{p_0} \|\eta(\theta)\| = u, c_1 c_2 \theta^{-2} = v$ и перепишем неравенство $u \leq C_0 + \int_{\theta_0}^{\theta} u v d\theta_1$. Применим к этому неравенству основную лемму [6]; в результате получим оценку

$$\|\eta(\theta)\| \leq C_0 \exp \frac{c_1 c_2}{\theta} \theta^{-p_0}.$$

Последнее неравенство показывает, что $\|\eta(\theta)\|$ стремится к нулю при $\theta \rightarrow \infty$. Таким образом, в случае простых собственных значений матрицы $\Gamma(0)$ неравенство $\text{Re} p_i > 0$ ($i=1, \dots, n$) является достаточным условием для того, чтобы при $\tau \rightarrow 0$ $\|\eta(\tau)\| \rightarrow 0$ и, следовательно, $\|x(\tau)\| \rightarrow 0$.

2.3. Далее рассмотрим свойство процесса в системе (2) подавлять внешние возмущения. Пусть модель (2) дополнена аддитивно входящими в правые части уравнений функциями $f_1(t), \dots, f_n(t)$. Покажем, что в отношении выходной переменной $x_i(t)$ выполняется предельное свойство: $x_i(t) \rightarrow 0$ при $t \rightarrow T$, несмотря на действие возмущений. Введем переменные $\eta_k = \tau^{k-n} x_k$ ($k=1, \dots, n$) и примем в качестве аргумента τ ; в результате получим следующую систему уравнений:

$$\begin{cases} \tau \eta'_i = -(n-i) \eta_i - a_{i,i+1} \eta_{i+1} - \sum_{k=1}^i a_{ik} \tau^{i+1-k} \eta_k - \\ - \tau^{i+1-n} f_i(T-\tau), i=1, \dots, n-1; \\ \tau \eta'_n = \sum_{k=1}^n (p_k - a_{nk} \tau^{n+1-k}) \eta_k - \tau f_n(T-\tau). \end{cases} \quad (13)$$

В векторно-матричной форме система (13) будет иметь вид

$$\begin{aligned} \tau \dot{\eta} &= \Gamma(\tau) \eta + \varphi(\tau); \\ \varphi(\tau) &= -\tau^{k+1-n} f_k(T-\tau), k=1, \dots, n, \end{aligned}$$

матрица $\Gamma(\tau)$ – вида (10). Рассмотрим решение системы (13) с нулевыми начальными условиями.

Пусть $\tau = \theta^{-1}$; запишем

$$\eta_0 = -\Gamma(0)\theta^{-1}\eta + R(\theta)\eta - \varphi(\theta^{-1})\theta^{-1}, \theta \geq \theta_0 \quad (14)$$

Оценим составляющую решения

$$\eta^{(1)}(\theta) = \int_{\theta}^{\theta_0} Y(\theta, \theta_1) \varphi(\theta^{-1}) \theta_1^{-1} d\theta_1,$$

принимая во внимание, что $\|\varphi(\theta^{-1})\theta^{-1}\| \leq M\theta^{n-3}, \theta \geq \theta_0$.

В результате получим неравенство

$$\begin{aligned} \theta^{p_0} \|\eta^{(1)}(\theta)\| &\leq w(\theta), \\ w(\theta) &= M(c_3 + c_4 \theta^{p_0+n-2}), (p_0 + n - 2 \neq 0). \end{aligned} \quad (15)$$

Функция $w(\theta)$ – монотонно неубывающая, так как $p_0 > 0$ и $n \geq 2$. Из уравнения (14) и неравенства (15) следует неравенство $u(\theta) \leq w(\theta) + \int_{\theta}^{\theta_0} u v d\theta_1$.

Согласно лемме [11, с. 72], из него получим оценки

$$u \leq w \exp \frac{c_1 c_2}{\theta}, \|\eta(\theta)\| \leq M(c_5 \theta^{-p_0} + c_6 \theta^{n-2}).$$

Последнее влечет за собой неравенство

$\|\eta(\tau)\| \leq M(c_5 \tau^{p_0} + c_6 \tau^{2-n}), |x_i(\tau)| \leq M(c_5 \tau^{p_0+n-1} + c_6 \tau)$, следовательно, $x_i(\tau) \rightarrow 0$ при $\tau \rightarrow 0$.

3. ВОЗМОЖНАЯ СТРУКТУРА ЗАКОНА УПРАВЛЕНИЯ

Рассмотрим систему (2), в которой коэффициенты закона управления имеют следующий вид: $k_i(\tau) = k_i^{(0)} + k_i^{(1)} \tau^{i-n-1}$, где $k_i^{(0)}, k_i^{(1)}$ – постоянные, $i=1, \dots, n$. Предположим, что коэффициенты $k_i^{(0)}$ выбраны так, что собственные значения матрицы

$$A_0 = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & 0 \\ a_{21} & a_{22} & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{n1} - k_1^{(0)} & a_{n2} - k_2^{(0)} & \dots & a_{nn} - k_n^{(0)} \end{pmatrix}$$

различны и имеют отрицательные вещественные части, а коэффициенты $k_i^{(1)}$ таким образом, что собственные значения матрицы

$$\Gamma(0) = \begin{pmatrix} -(n-1) & -a_{12} & \dots & 0 \\ 0 & -(n-2) & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ k_1^{(1)} & k_2^{(1)} & \dots & k_n^{(1)} \end{pmatrix}$$

– простые и вещественные части их – положительные. В этом случае процесс асимптотически устойчив, терминальная ошибка ограничена при $T \geq \Delta$ и стремится к нулю, когда $\tau \rightarrow 0$.

Замечание 1. На постоянные коэффициенты закона управления налагаются условия, связанные с собственными значениями матриц A_0 и $\Gamma(0)$, которые выделяют множество возможных управлений. Определенная свобода выбора коэффициентов может быть использована для поиска эффективных (компромиссных) значений параметров, поскольку реальные задачи управления по существу являются многокритериальными. (Например, при выборе передаточных чисел автопилота

та принимают во внимание целый ряд характеристик – время переходного процесса, параметры колебательности, запасы устойчивости, статистические характеристики точности стабилизации и т. д. Свести эти разнородные показатели в один критерий оптимальности весьма сложно).

4. ПОСТРОЕНИЕ ЗАКОНОВ УПРАВЛЕНИЯ И АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ

Продемонстрируем на двух примерах применение результатов п. 1–3.

Пример 1. Рассмотрим задачу выведения самолета на заданную линию пути. Будем полагать, что управление центром масс осуществляется посредством боковой аэродинамической силы, обусловленной углом скольжения. Приближенные уравнения движения запишем в форме $\dot{z} = V\varphi$, $\dot{\varphi} = T_0^{-1}(\Psi - \varphi)$, где z – боковое отклонение; φ – угол траектории; Ψ – угол рыскания; V – воздушная скорость; T_0 – постоянная времени вектора скорости. Пусть $t = T_0 t_1$, $z = VT_0 x_1$, $\varphi = x_2$, $\Psi = u(t)$. Перепишем уравнения, опустив индекс у аргумента

$$\dot{x}_1 = x_2, \quad \dot{x}_2 = u - x_2. \quad (16)$$

а) В данном случае

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 0 & -1 \end{pmatrix}; \quad b = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}; \quad w(t) = \begin{pmatrix} 1 & 1 - e^{-t} \\ 0 & e^{-t} \end{pmatrix}; \quad H(t) = \begin{pmatrix} 1 - e^{-t} \\ e^{-t} \end{pmatrix}.$$

После подстановки этих выражений в формулы для определения элементов матрицы $G(\tau)$ получим

$$\begin{aligned} g_{11} &= \tau - 2(1 - e^{-\tau}) + \frac{1 - e^{-2\tau}}{2}; & g_{12} &= 1 - e^{-\tau} - \frac{1 - e^{-2\tau}}{2}; \\ g_{22} &= \frac{1 - e^{-2\tau}}{2}; & |G| &= g_{11}g_{22} - g_{12}^2; \\ k_1(\tau) &= \frac{1}{|G|}[(1 - e^{-\tau})g_{22} - e^{-\tau}g_{12}]; & (17) \\ k_2(\tau) &= \frac{1}{|G|}[(1 - e^{-\tau})^2 g_{22} - 2e^{-\tau}(1 - e^{-\tau})g_{12} + e^{-2\tau}g_{11}]. \end{aligned}$$

Оптимальное управление

$$u(\tau, x) = -k_1(\tau)x_1 - k_2(\tau)x_2. \quad (18)$$

Можно показать, что

$$\begin{aligned} k_1(\tau) &\sim 6\tau^{-2}, & k_2(\tau) &\sim 4\tau^{-1}, & \tau \rightarrow 0; \\ k_1(\tau) &\sim \tau^{-1}, & k_2(\tau) &\sim \tau^{-1}, & \tau \rightarrow \infty. \end{aligned}$$

Определим матрицы

$$A_0 = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 0 & -1 \end{pmatrix}; \quad A_1 = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ -1 & -1 \end{pmatrix}.$$

Собственные значения матрицы A_0 : $\lambda_1 = 0$, $\lambda_2 = -1$. Матрица преобразования к диагональному виду матрицы A_0 :

$$P = \begin{pmatrix} 1 & -1 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}; \quad P^{-1}A_1P = \begin{pmatrix} -1 & 0 \\ -1 & 0 \end{pmatrix}.$$

Коэффициент $\mu = -1$. Это означает, что $\|x(T - \Delta)\| = O(T^{-1})$, $T \rightarrow \infty$.

Далее получим
$$\Gamma(0) = \begin{pmatrix} -1 & -1 \\ 6 & 4 \end{pmatrix}.$$

Собственные значения матрицы $\Gamma(0)$: $p_1 = 1$, $p_2 = 2$, следовательно $\|\chi(\tau)\| \rightarrow 0$ при $\tau \rightarrow 0$. Таким образом, оптимальное управление придает процессу свойства асимптотической устойчивости и предельное свойство точности.

б) В качестве альтернативного рассмотрим управление

$$U(\tau, x) = -\tilde{k}_1(\tau)x_1 - \tilde{k}_2 x_2; \quad (19)$$

$$\tilde{k}_1 = k_0^{(1)} + k_1^{(1)}\tau^{-2}, \quad \tilde{k}_2 = k_0^{(2)} + k_1^{(2)}\tau^{-1}.$$

Пусть коэффициенты выбраны так, что собственные значения матрицы

$$A_0 = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -k_0^{(1)} & -(1 + k_0^{(2)}) \end{pmatrix}$$

различны и имеют отрицательные вещественные части, а собственные значения матрицы

$$\Gamma(0) = \begin{pmatrix} -1 & -1 \\ k_1^{(1)} & k_1^{(2)} \end{pmatrix}$$

– просты и имеют положительные вещественные части. Согласно изложенному в п. 2 система (16) с управлением

$u = U$ также будет удовлетворять требованиям асимптотической устойчивости и предельной точности.

в) Предположим далее, что граничные условия для системы (16) заданы в форме $x_1(T) = x_{1T}$, $x_2(T) = x_{2T}$. Можно показать, что для оптимального управления (3) при $\tau \rightarrow 0$ справедливо следующее представление:

$$u(\tau, x) \sim -\frac{6}{\tau^2}(x_1 - x_{1T}) - \frac{4}{\tau}(x_2 - x_{2T}) - \frac{6x_{2T}}{\tau}.$$

В качестве управления U примем

$$U(\tau, x) = -\tilde{k}_1(x_1 - x_{1T}) - \tilde{k}_2(x_2 - x_{2T}) - \frac{k_3 x_{2T}}{\tau}. \quad (20)$$

Здесь k_3 – постоянный коэффициент. Можно показать, что управление (20) сообщает процессу заданные граничные условия, если $k_1^{(1)} \neq k_1^{(2)}$ и $k_3 = k_1^{(1)}$.

Сопоставление оптимального и альтернативного законов управления проводилось посредством математического моделирования. Значения коэффициентов выбраны следующими: $k_0^{(1)} = 1$, $k_0^{(2)} = 0,5$, $k_1^{(1)} = 12$, $k_1^{(2)} = 6$. При этом собственные значения матрицы A_0 : $\lambda_{1,2} = -0,75 \pm 0,66j$; собственные значения матрицы $\Gamma(0)$: $\rho_1 = 2$, $\rho_2 = 3$, $\Delta = 0,025$.

Графики изменения переменных $x_1(t)$, $x_2(t)$ приведены на рис. 1–4. Процессы на рис. 2 и 3 соответствуют модели (16), в которой первое уравнение имеет вид $\dot{x}_1 = x_2 + w(t)$; функция $w(t)$ отражает внешнее воздействие, например, ветер.

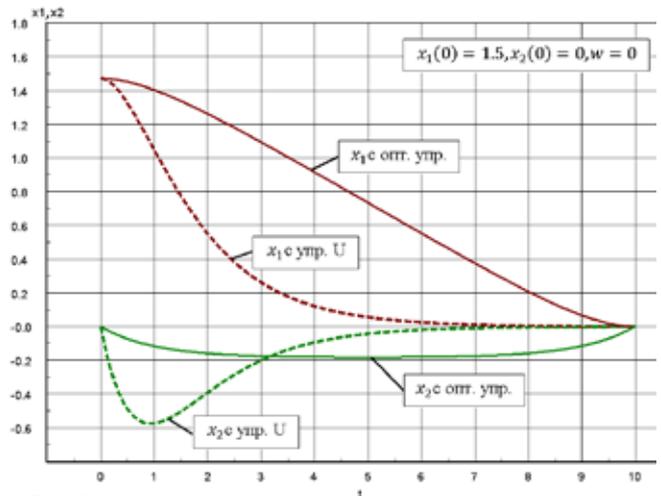


Рис. 1

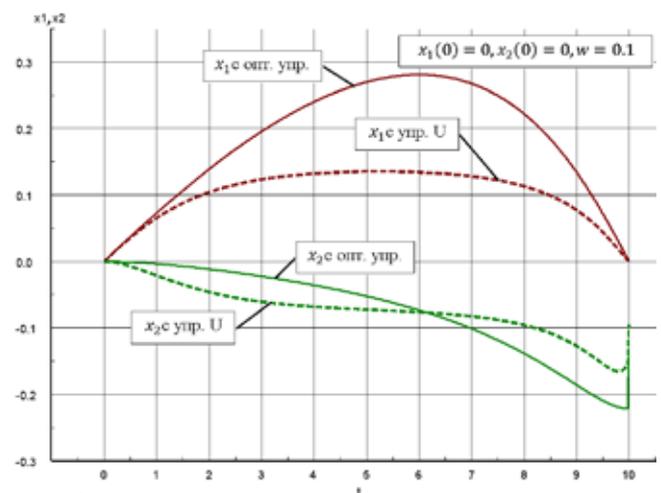


Рис. 2

Данные моделирования показывают, что процессы сходятся к заданным граничным значениям.

Пример 2. Рассмотрим задачу преследования. В качестве модели управляемого сближения примем систему из примера 1, несколько изменив первое уравнение $\dot{z} = V_A \varphi + V_B$. Здесь z – относительное боковое отклонение; V_A , V_B – значения скоростей преследователя и преследуемого, принимаемые постоянными.

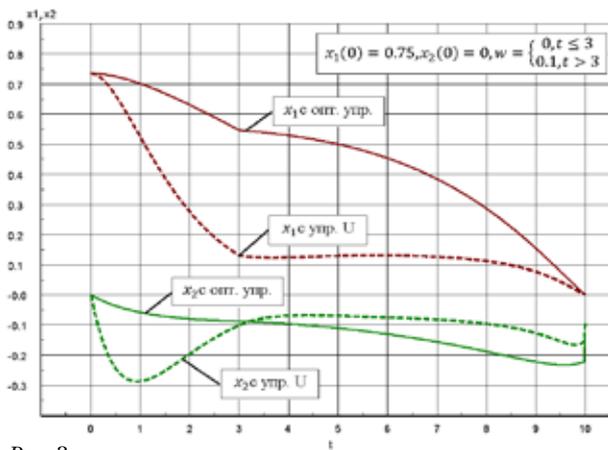


Рис. 3

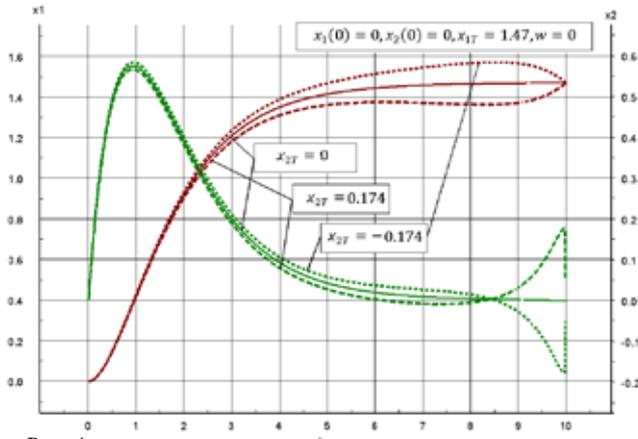


Рис. 4

ными. Положим $z = V_A T_0 x_1$, $\varphi = x_2$, $t = T_0 t_1$ и перейдем к системе

$$\dot{x}_1 = x_2 + w, \quad \dot{x}_2 = u - x_2, \quad w = V_B / V_A. \quad (21)$$

Временно положим $w = 0$ и построим оптимальное управление, решающее задачу: $x_1(T) = 0$; на величину $x_2(T)$ ограничение не налагается.

Оптимальное управление будет иметь вид

$$\begin{aligned} u(\tau, x) &= -k_1(\tau)x_1(t) - k_2(\tau)x_2(t); \\ k_1(\tau) &= (1 - e^{-\tau})g^{-1}(\tau); \\ k_2(\tau) &= (1 - e^{-\tau})^2 g^{-1}(\tau); \\ g(\tau) &= \tau - 2(1 - e^{-\tau}) + \frac{(1 - e^{-2\tau})}{2}. \end{aligned} \quad (22)$$

При $\tau \rightarrow 0$

$$u(\tau, x) \cong -3 \left(\frac{x_1}{\tau^2} + \frac{x_2}{\tau} \right).$$

Выражение, стоящее в скобках, можно интерпретировать как угловую скорость линии визирования [12, гл. 5, пример 2]. Управление, при котором скорость поворота вектора скорости пропорциональна угловой скорости линии визирования, – это известный метод пропорциональной навигации. Можно показать таким же образом, как в примере 1, что управление (22) сообщает системе (21) свойства асимптотической устойчивости и точности в том смысле, что $x_1(\tau) \rightarrow 0$ при $\tau \rightarrow 0$. В качестве альтернативного рассмотрим управление (19) с точно такими же значениями постоянных коэффициентов, как в примере 1.

Сравнение законов управления проводилось при условиях: $x_1(0) = 0$, $x_2(0) = 0$, $w = 0,1$, $\Delta = 0,2$. В качестве критерия выбрана величина

$$q(T) = w^{-1} \{ x_1(T - \Delta) + \Delta [x_2(T - \Delta) + w] \} \cong w^{-1} x_1(T).$$

На рис. 5 приведены графики изменения величины q в зависимости от длительности процесса.

Из данных расчета следует, что при оптимальном управлении наблюдается рост модуля величины $q(T)$ с увеличением T , при альтернативном управлении эта величина ос-

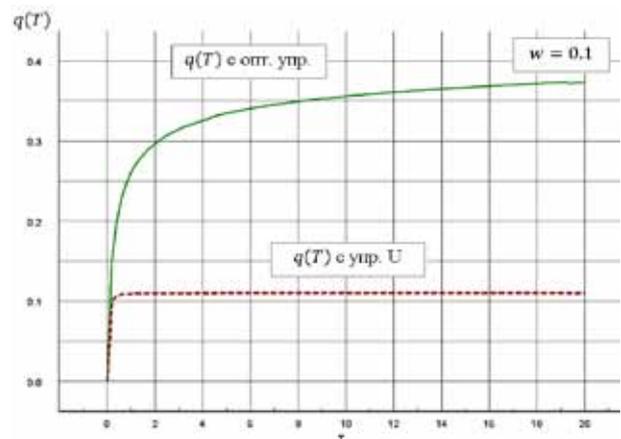


Рис. 5

тается ограниченной. Условия устойчивости системы вида (21) по отношению к постоянно действующим возмущениям приведены в п. 2.1. В данном случае $\lambda_1 = 0$, $\lambda_2 = -1$, $\mu_1 = -1$. Можно показать, что $q(T) = O(\ln T)$ при $T \rightarrow \infty$, что согласуется с результатами моделирования. Таким образом, система (21) с оптимальным управлением асимптотически устойчива по отношению к начальным возмущениям и неустойчива по отношению к постоянно действующим возмущениям; система с управлением U удовлетворяет всем требованиям устойчивости.

Замечание 2. Уравнения динамики записаны в предположении, что допустимо пренебречь боковой силой руля направления. Подобным образом может быть рассмотрена модель четвертого порядка с переменными состояниями z , φ , ψ и ω_y (угловая скорость рыскания) и для нее построено альтернативное управление рассмотренного вида.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложен метод синтеза закона управления, основанный на качественном анализе линейных систем со многими нестационарными обратными связями и особой точкой, что открывает возможность прямого изучения асимптотических свойств замкнутой системы. При этом имеется возможность формировать ее устойчивость, точность и другие характеристики качества. Целесообразность такого подхода подтверждена хорошим согласованием данных асимптотического анализа и численного моделирования в задачах, решенных в качестве примеров.

ЛИТЕРАТУРА

1. Красовский Н.Н. Теория управления движением. Линейные системы. – М.: Наука, 1968.
2. Батенко А.П. Управление конечным состоянием движущихся объектов. – М.: Советское радио, 1977.
3. Барабанов А.Т. Методы исследования систем с переменными коэффициентами. – Методы исследования нелинейных систем автоматического управления / Под ред. Р.А. Нелепина – М.: Наука, 1975.
4. Федосов Е.А., Инсаров В.В., Селивохин О.С. Системы управления конечным положением в условиях противодействия среды. – М.: Наука, 1989.
5. Селивохин О.С. Анализ устойчивости нестационарных динамических моделей одного класса. – Сб. докл. науч. сессия ГУАП, ч II, 5–11 апреля 2012 г., с. 146–147.
6. Беллман Р. Теория устойчивости решений дифференциальных уравнений. – М.: Иностран. лит-ра, 1954.
7. Александров Ю.С. Об устойчивости движения автоматических систем с управляющими ЦВМ. – Тр. семинара «Динамика управления, контроля и организация движения автономных объектов». – Л.: Изд-во ЛГУ, 1966.
8. Вазов В. Асимптотические разложения решений обыкновенных дифференциальных уравнений. – М.: Мир, 1968.
9. Смирнов В.И. Курс высшей математики. Т. 3. Ч. 2. – М.: Наука, 1969.
10. Селивохин О.С. К задаче управления конечным положением. – Сб. докл. Науч. сессия ГУАП, ч II, 9–11 апреля 2013 г., с. 152–153.
11. Беллман Р., Кук К. Дифференциально-разностные уравнения. – М.: Мир, 1967.
12. Брайсон А., Хо Ю-Ши. Прикладная теория оптимального управления. – М.: Мир, 1972. ■

Разработка современных образцов высокоточного оружия (ВТО), превосходящего по эффективности обычное, находящееся сейчас на вооружении высокоразвитых стран, не представляется возможной без синтеза сложной системы управления как отдельными элементами, так и комплексов в целом. Термин «высокоточное оружие» начал употребляться сравнительно недавно [1, 2], с появлением противотанковых суббоеприпасов, с помощью которых возможно поражение защищенных целей не только на поле боя, но и на достаточно больших расстояниях в местах их сосредоточения. С момента боевого применения управляемых авиабомб в военном конфликте в зоне Персидского залива (январь–февраль 1991 г.) термин «высокоточное оружие» стали относить и к управляемым авиационным бомбам (УАБ).

В настоящее время высокоточным оружием принято называть системы и комплексы с оружием в обычном оснащении, обеспечивающие избирательное поражение стационарных и подвижных целей одним пуском с вероятностью не менее 0,5 при всех заданных условиях боевого применения [3, 4].

Традиционно, на всех этапах создания систем управления летательными аппаратами, которые представляют собой ядро систем ВТО, используются комплексы полунатурного моделирования, позволяющие оценить качество предлагаемых инженерных решений и оперативно отработать возникающие в процессе проектирования ошибки и неточности. Данные комплексы позволяют в значительной степени сократить число натурных испытаний.

Точность и эффективность разрабатываемых систем ВТО во многом определяется точностью полунатурных испытаний, которые проводятся на различных стадиях разработки.

При любых видах испытаний и отработки, в том числе методами полунатурного моделирования, определяются характеристики объекта испытаний, т.е. параметры и показатели качества: целевого применения, надежности, эргономичности, технологические, экологические, безопасности и др. Детальная номенклатура показателей качества продукции представлена в [5]. При этом различают два вида параметров и показателей качества объекта испытания:

- измеряемые – физические величины и производные от них;
- неизмеряемые – плотность компоновки, удобство пользования, рациональные формы и др.

Параметры испытываемой системы и процесса отработки могут быть послойной величиной, случайной вели-

чиной, детерминированной функцией, случайной функцией. Как правило, качество отработки можно охарактеризовать случайным вектором показателя качества

$$V(\alpha, t) = V_0(\alpha_0, t) + \delta V(\Delta\alpha),$$

где $V_0(\alpha_0, t)$ – показатель качества при номинальных параметрах α_0 , соответствующих контрольному варианту в отсутствии структурных и параметрических возмущений исследуемой системы и условий отработки; $\delta V(\Delta\alpha)$ – вектор отклонения показателя качества при отработке в условиях отклонения параметров $\Delta\alpha$.

Для каждого показателя качества могут быть установлены предельно допустимые значения – верхнее V_B и нижнее V_H , или допуски:

$$\Delta V = V_B - V_H.$$

При этом заключение об успешности отработки системы будет формироваться из условия

$$V(\alpha, t) \in \Delta V;$$

$$P\{V(\alpha, t) \in \Delta V, T_K\} \geq P_{TP},$$

где T_K – время экспериментальной отработки, как правило, соответствующее времени контрольного варианта; P_{TP} – требуемая вероятность, установленная для данного вида экспериментальной отработки.

Величину P_{TP} следует устанавливать, исходя из принятых для данного вида отработки допущений.

Формирование допущений включает в себя:

- составление перечня допущений (при этом желательно, чтобы перечень допущений отражал качественное влияние допущений на показатели качества отработки);
- представление соответствующих комментариев по каждому допущению;
- анализ (по возможности) количественного влияния допущений [6].

Очевидно, что условие нахождения показателя качества в пределах допустимой области будет определяться вектором отклонения показателя качества, который, в свою очередь, является функцией вектора отклонения параметров

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ПОЛУНАТУРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ ОТРАБОТКЕ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

В.В. Каманин, канд. техн. наук, начальник научно-испытательного центра,
А.Г. Юрескул, начальник научно-исследовательской лаборатории,
И.В. Симановский, канд. техн. наук, зам. ген. директора,
 ОАО «Концерн «Гранит-Электрон»,
 контакт. тел. (812) 274 0421

$\Delta\alpha$, и качество отработки может быть определено из условия

$$\delta V(\Delta\alpha) \leq \Delta V.$$

Важное значение имеет определение удельного изменения показателя качества δV_i за счет изменения i -го параметра исследуемой системы $\Delta\alpha_i$:

$$\delta V_i = \frac{\delta V(\Delta\alpha_i)}{\Delta\alpha_i},$$

где $\delta V(\Delta\alpha_i)$ – абсолютное значение изменения показателя качества при отклонении параметра исследуемой системы на величину $\Delta\alpha_i$.

Значение $\Delta\alpha_i$ может быть задано изменением параметра α_i относительно детально проработанного опорного варианта $\Delta\alpha_i = \alpha_i - \alpha_i^0$ или предельным изменением этого параметра α_i для условий отработки контрольного варианта $\Delta\alpha_i = \alpha_i^{\max(\min)} - \alpha_i^0$.

Количественные показатели качества отработки определяются точностными характеристиками результатов отработки (моделирования). В отечественной и зарубежной нормативной документации различают следующие точностные характеристики методов отработки (испытаний):

- чувствительность метода отработки (испытаний);
- адекватность метода отработки (испытаний);
- точность результатов;
- достоверность результатов;
- правильность результатов;
- повторяемость результатов;
- воспроизводимость результатов.

Кроме того, испытания характеризуются также продолжительностью, быстродействием, стоимостью и эффективностью [7].

Остановимся более подробно на точности результатов полунатурного моделирования. Под *точностью результатов* будем понимать характеристику близости результатов к истинному (при теоретическом рассмотрении – к контрольному варианту) или действительному (при эксперименте – результатам натурных испытаний) значению оцениваемой величины.

При экспериментальной обработке за результат определения (измерения) часто принимают различные оценки величины \hat{V} или показателя качества \hat{V} : среднее арифметическое по n наблюдениям величины, средний размах, выборочную медиану или другие несмещенные оценки величины. При этом точность результата, следуя идеологии [8], это мера близости \hat{V} к истинному (действительному) значению искомой величины.

Величину, обратную точности, принято называть *погрешностью результата*

$$\varepsilon_v = \hat{V} - V_d,$$

где V_d – действительное значение V (результат телеметрии, контрольного варианта или показания образцового прибора).

Если за действительное значение V_d принять результат контрольного варианта, рассчитанного при номинальных параметрах $V_0(\alpha_0, t)$, а за оценку величины – значение, соответствующее экспериментальной обработке $V(\alpha, t)$, то погрешность принимает следующий вид:

$$\begin{aligned} \varepsilon_v &= \hat{V} - V_d = V(\alpha, t) - V_0(\alpha_0, t) = \\ &= \delta V(\Delta\alpha) = F(\Delta\alpha). \end{aligned}$$

Следовательно, точность и погрешность могут быть выражены как функция вектора отклонения параметров исследуемой аппаратуры от номинальных.

Погрешность, как известно, содержит две составляющие: ε^c – систематическое отклонение \hat{V} от V_d , т.е. $\varepsilon_v^c = \hat{V} - V_d$, и случайные разбросы отдельных наблюдений $V_1, V_2, V_3, \dots, V_n$ вокруг V , т.е. дисперсию σ_v^2 результата или ее оценку S_v^2 . Дисперсию σ_v^2 и (или) построенный на ее основе доверительный интервал ε^0 в статистике называют *точностью оценки* величины V .

В отечественных и зарубежных стандартах используется большая номенклатура показателей точности результатов испытаний, которые можно распространить на результаты экспериментальной обработки:

- погрешность (или точность) определения результата, иногда с указанием доверительной вероятности (ГОСТ 16746, ГОСТ 14263 и др.);
- средняя квадратическая погрешность σ_v^2 (ГОСТ 20782, ГОСТ 8.207, МИ 23-74, ASTM-177, ASTM-225 и др.);
- доверительная погрешность (ГОСТ 16263) или интервал суммарной погрешности (ГОСТ 8.011, МИ 217);
- требуемая σ_T и гарантируемая σ_T точность (МИ 23);

– коэффициент точности метода контроля (ГОСТ 8.010):

$$K_v = \frac{Z_v \cdot S_v}{2 \cdot \Delta V},$$

где Z_v – квантиль; ΔV – допуск на величину V .

Широко используются также коэффициенты вариации (ГОСТ 16745, ГОСТ 20522, РС 1483, МИ165, ASTM-225)

$$V_v = S_v \cdot \hat{V}^{-1},$$

где S_v – оценка σ_v^2 .

Величина S_v , называемая в ГОСТ 16123 погрешностью метода измерений, а в ИСО 2591 – точностью метода анализа, определяется, в частности, по формуле (ASTM-246, ASTM-225 и др.)

$$S_v = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n d_i^2},$$

где $d_i = V_i - \hat{V}$ – разность между результатом определения текущей величины V_i и ее оценки \hat{V} .

Коэффициент вариации V_v называется коэффициентом отклонения (ASTM-246); относительной допустимой погрешностью определения \hat{V} (РС 1463); относительной доверительной ошибкой (ГОСТ 13216, ГОСТ 17510, ГОСТ 12997, ГОСТ 17638, ГОСТ 19489 и др.):

$$\delta_v = (\hat{V} - V_{B(H)}) / \hat{V},$$

где \hat{V} – точечная оценка V ; $V_{B(H)}$ – верхняя (нижняя) доверительная граница V , соответствующая определенной доверительной вероятности P_A .

Проанализировав приведенные выше показатели точности полунатурного эксперимента, можно сделать вывод, что все они так или иначе являются функциями вектора отклонения параметров исследуемой аппаратуры от номинальных $\Delta\alpha$, следовательно, оценка в процессе испытаний этой величины с последующей ее минимизацией гарантирует повышение точности полунатурного эксперимента и, как следствие, повышение точности разрабатываемых алгоритмов и аппаратуры.

Существует несколько методов минимизации вектора отклонения параметров в процессе полунатурных испытаний:

- грамотная организация эксперимента и минимизация погрешностей, вносимых технологическим оборудованием комплекса полунатурного моделирования;
- повышение параметрической точности алгоритмов управления исследуемой системы и повышение адекватности и достоверности используемых математических моделей.

Первый метод применять затруднительно при использовании более или менее постоянной аппаратной инфраструктуры комплекса и методик испытаний, как правило, успешно зарекомендовавших себя для испытаний данного вида изделий.

Второй подход оказывается вполне актуальным и востребованным, поскольку уточнение параметров алгоритмов является одной из основных задач моделирования, которая, в свою очередь, невозможна без применения математических моделей адекватных реальному объекту.

Таким образом, разработка алгоритмов и программно-математических методов оценки и повышения адекватности, а также достоверности полунатурных экспериментов является одним из основных инструментов при проектировании систем управления перспективных образцов высокоманевренных объектов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Управление и наведение беспилотных маневренных летательных аппаратов на основе современных информационных технологий. / Под ред. М.Н. Красильщикова и Г.Г. Серебрякова. – М.: Физматлит, 2005. – 280 с.
2. Головин С.А., Сизов Ю.Г., Скоков А.Л., Хунданов Л.Л. Высокоточное оружие и борьба с ним. – М.: В.П.К., 1996. – 232 с.
3. Мерцалов Б.Е., Семенов С.С., Харчев В.Н. История создания и тенденции развития отечественных корректируемых (управляемых) авиационных бомб. // Боеприпасы. – 1999. – №3. – С. 5–12.
4. Оборонно-промышленный комплекс Российской Федерации в условиях рыночной экономики: Краткий терминологический словарь / В.Б. Нырков, С.П. Ершов, Н.А. Шаталов. Под общей ред. д-ра экон. наук В.В. Сало, канд. техн. наук, чл.-кор. Международной академии информатизации В.Н. Везирова. – М.: Всеросс. науч.-исслед. ин-т межотраслевой информатизации – федеральный информационно-аналитический центр оборонной промышленности, 2000, с. 46.
5. ГОСТ 22851–77. Выбор номенклатуры показателей качества промышленной продукции. Основные положения.
6. Грущанский В.А., Дерзачев А.А. Проектирование и эффективность летательных аппаратов. – М.: Вузовская книга, 2008. – 248 с.
7. Теоретические основы испытаний и экспериментальная обработка сложных технических систем / Л.Н. Александровская, В.И. Круглов, А.Г. Кузнецов и др.: Учеб. пособие. – М.: Логос, 2003. – 736 с.
8. ГОСТ 16263–70. Государственная система обеспечения единства измерений. Метрология. Термины и определения. ■

Одним из критически важных видов оружия являются многоцелевые и стратегические подводные лодки (ПЛ). В течение ряда смутных лет сложилось значительное отставание нашей страны по количеству действующих ПЛ. В таких условиях одной из первостепенных задач, стоящих перед промышленностью, является стоимость и системность ввода в состав ВМФ новых и ремонтируемых ПЛ. Поэтому имеет смысл рассмотреть вопрос технологичности постройки и ремонта ПЛ.

Так, важной составляющей технологичности является организация цикла испытаний ПЛ. Опыт сдачи ПЛ новых проектов показал, что ресурсы и затраченное время на проведение цикла объектовых испытаний сопоставимы со временем постройки ПЛ, что, безусловно, требует оптимизации.

В статье рассмотрены некоторые аспекты проведения объектовых испытаний, связанные с ними организационные проблемы и предложения для оптимизации процесса в части систем управления маневрированием (СУМ).

В настоящее время к СУМ предъявляются высокие требования к обеспечению точности управления, качеству переходных процессов и быстродействию.

Подобный подход стал возможен с переходом промышленности на цифровую элементную базу, что многократно увеличило производительность счетно-решающих систем, но также потребовало применения сложного программного обеспечения (ПО). Это необходимо учитывать при планировании проектных и испытательных работ. Задача обеспечения повышенных требований к точности и качеству маневрирования решается применением новых сложных алгоритмов управления, в контур управления которых введен «наблюдатель», т.е. математическая модель объекта управления, относительно которой решаются задачи управления. Это обуславливает необходимость наличия математической модели, в максимальной степени соответствующей параметрам реальной ПЛ. В СУМ предыдущих поколений подобные решения применены быть не могли в силу особенностей аналоговой элементной базы.

Математическая модель заказов проектируется на основании расчетных данных, а также результатов экспериментальных модельных масштабных (в испытательном бассейне) исследований. Данные, полученные таким способом, естественно, имеют определенную погрешность, которая по некоторым параметрам может составлять десятки процентов. Таким образом, СУМ, прошедшая стендовые испытания, не может в должной мере соответствовать реальному заказу. Поэтому для качественной

ОБЪЕКТОВЫЕ ИСПЫТАНИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ МАНЕВРИРОВАНИЕМ. ОПЫТ РАБОТЫ И ПУТИ ОПТИМИЗАЦИИ

*В.В. Ровник, инженер АО «СПМБМ «Малахит»,
контакт. тел. +7 (904) 610 9695*

отработки СУМ в период стендовых работ требуются комплекс мероприятий по уточнению математической модели динамики и, более того, настроечные работы, связанные с выходом в море.

В ходе объектовых испытаний предыдущих заказов организация регулировочно-наладочных работ (РНР) и испытаний СУМ не позволяла в достаточной степени отработать ПО, что в итоге привело к значительному затягиванию сроков настройки систем и проведения испытаний в море (более трех лет, что недопустимо в сложившихся условиях), а также к принятию вынужденных мер в части отработки СУМ.

На ходовых испытаниях проверяется способность СУМ управлять реальным кораблем и обеспечивать требуемое качество процессов автоматического управления. Поскольку коэффициенты алгоритмов автоматического управления движением заказов, обеспечивающие соответствие качества процессов управления заданным требованиям, напрямую зависят от динамических характеристик ПЛ, т.е. от соответствующих коэффициентов дифференциальных уравнений движения натуральных объектов управления, то в процессе ходовых испытаний предстоит в первую очередь определить эти коэффициенты. Особенно важна точность определения коэффициентов уравнений движения ПЛ в тех режимах, когда СУМ работает в разомкнутом режиме.

При испытаниях в море выявилось значительное отличие качества большинства процессов управления от полученного на стенде и у стенки (в ходе межведомственных (МВИ) и швартовых (ШИ) испытаний), причем в худшую сторону. Это обусловлено в основном значительным различием динамики реального объекта и его математической модели, что подтвердилось в результате последующей работы с полученными электронными записями режимов.

В ходе проведения объектовых заводских ходовых и государственных испытаний ПЛ нашего бюро были выявлены особенности организации их испытаний, существенно влияющие на сроки ввода заказа в состав ВМФ. Эти особенности объясняются подходами

к РНР и испытаниям, применяемым по аналогии с системами предыдущих поколений, когда уточнить математическую модель (идентификацию) динамики реальных объектов управления и их технических средств нельзя было в период испытаний головных заказов предыдущих поколений по объективным причинам: отсутствия многоканальных и точных систем регистрации параметров движения объектов управления и их технических средств, а также системы обработки полученных на испытаниях данных; отсутствия графиков сдаточных режимов движения.

На заказах проектов ЦКБ «Рубин» в 1980–1981 гг. использовалась аппаратура «Искра», регистрирующая аналоговые сигналы параметров движения ПЛ на фотобумагу с очень низкой точностью. В нашем бюро проектировалась, но так и не нашла применения система «Ягель». В том числе по этим причинам в СУМ предыдущих поколений использовались «грубые» и статические алгоритмы автоматического управления движением ПЛ.

В результате данного подхода вместо запланированных для СУМ 3+ и 4-го поколений двух выходов в море настройку систем удалось завершить лишь к 15–17-му выходу в море, а точную доводку – к 24-му.

В современных СУМ заложена высокая степень автоматизации проектируемых систем (более 20 автоматических режимов), а также высокая структурная и объемная сложность проектируемого ПО. Учитывая это, неизбежно требуется создание условий для отработки принятых проектных и технических решений и окончательной доводки созданных систем в море.

Опыт проведения заводских ходовых и государственных испытаний (ЗХИ и ГИ) заказов 3+ и 4-го поколений свидетельствует о недостаточной отработанности систем на предшествующих этапах проектирования и стендовых испытаний.

Настройка системы и устранение ошибок ПО выполнялись в течение: 15 выходов на ЗХИ с 4-го квартала 2011 г. до 1-го квартала 2014 г.; 2 выходов на ГИ в 2014 г.; в течение 6–7 выходов в рамках

опытной эксплуатации с 4-го квартала 2014 г. до 3-го квартала 2015 г.

Таким образом, в течение около четырех лет было предпринято 24 выхода в море, при этом 10 – 15% затраченного времени пришлось только на настройку СУМ и еще около 5% – на испытательные режимы, что эквивалентно 216 рабочим дням. В течение этого времени были выполнены доработки: в части СУМ по 29 отдельным решениям; по КСУ ТС в целом по более чем 300 решениям.

Деструктивным следствием этого можно считать отрыв инженерного состава разработчиков СУМ (ответственный сдатчик, программисты, алгоритмисты, инженеры, наладчики и др.) и смежных специалистов на длительное время от производства и дезорганизацию работ по другим направлениям и проектам.

При этом следует отметить положительную динамику в организации работ. В составе сдаточной команды присутствовали представители проектирующей организации, ответственных за СУМ, что позволило оперативно принимать как организационные, так и технические решения на борту.

В целях повышения качества проведения стендовых испытаний необходимо учитывать особенности ТС смежных систем.

Математическая модель волновых возмущений, используемая при проектировании алгоритмов управления, в целом соответствует натурным волновым возмущениям, действующим на корабль в Белом море. При этом во время опытной эксплуатации в Баренцевом море выявилось, что часть алгоритмов, удовлетворительно работающих на волнении в Белом море, не позволяет достичь требуемого качества управления движением в условиях волнения в Баренцевом море.

В условиях развитого волнения, характерного для больших морей и морей с большими глубинами, таких как Баренцево, Норвежское, а также океанов, амплитуды и периоды колебаний, действующих на корабль, оказываются в разы больше, что требует создания качественно иных алгоритмов управления.

Поэтому при разработке данных к методикам испытаний в море, а также самих программ и методик необходимо учесть этап проведения испытаний в глубоком море с накоплением необходимой статистики для учета в математической модели динамики, а также обеспечить обработку результатов и учет полученных данных.

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ

В настоящее время существуют многоканальные и точные цифровые системы регистрации. Так, при проведении в

2008–2010 гг. ходовых испытаний заказа нашего бюро поколения 3+ была использована система регистрации, разработанная в ОАО «Концерн «НПО «Аврора», позволяющая регистрировать одновременно более 230 параметров. С помощью этой системы были сделаны более 700 электронных записей режимов автоматического и дистанционного управления движением. Эти записи использовались для настройки и анализа качества работы автоматов, оценки работы операторов и документирования процесса сдачи СУМ государственной комиссии.

В 2011–2013 гг. в процессе ходовых испытаний ПЛ 4-го поколения было выполнено более 2000 записей режимов движения. Эти записи послужили основой для разработки математического аппарата, необходимого для идентификации динамики ПЛ.

Таким образом был сформирован интеллектуальный задел для разработки методики идентификации динамики кораблей, с помощью которой можно соответствующим образом организовать процесс настройки и испытаний, используя накопленный опыт.

В отсутствие вынужденной тактики выполнения регулировочных режимов не были учтены определенные условия: развитие различных скоростей хода, вплоть до максимальной; погружение на различные глубины, вплоть до рабочих; выполнение условий волнения и плотности воды в различных акваториях.

При организации объектовых испытаний ПЛ по аналогии с предыдущими испытаниями эти мероприятия не были предусмотрены, вследствие чего:

1. Работы по РНР проводились в отсутствие на борту разработчика алгоритмов и без наличия подробной методики РНР, описывающей способ регулирования и параметры, подлежащие настройке, которых более 50.

Отсутствие методики привело к экспериментальному способу РНР. В связи с этим потребовались многократный выход на связь для консультаций с разработчиком, а также уточнение ПО, способов настройки, пересадки в море квалифицированных специалистов для проведения данных работ, периодическая приостановка РНР по причине отсутствия возможности создания необходимых условий из-за ограниченности полигонов и пр.

При этом в целях обеспечения безопасности изменения в ПО допустимо вносить только в межпоходный период с проверкой правильности работы системы после корректировки. Данное обстоятельство, а также недостаток времени для обработки и внедрения полученных результатов привели к большим временным издержкам.

2. Не был предусмотрен первоначальный этап настройки математической модели динамики. Вынужденно данные работы были совмещены с прочими мероприятиями и выполнены в течение длительного срока в 2011–2013 гг. При этом работы были осложнены повторением испытательных режимов и повышенной сложностью обработки результатов, сопряженной с особенностями получаемых параметров движения от навигационного комплекса;

3. Не были предусмотрены работы, связанные с выходом в глубокое море, в связи с чем настройка систем проводилась путем экстраполяции полученных данных в более узком диапазоне глубин, при недостаточном волнении и несоответствующей эксплуатационным значениям плотности воды; полученные результаты могут считаться достоверными только с определенной долей вероятности;

4. В связи с отсутствием программы и методики РНР данные работы не были учтены в планах выходов в море. В связи с этим настройка и испытания СУМ продолжалась вплоть до завершения государственных испытаний.

Учитывая накопленный опыт объектовых испытаний, при организации РНР и настройки систем следует дополнительно включить два этапа работ:

– *идентификацию*, т.е. уточнение математической модели на основании натуральных данных маневрирования ПЛ. Математическая модель – важнейшая составляющая ПО, так как она определяет динамические и физические параметры ПЛ как объекта управления. Наличие значительных погрешностей в математической модели создает условия для подмены объекта управления и как следствие, заложенные в СУМ алгоритмы управления функционируют недолжным образом. Погрешности в модели, основанной исключительно на теоретических данных, могут составлять десятки процентов, а по отдельным параметрам отличаться в разы. Данное обстоятельство связано с пересчетом модельных данных к реальному масштабу, погрешности при приведении исходных данных к виду, приемлемому при проектировании систем, в том числе линеаризации, наличием изменений и особенностей при постройке корабля, внутреннего насыщения, при изготовлении органов управления и пр.;

– *настройку алгоритмов управления* по результатам первого этапа. От этого важного и кропотливого этапа доводки системы напрямую зависит качество управления, при этом настройка возможна только опытным путем методом последовательного приближения, с чем связан большой объем требуемых режимов движения. При этом значение

каждого из настраиваемых параметров зависит от диапазона скоростей хода, глубин погружения, углов перекадки рулей, набранных дифферента, крена и тесно взаимосвязано с остальными. Изменение одного из более 50 регулируемых коэффициентов влечет за собой необходимость изменения смежных. В зависимости от качества проведения настройки математической модели и точности настройки алгоритмов качество управления может изменяться: при неправильном подборе управляющих коэффициентов: возможны перерегулирование, затянутае регулирование параметров, неоптимальное управление, недостаточная точность регулирования, автоколебания, расходящийся колебательный процесс, при которых эксплуатация ПЛ небезопасна или затруднительна.

Для более тщательного планирования и проведения настройки и испытаний требуется учитывать особенности систем 4-го поколения при организации объектовых работ.

Таким образом, для обеспечения оптимального технического процесса проведения РНР в море и объектовых испытаний необходимо принять следующие меры:

1. На основе имеющегося интеллектуального задела по опыту работ с заказами 3+ и 4-го поколений следует обеспечить применимость математического аппарата идентификации динамики ПЛ; разработать и внедрить в работу методологию настройки математической модели.

Для этого требуется формировать инженерно-научный состав соответствующей квалификации, что является трудной организационной задачей в наши дни.

Наличие указанного математического аппарата и методологии идентификации динамики с последующей настройкой систем позволит иметь конкурентное преимущество перед другими проектными организациями.

2. В целях исключения неопределенностей и сокращения временных издержек при настройке систем необходимо разработать *методики регулировочно-наладочных работ СУМ* в море, включающие пошаговое и подробное описание методов настройки каждого из регулируемых параметров СУМ, т.е. методики настройки алгоритмов управления.

3. Для последовательной организации работ, обеспечения контролируемости и полноты настройки необходимо учитывать в планах проведения испытаний и выходов в море следующие этапы:

- настройка и проверка изделия в мелком море: а) проверку и настройку встроенной математической модели заказа в море; б) настройку алгоритмов

управления заказом в море, после этого в рамках заводских ходовых испытаний может быть выполнена проверка функционирования изделия в мелком море.

- настройка и проверка изделия в глубоком море, т.е. настройка системы в условиях внешних воздействий соответствующих реальным условиям эксплуатации.

После этого в рамках испытаний может быть выполнена проверка функционирования изделия в глубоком море.

4. Необходимо разработать *методики электронного документирования, систему учета и форматы записи результатов* для обеспечения хранения и возможности единообразного понимания полученных результатов заинтересованными организациями и доступности полученных результатов.

При этом следует учитывать, что разработанный ОАО «Концерн «НПО «Аврора» технологический комплект настроечного оборудования и ПО к нему в настоящее время является единственным средством документирования. Для его применения в качестве единого средства документирования требуется его сертификация и возможность применения ПО в организациях, использующих полученные результаты.

5. При разработке испытательной документации *учитывать* необходимость проведения данных работ в *программах объектовых испытаний* с указанием времени и условий проведения.

Подводя итоги, можно сказать, что наличие указанных решений и документов, а также учет в планах объектовых испытаний указанных мероприятий позволит исключить исследовательский характер проводимых настроечных и испытательных работ.

Тщательное планирование процесса настройки и испытаний СУМ позволит:

- сократить количество выходов в море с 24 до 6–8; второе – сократить временные издержки; вдвое – трудоемкость основных и обеспечивающих работ.

Наличие систематизированной базы результатов, полученных в ходе РНР и при испытаниях, позволит иметь:

- аргументированные основания для разработки требований технических заданий (ТЗ) перспективных систем;
- графическое представление для презентации маневренных качеств заказов;
- доказательную базу для разбора фактов, связанных с возможными нештатными ситуациями;
- инструмент объективного (сравнительного) контроля качества вновь создаваемых систем;
- базу для дальнейшего развития СУМ, в условиях отсутствия детальных требований тактико-технического задания (ТТЗ).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При проектировании первичными документами для разработки требований, предъявляемых к качеству СУМ, являются ОТТ и ТТЗ, которые носят общий характер. В отсутствие детальных требований в нормативной документации повышенное значение приобретает координация взаимодействия проектных организаций с заказчиком. В настоящее время внятной системы постановки и движения задач от источника к исполнителям не существует, а значит, конкретные технические решения и требования разрабатываются с долей гипотетического упреждения реальных потребностей ВМФ.

В ходе объектовых испытаний было выявлено, что предъявляемые в требования к СУМ и КСУ ТС не в полной мере соответствуют реальным потребностям личного состава. В частности, присутствуют избыточные функции и режимы управления, усложняющие систему и организацию управления, имеет место несоответствие типа режима управления декларируемому – автоматическое и автоматизированное (с участием оператора или с прерыванием для подтверждения условий режима оператором). Организация оперативных режимов решения противоаварийных задач (ПАЗ) неоднозначна и не в полной мере соответствует требованиям РБЖ-ПЛ–82, которые являются первичными при организации решения ПАЗ.

Все это свидетельствует об оторванности решаемых задач от действительных потребностей ВМФ, и недостаточности их понимания при разработке исходных для проектирования документов.

Таким образом, постановка задач управления требует более детального рассмотрения и участия представителей Минобороны РФ, эксплуатирующих корабли, для более точного учета требований и параметров выполнения режимов управления, а также для исключения избыточных функций систем, удорожающих и удлиняющих цикл разработки.

Принятые технические решения должны быть полностью отработаны на стендовых испытаниях для исключения исследовательских работ в рамках объектовых испытаний, что имело место при проведении испытаний.

Объединяя усилия при оптимизации рабочих процессов и основываясь на понимании существующих условий, можно достичь ритмичности сдачи заказов, требующихся ВМФ. ■

Специфика нынешнего периода развития военного дела определяется бурным развитием компьютерных технологий, которые привели к появлению нового поколения средств и систем ведения вооруженной борьбы, сравнимых по эффективности с оружием массового поражения и способных в перспективе привести к революционным изменениям в этой области. Ярким примером средств (систем) такого типа являются роботизированные комплексы военного назначения. Создание боевых роботов и робототехнических комплексов (РК) воздушного, наземного и морского базирования в настоящее время является одним из главных приоритетов в развитии вооруженных сил ряда стран. За последние 20 лет такие страны, как США, Великобритания, Франция, Германия, Китай и Израиль, резко увеличили объемы финансирования военных НИОКР по созданию боевых роботов и робототехнических комплексов.

Применительно к ВМФ понятие роботизированного комплекса морского базирования объединяет широкую номенклатуру средств (систем) различного функционального назначения, создаваемых различными производителями для решения широчайшего круга задач в трех существенно отличающихся по физическим параметрам средах (подводная, надводная, воздушная), что определяет разнообразие подходов к конструированию конкретных образцов. Очевидно, что по мере развития данной отрасли будут появляться новые, все более специализированные и более совершенные варианты РК, т. е. их номенклатура будет расширяться, и актуальными становятся вопросы организации применения робототехнических комплексов морского базирования.

РК морского базирования предназначены для организованного и целенаправленного использования в мирное время, угрожаемый период и в военное время РК ВМФ в целях выполнения боевых, специальных задач и задач обеспечения самостоятельно и во взаимодействии с объектами других родов сил (войск) ВМФ или видов ВС РФ.

Эффективное применение РК невозможно без планирования. В военном деле планирование представляет собой процесс целенаправленной деятельности командующего (командира) и штаба по оптимальному (целесообразному) распределению имеющихся ресурсов в интересах достижения поставленных целей в установленные сроки с минимальными потерями. С учетом изложенного под планированием применения морских МРК в настоящей статье понимается процесс определения оптималь-

МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МОРСКИХ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

В. В. Ханьчев, канд. техн. наук, первый зам. ген. директора,
А. В. Уланов, канд. техн. наук, зам. директора по спецпроектам,
АО «ЦНИИ «Курс»,
контакт. тел. +7 (495) 365 7477

ной (целесообразной) последовательности, сроков и способов выполнения поставленных задач, порядка взаимодействия, обеспечения и управления РК в операциях (боевых действиях), а также при несении боевой службы под способом выполнения задачи – избранный порядок и приемы действий РК.

Рассмотрим вопросы оценки эффективности вариантов применения МРК как «динамических» (состояние которых подвержено скоротечным изменениям на протяжении рассматриваемого промежутка времени) систем.

Под «оценкой эффективности» системы военного назначения в теории военно-экономического анализа понимают определение численных значений показателей, характеризующих, с одной стороны, прикладной (военный) эффект от функционирования данной системы, а с другой – затраты на его достижение [1, 2, 5].

Прикладные (военные) результаты функционирования системы военного назначения принято измерять степенью достижения целей ее функционирования (решения поставленных задач), а затраты ресурсов, связанные с достижением целей функционирования системы (решения поставленных задач) – расходом материальных, финансовых и других средств, потерями личного состава, а также потребным временем [2, 4].

Таким образом, под показателями эффективности применения МРК будем понимать числовые параметры, характеризующие степень достижения назначенных целей (выполнения поставленных задач), а также необходимые для этого затраты ресурсов. Показатели первого рода будем называть целевыми, показатели второго рода – ресурсными.

АНАЛИЗ СПОСОБОВ ПРОВЕДЕНИЯ ОЦЕНКИ

Из теории военно-экономического анализа известно [2], что эффективность системы военного назначения можно оценить двумя основными способами:

– путем статистической обработки сведений о функционировании реальной системы, действующей в условиях

полигона или повседневной деятельности сил, войск (натурный эксперимент);

– путем исследования динамики поведения модели, отражающей те или иные аспекты функционирования системы в различных условиях обстановки (модельный эксперимент).

Поскольку первый способ возможен только при наличии действующих образцов вооружения, военной и специальной техники, с чрезвычайно высокой стоимостью и трудоемкостью проведения испытаний, чаще всего используется второй способ, т. е. проведение модельных экспериментов. Основным видом применяемых при этом моделей являются математические, представляющие собой формальное описание исследуемой системы с помощью совокупности математических зависимостей и логических правил, реализованных в прикладном программном обеспечении средств компьютерного моделирования.

Численные значения целевых показателей функционирования системы военного назначения рассчитываются с помощью математических моделей операций, выполняемых данной системой (функциональных моделей); оценка ее ресурсных показателей возможна как в рамках функциональных моделей за счет включения в их состав блоков расчета соответствующих характеристик, так и с помощью специализированных (ресурсных) моделей.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ МРК

Типовая математическая постановка задачи оценки эффективности функционирования системы военного назначения может выглядеть следующим образом [2]: система представлена k структурными элементами, обладающими начальным ресурсом C_1, C_2, \dots, C_k и действует в определенных условиях обстановки Z_1, Z_2, \dots, Z_k . В процессе их деятельности происходит потребление ресурсов в размере C_1, C_2, \dots, C_k , что с течением времени T_1, T_2, \dots, T_k приводит

к определенному непосредственному эффекту W_1, W_2, \dots, W_k .

При этом расчет показателей, характеризующих непосредственный эффект W_i от функционирования элементов системы, осуществляется с помощью функциональных, а расчет показателей, характеризующих потребление материальных ресурсов C_i – с помощью соответствующих ресурсных моделей. Непосредственный эффект деятельности каждого структурного элемента системы проявляется в общем результате, т. е. в конечном эффекте W . Тогда эффективность системы в целом определяется величиной полученного конечного результата W , затраченных материальных ресурсов C и времени T . Важно отметить, что функциональные и ресурсные модели функционирования системы военного назначения и ее элементов являются весьма существенным промежуточным звеном оценки эффективности, позволяющим установить однозначно определенные зависимости между ресурсом элемента C_i и непосредственным результатом W_i решения поставленной элементу задачи Z_i с учетом конкретных условий обстановки.

Применительно к оценке эффективности вариантов применения МРК с целью выбора наилучшего (наиболее целесообразного) расчет численных значений промежуточных целевых и ресурсных показателей выполняется с помощью специально разработанной автоматизированной системы моделирования (АСМ), реализующей метод имитационного математического моделирования.

Определение состава и содержания показателей, необходимых для оценки эффективности, является классической задачей системного анализа, достаточно сложной как в практическом, так и в теоретическом смысле. Формальных правил выбора показателей эффективности не существует, и формулировка показателя, таким образом, определяется целями и задачами каждого конкретного исследования [3, 5]. Объективные трудности, связанные с выбором и формулировкой единственного и при этом полного показателя эффективности системы военного назначения, приводят к тому, что на практике широко используются не один общий, а множество частных показателей эффективности [2].

ВИДЫ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ

Одна из возможных классификаций показателей эффективности системы военного назначения представлена на рис. 1.

Целевые показатели. Целевое предназначение системы военного назначения проявляется через совокупность ее



Рис. 1. Классификация показателей эффективности

свойств по отношению к объектам, с которыми она вступает во взаимодействие. Степень проявления того или иного свойства выражается соответствующим частным целевым показателем и определяется реализующими его техническими (тактическими) параметрами системы в целом и входящих в ее состав элементов.

Для оценки целевой эффективности рассматриваемой системы могут быть применены показатели двух типов: функциональные и боевые [4, 6]. Использование показателей функциональной эффективности позволяет ответить на вопрос, какой из вариантов реализации системы является предпочтительным. К числу известных показателей функциональной эффективности систем военного назначения относят такие, как готовность, оперативность, устойчивость, живучесть, скрытность, мобильность и др.

Показатели второго типа называют боевыми. Основное предназначение практически любой системы военного назначения заключается в поражении сил (войск) и других объектов противника. Таким образом, боевая эффективность системы как степень ее соответствия предназначению определяется преимущественно через ущерб, наносимый силам (войскам) противника. В качестве показателей боевой эффективности обычно используется вероятность поражения цели, математическое ожидание количества уничтоженных целей или математическое ожидание предотвращенного ущерба и т. п.

Ресурсные показатели имеют две разновидности: показатели объема требуемых или израсходованных ресурсов

и показатели длительности достижения цели (решения поставленных задач). Временной показатель возникает вследствие невозможности немедленного удовлетворения всеми ресурсами, необходимыми для достижения цели, а также мгновенного выполнения всех поставленных задач [2].

Показатели объема ресурсов имеют материальное содержание и могут измеряться в тоннах, штуках, боекомплектах, моточасах и т. п. Для обеспечения возможности агрегирования в некоторых случаях данные показатели могут быть выражены также в стоимостной форме.

Временной показатель, как правило, выражает длительность решения поставленной задачи или календарный отрезок времени (час, сутки, месяц и т. п.), а также моменты наступления тех или иных событий.

ОЦЕНИВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВАРИАНТА ПРИМЕНЕНИЯ МРК С ПОМОЩЬЮ СИСТЕМЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Как было показано ранее, инструментальным средством получения численных значений промежуточных целевых и ресурсных показателей системы военного назначения, характеризующих непосредственный эффект ее функционирования, обычно является математическая модель (комплекс моделей) операций, выполняемых данной системой.

В качестве системы военного назначения рассмотрим вариант применения МРК, а в качестве модели ее функционирования – систему имитационных математических моделей распределенной архитектуры, реализованную в автома-

тизированной системе моделирования (АСМ) [7].

Выбор имитации в качестве метода моделирования базируется на результатах сравнительного анализа различных математических методов и обусловлен целым рядом обстоятельств. Метод имитационного моделирования позволяет воспроизводить динамику функционирования МРК и других объектов обстановки в произвольном (ускоренном, замедленном) масштабе времени, обеспечивает возможность вмешательства в ход моделируемого процесса в любой момент.

Моделирование функционирования варианта применения МРК с помощью АСМ представляет собой машинное воспроизведение во времени динамики действий объектов моделирования в обстановке, формируемой с учетом факторов природной среды и противодействия противника. Моделирование проводится в форме вычислительных экспериментов. Промежуточные и конечные результаты моделирования, итоги розыгрыша происходящих событий и эпизодов выводятся на устройства отображения и документирования для последующего анализа и оценки. Моделируемые объекты обстановки в ходе имитации действуют в соответствии с заданиями на функционирование (боевыми задачами).

В качестве исходных данных для моделирования процессов, присущих функционированию систем военного назначения, используются так называемые формализованные оперативно-тактические (тактические) модели обстановки.

Под термином «оперативно-тактическая (тактическая) модель обстановки» понимается разновидность умозрительной модели операции (боевых действий) флота, один из вариантов описания способа применения сил (войск) в операции (боевых действиях), который представляет совокупность данных, отражающих условия обстановки с соответствующей степенью детализации и однозначно определяющих состав, исходное местоположение, задачи и другие свойства группировок, тактических групп, тактических единиц как объектов моделирования. Оперативно-тактическая (тактическая) модель обстановки позволяет моделировать динамику военных действий соответствующего уровня, проводимых в назначенной области пространства (зоне).

Применительно к моделированию варианта (способа) применения МРК с помощью АСМ, конкретное содержание формализованной оперативно-тактической (тактической) модели обстановки включает описание следующих сущностей:

- конфигурация назначенной для решения задач МРК области пространства;
- военно-географические условия в назначенной области пространства;
- оборудование (инфраструктура) назначенной области пространства;
- предполагаемый состав, состояние и план действий сил противника;
- состав, состояние и план действий МРК;
- состав, состояние и план действий своих сил, существенных с точки зрения функционирования МРК, но не входящих в их состав.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЛИКА СИСТЕМЫ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВАРИАНТОВ ПРИМЕНЕНИЯ МРК

Указанный подход к оцениванию эффективности МРК на основе моделирования их применения приводит к трехуровневой модели системы показателей [9].

В качестве показателей нижнего (первого) уровня использованы преимущественно натуральные, т.е. вещественные параметры, численные значения которых могут быть определены путем непосредственных измерений.

В качестве показателей промежуточного (второго) уровня использованы расчетные величины, отражающие состояние объектов моделирования на каждый конкретно взятый момент времени.

В качестве показателей верхнего (третьего) уровня использованы расчетные величины, отражающие результаты реализации варианта примене-

ния МРК за заданный промежуток времени.

Упрощенная схема структуры и взаимосвязей системы показателей эффективности вариантов применения МРК представлена на рис. 2.

Рассмотрим состава и содержание показателей указанных уровней.

Состав и содержание показателей нижнего уровня. Показатели нижнего (первого) уровня, по сути, являются исходными данными для проведения моделирования процессов, присущих функционированию МРК, в заданных условиях и отражают содержание оперативно-тактической (тактической) модели обстановки, а их состав и степень детализации в основном определяют решениями по реализации объектной модели АСМ. Состав показателей данного уровня включает следующие разделы:

- 1) тактико-технические характеристики;
- 2) параметры исходной оперативно-тактической (тактической) обстановки;
- 3) параметры (пространственные и военно-географические характеристики) конфигурации назначенной МРК для решения задач области пространства.

Тактико-технические характеристики включают описание типов (образцов) моделируемых с помощью АСМ маневренных объектов, к которым могут относиться как МРК, так и традиционные силы и средства, а также их вооружение. Данные такого рода определяют не индивидуальные характеристики конкретных объектов обстановки, а свойства целой группы однотипных объектов как

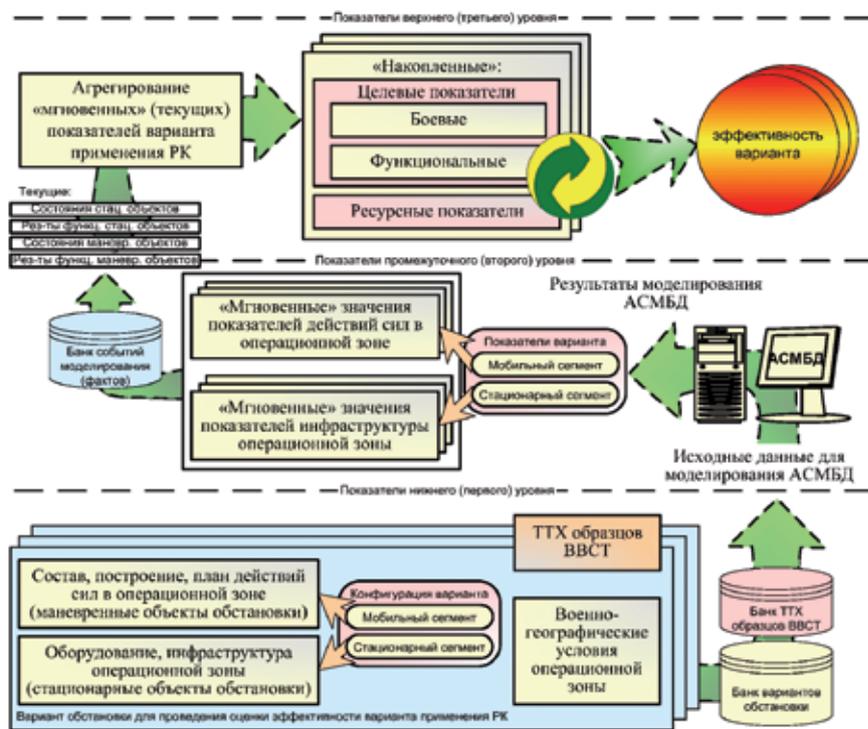


Рис. 2. Схема системы показателей эффективности вариантов применения МРК

образцов ВВСТ. Они не связаны с каким-либо конкретным вариантом исходной обстановки.

Параметры исходной оперативно-тактической (тактической) обстановки включают описание состава и состояния маневренных объектов (традиционных сил и средств), стационарных объектов обстановки (пунктов базирования, аэродромов, пунктов управления, объектов связи и т. п.), относящихся не только к своей стороне, но и к стороне противника, а также к нейтральным и союзным сторонам, образуя оперативно-тактический «фон», в условиях которого реализуется вариант (способ) применения МРК.

Параметры (пространственные и военно-географические характеристики) конфигурации назначенной МРК для решения задач области пространства определяют условия функционирования всех моделируемых объектов АСМ, в том числе и МРК, оказывая существенное влияние на эффективность их применения. Учет природных условий проводится по району назначенной для решения задач МРК области пространства – операционной зоны (зоны действий). Параметры природной среды в каждом из районов могут изменяться по мере продвижения модельного времени независимо от других районов. Учет пространственных характеристик операционной зоны (зоны действий) осуществляется путем подразделения ее на области меньших размеров, называемых районами применения МРК.

Таким образом, описание структуры показателей нижнего (первого) уровня может быть определено следующим образом (рис. 3).

Как показано на рис. 3, структура показателей нижнего (первого) уровня включает:

- ТТХ образцов (проектов) маневренных объектов (включая проекты МРК);
- ТТХ образцов вооружения маневренных объектов (включая вооружение МРК);
- параметры маневренных объектов обстановки (включая МРК);
- параметры стационарных объектов обстановки;
- характеристики военно-географических условий операционной зоны (зоны действий) МРК.

Состав и содержание показателей промежуточного уровня. Показатели промежуточного (второго) уровня представляют текущие («мгновенные») результаты моделирования с помощью автоматизированной системы моделирования (АСМ) процессов, присущих функционированию МРК и элементов внешней по отношению к ним обстановки. В связи с этим состав и степень

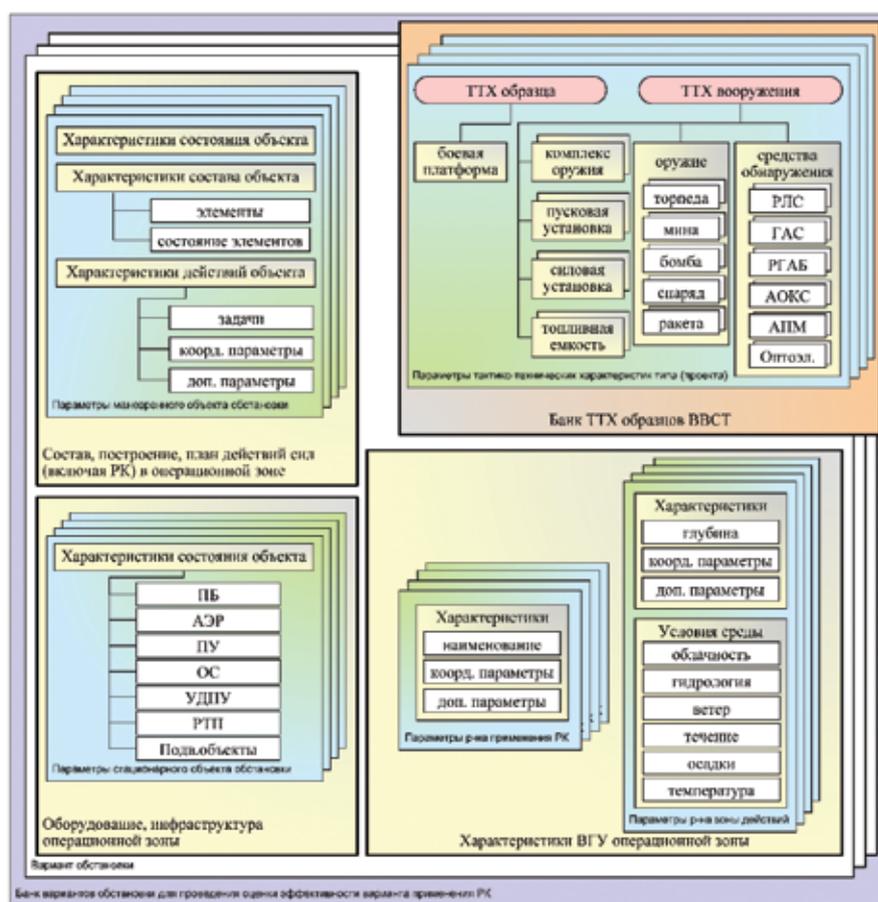


Рис. 3. Показатели эффективности вариантов применения МРК нижнего (первого) уровня

детализации показателей этого уровня в основном определяются решениями по реализации математических моделей (функциональных и ресурсных), входящих в состав АСМ.

При определении состава показателей промежуточного уровня были учтены особенности АСМ как системы математического моделирования, построенной на основе имитационных методов и работающей по конкретным событиям. В этом смысле процесс моделирования с помощью АСМ может быть представлен как последовательность многократных актов перехода от вычисленной с помощью тех или иных аналитических выражений вероятности наступления какого-либо события к факту его реализации.

Не вдаваясь в теоретические аспекты упомянутых трансформаций, заметим, что при таком подходе результаты имитации функционирования МРК могут быть представлены как цепочка так или иначе связанных, наступивших в определенное модельное время и зафиксированных событий, отражающих ход процесса моделирования и в совокупности определяющих исход моделирования в целом. В качестве логического представления такой цепочки может быть использован журнал моделирования, каждая из записей которого фиксирует соответствующее наступившее со-

бытие, т. е. является фактом, а в качестве физического представления – файл (совокупность файлов) на машинном носителе информации. Далее под термином «факт» в настоящем документе будем понимать совокупность данных установленной логической структуры, однозначно определяющих содержание события моделирования.

Упрощенная схема показателей эффективности вариантов применения МРК промежуточного (второго) уровня приведена на рис. 4.

Показатели промежуточного уровня отражают события моделирования АСМ, представленные в форме фактов. Условимся называть логические элементы структуры данных факта атрибутами. Типовая логическая структура фактов, отражающих показатели функционирования объектов обстановки (как маневренных, так и стационарных) АСМ, включает следующие обязательные атрибуты:

- идентификатор объекта обстановки, инициировавшего возникновение события;
- классификационные признаки объекта обстановки;
- модельное время наступления события.

Состав показателей промежуточного уровня включает две основные группы – показатели функционирования стацио-

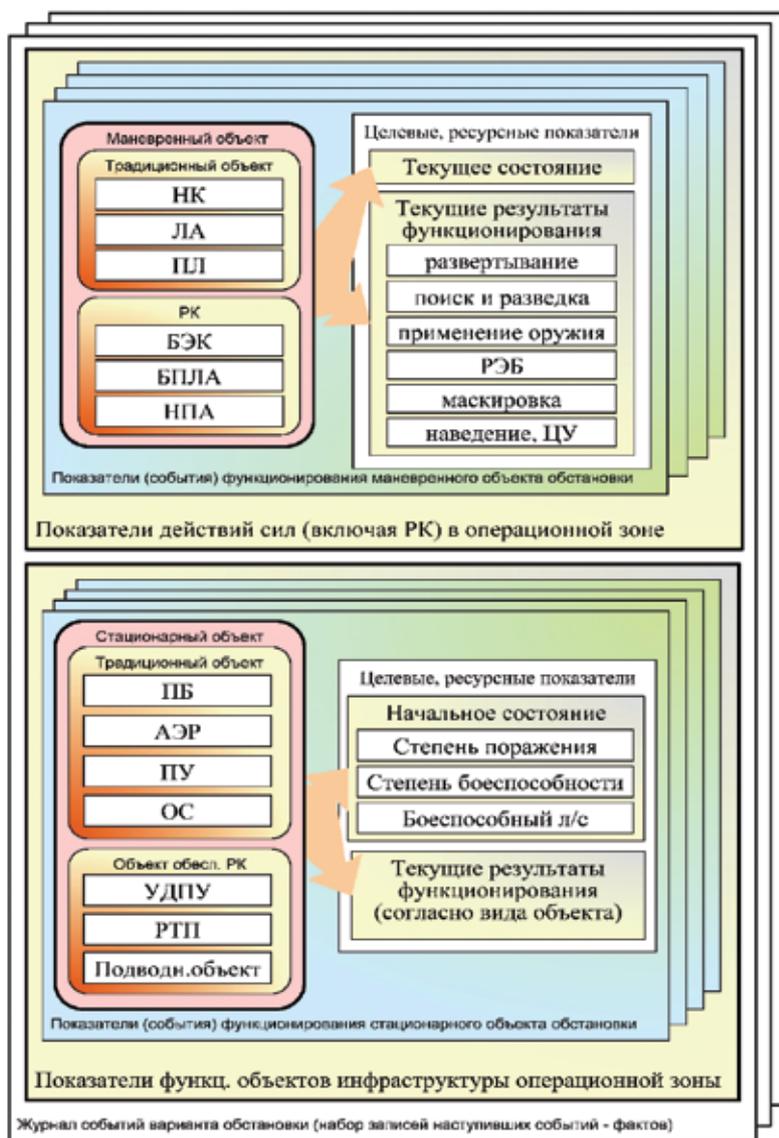


Рис. 4. Показатели эффективности вариантов применения МРК промежуточного (второго) уровня

нарных объектов и маневренных объектов обстановки.

Состав и содержание показателей верхнего уровня. Показатели верхнего (третьего) уровня представляют обобщенные результаты моделирования процессов, присущих функционированию МРК и элементов внешней по отношению к ним обстановки с помощью АСМ, и в этом смысле являются производными от показателей промежуточного (второго) уровня. Однако в отличие от показателей промежуточного уровня, отражающих текущие («мгновенные») значения параметров состояния объектов моделирования, показатели верхнего уровня характеризуют «накопленные» результаты функционирования МРК за заданный промежуток времени. В зависимости от выбора правой и левой границ этого промежутка данные показатели могут характеризовать как итоговые результаты моделирования варианта обстановки в целом, так и результаты моделирования отдельных его фрагментов (эпизодов). Исходными данными

для расчета показателей верхнего уровня являются факты – структуры данных, фиксирующие содержание наступивших по ходу процесса моделирования событий, т. е. промежуточные показатели эффективности варианта применения МРК. Таким образом, состав и степень детализации показателей верхнего уровня во многом определяются решениями по составу и содержанию показателей промежуточного уровня. С учетом изложенного, численные значения показателей верхнего уровня рассчитываются путем агрегирования определенных атрибутов выбранных фактов за указанный промежуток времени.

Попутно заметим, что целевые показатели эффективности варианта (способа) применения МРК верхнего уровня (например, устойчивость, готовность, емкость, пространственный охват, скрытность) по своей сути являются универсальным выражением фундаментальных свойств, присущих в той или иной степени практически любой сложной системе военного назначения.

Упрощенная схема показателей эффективности вариантов применения МРК верхнего (третьего) уровня приведена на рис. 5.

СПОСОБЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗНАЧЕНИЙ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ

Определение численных значений показателей эффективности вариантов (способов) применения МРК осуществляется в соответствии с приведенными решениями по структуре и иерархии показателей.

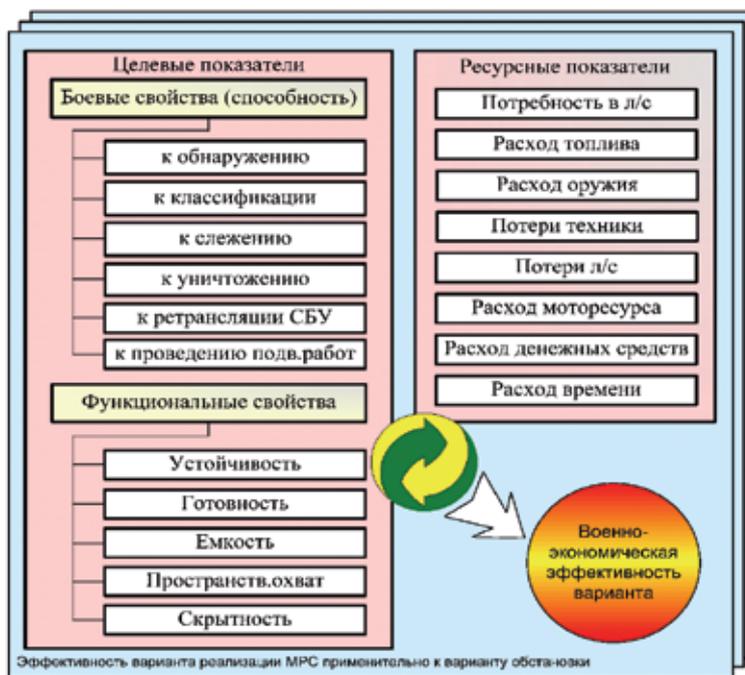


Рис. 5. Показатели эффективности вариантов применения МРК верхнего (третьего) уровня

Согласно упомянутым решениям, показатели нижнего уровня являются исходными данными для имитационного моделирования процессов, присущих функционированию МРК, и отражают содержание оперативно-тактической (тактической) модели обстановки. Состав и содержание показателей нижнего уровня полностью определяются решениями по реализации АСМ. Значения показателей данного уровня являются не вычисляемыми, а измеряемыми и подлежат непосредственному заданию при подготовке вычислительных экспериментов на АСМ. Часть значений показателей нижнего уровня, определяющих ТТХ реальных образцов вооружения, военной и специальной техники, выбирается из соответствующих справочников. Параметры конфигурации операционной зоны (зоны действий) задаются с помощью различных источников геопространственных данных – карт, лоций, описаний океанских (морских) театров военных действий, геоинформационных систем военного назначения и пр. Значения параметров, характеризующих исходную оперативно-тактическую (тактическую) обстановку, являются результатами планирования применения сил (войск) и средств флота (включая МРК).

Показатели промежуточного уровня сугубо расчетные и отражают «мгновенные» состояния объектов обстановки на каждый конкретно взятый момент. Состав и содержание показателей промежуточного уровня так же, как и показатели нижнего уровня, полностью определяются решениями по реализации АСМ. Численные значения этих показателей определяются на основе значений показателей нижнего уровня в ходе имитации с помощью входящих в состав АСМ функциональных и ресурсных моделей. Показатели промежуточного уровня, в свою очередь, являются исходными данными для вычисления показателей верхнего уровня.

Показатели верхнего уровня являются расчетными, отражают результаты реализации варианта (способа) применения МРК за заданный промежуток времени и могут характеризовать как итоговые результаты моделирования варианта обстановки в целом, так и результаты моделирования отдельных его фрагментов (эпизодов) применительно ко всей области пространства операционной зоны (зоны действий) либо к отдельным ее районам. Как было показано выше, состав и содержание показателей данного уровня следует считать производными от показателей промежуточного уровня, однако расчет их численных значений является внешней по отношению к АСМ задачей и образует основное содержание процесса оценки эффективности варианта (способа) применения МРК.

Порядок проведения оценки эффективности вариантов применения МРК. Процесс проведения оценки эффективности вариантов применения МРК включает следующие основные этапы:

- подготовка исходных данных по варианту применения МРК в заданных условиях оперативно-тактической (тактической) обстановки;
- проведение моделирования по варианту применения МРК в заданных условиях оперативно-тактической (тактической) обстановки;
- проведение оценки варианта применения МРК по результатам моделирования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Как было показано, инструментальным средством получения численных значений промежуточных целевых и ресурсных показателей системы военного назначения, характеризующих непосредственный эффект ее функционирования, обычно является математическая модель (комплекс моделей) операций, выполняемых данной системой.

При определении состава и содержания показателей эффективности вариантов применения МРК было решено принять трехуровневую модель системы показателей.

В качестве показателей нижнего (первого) уровня использованы преимущественно натуральные, т. е. вещественные параметры, численные значения которых могут быть определены путем непосредственных измерений, в качестве показателей промежуточного (второго) уровня – расчетные величины, отражающие состояние объектов моделирования на каждый конкретно взятый момент времени, в качестве показателей верхнего (третьего) уровня использованы расчетные величины, отражающие результаты реализации варианта применения МРК за заданный промежуток времени.

Вариант применения МРК оценивается путем сопоставления рассчитанных с помощью рассмотренного подхода численных значений боевых, функциональных и ресурсных показателей эффективности с нормативными значениями либо путем сравнения с результатами моделирования по альтернативным вариантам.

Для того чтобы из множества возможных вариантов применения МРК, характеризуемых соответствующими численными значениями предложенного набора показателей эффективности, можно было выбрать наиболее приемлемый [8], необходимо определить правила выбора варианта, или критерий оценки. С учетом значительного количества результирующих параметров, проведе-

ние сравнительной оценки подобного рода является достаточно сложной самостоятельной задачей, относящейся к классу задач многокритериального выбора.

Известно довольно широкое множество методов многокритериальной оценки эффективности, включая такие, как квалиметрический метод (метод свертки), метод выделения главного показателя, метод последовательных уступок, метод анализа иерархий, метод экспертных оценок и др [2, 8]. Авторами предлагается решать данную задачу с помощью квалиметрического метода, суть которого состоит в «свертке» многих оценок сложного объекта в единую оценку, представляющую собой сводный (интегральный) показатель, синтезирующий отдельные (частные) показатели, характеризующие качество (надежность, безопасность, полезность, предпочтительность и т. п.) любых многопараметрических объектов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Автоматизация управления и связь в ВМФ / Под общей ред. Ю. М. Кононова. – Изд. 2-е – СПб.: Элмор, 2001.
2. Г. П. Жуков, С. Ф. Вихлов. Военно-экономический анализ и исследование операций: учебник. – М.: Воениздат, 1987.
3. В. Ф. Шпак, Н. Ф. Директоров, В. И. Мирошников, С. П. Навойцев, В. И. Наумов, А. В. Серегин, Ю. И. Синещук, О. М. Туровский. Информационные технологии в системе управления силами ВМФ. – СПб.: Элмор, 2005.
4. В. И. Колесниченко. Об оценке эффективности АСУ ВВС. – Военная мысль. – 2009. – № XX. – С. 35–42.
5. В. В. Воскресенский, С. М. Доценко, Г. Н. Корольков, О. Е. Чудаков. Информационное обеспечение управления и флот / Под общей ред. Г. Н. Королькова. – СПб.: Ника, 2002.
6. В. А. Чобиток. Оценка боевой эффективности и технического совершенства вооружения и военной техники: учебное пособие. – К.: Изд. КВТИУ, 1984.
7. Вавилов Д. В., Ханьчев В. В. Системы моделирования корабельного РЭВ и оружия различного уровня принятия решений // Науч.-техн. журнал судостроительной промышленности РФ «Проблемы развития корабельного радиоэлектронного вооружения и судового радиоэлектронного оборудования», 2015. – Вып. 4.
8. И. В. Соловьев, В. В. Гекко, С. М. Доценко и др. / Под ред. В. И. Куроедова. Современные проблемы управления силами ВМФ: Теория и практика. Состояние и перспективы. – СПб.: Политехника, 2006.
9. Уланов А. В., Ханьчев В. В. Система показателей для оценки эффективности вариантов применения морских роботизированных комплексов // Науч.-техн. журнал судостроительной промышленности РФ «Проблемы развития корабельного радиоэлектронного вооружения и судового радиоэлектронного оборудования», – 2014. – Вып. 3. – С. 14–23. ■

Одной из проблем навигационного обеспечения действий атомных подводных лодок (АПЛ) в океанском стратегическом арктическом районе является обеспечение подледного приема спутниковых навигационных сигналов [1]. В настоящее время в эксплуатации находятся среднеорбитальные спутниковые навигационные системы (СНС), работающие в диапазоне 1176,45–1615,5 МГц, сигналы которых не проникают сквозь лед.

В работах [2–6] были опубликованы подходы к решению рассматриваемой проблемы. Их суть сводилась к тому, что для производства обсервации требовалось осуществлять сквозное бурение (механическое, паробурение и электробурение) ледового покрова с выходом антенного устройства наружу. При этом высота антенного устройства в заявленных способах не регулировалась, что могло негативно сказываться на вероятности его обнаружения. Если же использовался электробур, то была большая вероятность выхода его из строя из-за перегорания нагревателя на открытом воздухе.

В результате проведенных дополнительных исследований нами предлагается усовершенствованное паровоздушное антенное устройство (ПВАУ) для подледного приема сигналов СНС на подводной лодке [7]. Усовершенствование заключается в том, что в известную схему паровоздушного антенного устройства добавляется вычислительный блок для автоматического определения высоты его подъема, выбора оптимального режима подачи теплоносителя (пара) и регулирования пара в зависимости от заданного режима паробурения ледяного покрова снизу.

На рис. 1 изображена принципиальная схема подледного приема радиосигналов СНС на подводной лодке.

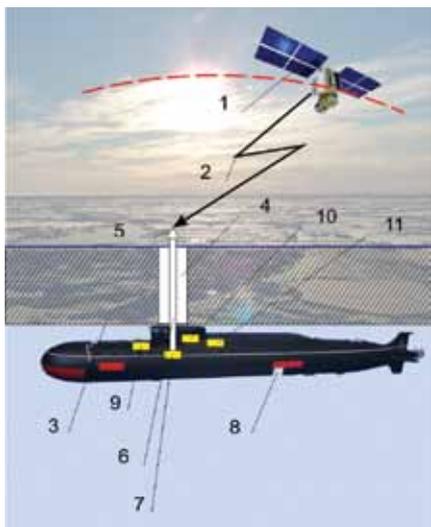


Рис. 1. Способ подледного приема сигналов спутниковых навигационных систем на подводной лодке

ПАРОВОЗДУШНОЕ АНТЕННОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПОДЛЕДНОГО ПРИЕМА СИГНАЛОВ СПУТНИКОВЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ

В.А. Катенин, д-р воен. наук, проф., ученый секретарь ОАО «ГНИНГИ»,
В.А. Горбачев, д-р воен. наук, проф. ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия»,
А.В. Катенин, канд. техн. наук, зам. ген. директора по науке ФКП «НИЦ РКП»,
С.П. Мелешонок, адъюнкт ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия»,
 контакт. тел. (812) 327 9926

Для реализации предлагаемого устройства необходимо выполнить:

- 1) поиск с помощью эхолотера 9 и телевизионных средств 11 места, пригодного для приледнения;
- 2) приледнение к нижней кромке ледового покрова 3 без хода и с дифферентом 3–5° на корму;
- 3) «припечатывание» рубки ПЛ 8 к нижней кромке ледового покрова 3 путем создания положительной плавучести ПЛ 8 для избежания ее горизонтальных перемещений;
- 4) выравнивание корпуса ПЛ 8 за счет отвода дифферента;
- 5) подъем выдвигного устройства (ВУ) 6 и сквозное плавление льда (образование полости 4) до тех пор, пока головка антенного устройства не окажется над поверхностью ледового покрова 3 на минимальной высоте, позволяющей уверенно принимать радиосигналы 2, что обеспечивается дополнительным вычислительным блоком с учетом показаний глубиномера 10;
- 6) прием радиосигналов 2 от космических аппаратов 1 на «сухую» антенну 5 и определение своего местоположения;
- 7) возврат ВУ 6 с антенной 5 в исходное положение;
- 8) погружение подводной лодки 8 на заданную глубину и продолжение выполнения поставленной задачи.

На рис. 2 изображено паровоздушное антенное устройство.

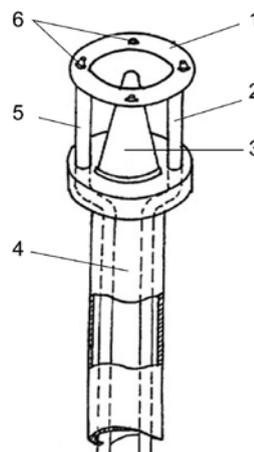


Рис. 2. Паровоздушное антенное устройство

Паровоздушное антенное устройство 1 представляет собой кольцевой трубопровод – перфорированный тор в торе с внешним диаметром до 150–200 мм, установленный в верхней части ВУ 4. По периметру трубопровода расположены смесительные сопла-форсунки 6 для направленного выхода пара и подачи ВВД диаметром 15 мм. ВУ 4 представляет собой полую трубу, внутри которой проходят паропровод 5 и трубопровод с ВВД 2. Пар и ВВД через форсунки 6 подаются к ледовому покрову. ВВД служит для осушки полости, образующейся при плавлении льда паровоздушным антенным устройством. Для определения высоты подъема ВУ 4 при плавлении

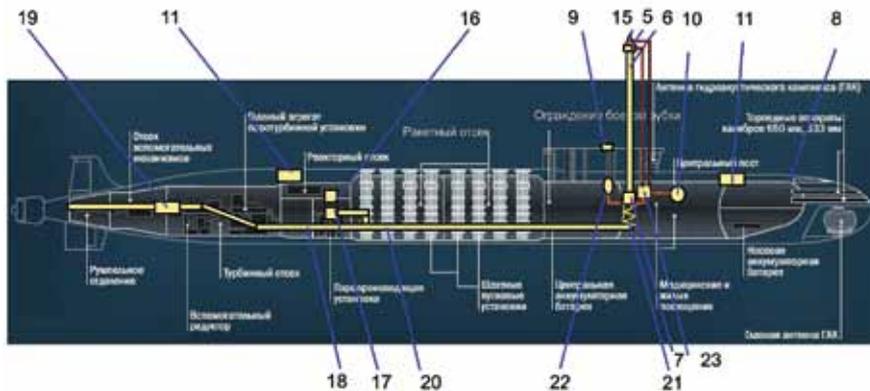


Рис. 3. Схема подачи перегретого пара на выдвигное устройство для плавления льда

ледяного покрова в верхней части паровоздушного антенного устройства 5 крепится датчик с антенной 3 контакта ВУ 4 со льдом.

На рис. 3 представлена структурная схема подачи перегретого пара на подвижное устройство 6 для плавления льда. На ПЛ 8 с атомной энергетической установкой (АЭУ) 16 пар генерируется в паропроизводительной установке (ППУ) 17 и далее по главному паропроводу 18 подается к паротурбинной установке (ПТУ) 19, обеспечивающей движение ПЛ 8.

Пар к ВУ 6 подается по специальному вспомогательному трубопроводу 20 через арматуру подачи пара в смешительные форсунки 14.

Соединение трубопроводов 12 и 20 осуществляется гибким металлическим патрубком 21 для обеспечения поступательного движения на величину подъема ВУ 6.

Процесс плавления льда паром происходит следующим образом. С помощью эхолотомера 9, глубиномера 10 и телевизионных средств 11, позволяющих определить толщину ледового покрова и неровности нижней кромки льда, подбирают место приледнения ПО 8. Подводная лодка 8 всплывает и упирается верхним срезом ограждения рубки в ледяной покров. Поднимается ВУ 6 с паровоздушным антенным устройством 5 до контакта с ледяной поверхностью.

Датчик с антенной 15 фиксируют подъем ВУ 6 на первоначальную высоту. Подается перегретый пар и начинается процесс плавления льда с одновременным плавным подъемом ВУ 6. Зная размеры паровоздушного антенного устройства и высоту подъема ВУ 6 в процессе плавления, представляется возможным с помощью специального вычислительного блока 23 рассчитать расплавленную массу льда и объем образовавшейся полости 4, в которую для вытеснения морской воды подается ВВД из баллона 22.

Более подробная схема систем главного и вспомогательного пара представлена на рис. 4.

Работоспособность системы основывается на законах преобразования внутренней энергии в кинетическую энергию струи пара из сопел 14 и далее в теплоту плавления льда до появления сквозного отверстия для ВУ 6.

В общем случае система уравнений представлена ниже (см. формулы (1)–(8) и диаграмму $h-S$ на рис. 5).

1. Уравнение сохранения энергии и теплового баланса для одного килограмма пара (1А) в ходе адиабатического процесса [8] имеет вид

$$h_0 + \frac{C_{10}^2}{2} = \text{const}, \quad (1)$$

$$h_{10} + \frac{C_{10}^2}{2} = h_{1A} + \frac{C_{1A}^2}{2}, \quad (1A)$$

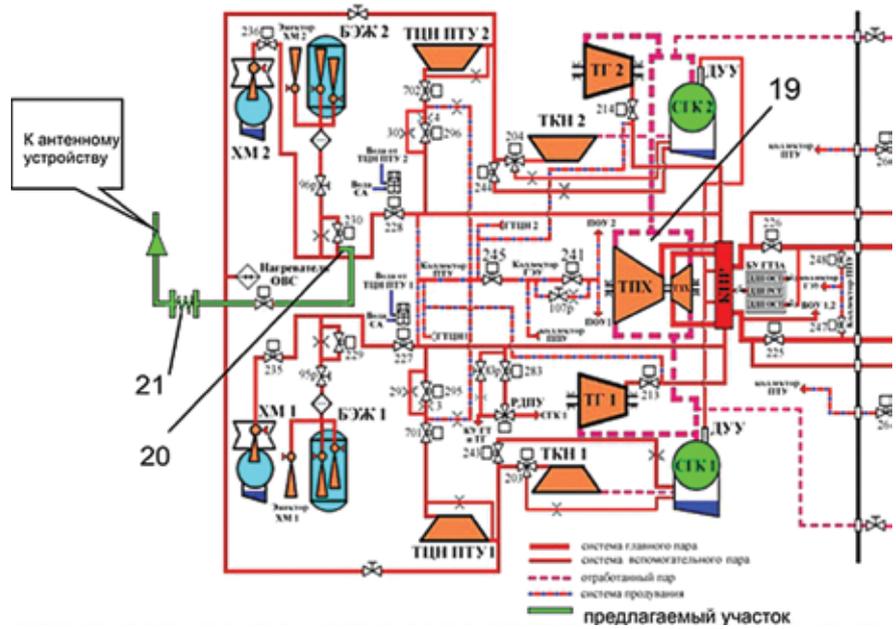


Рис. 4. Схема систем главного и вспомогательного пара АПЛ

ТПХ – турбина переднего хода; ДУУ – дроссель-увлажнительное устройство; СК – секция главного конденсатора; ТГ – турбогенератор; ТТ – турбина; БЭЖ – блок эжекторов; РДПУ – регулятор давления парогенераторной установки; КПР – коробка парораспределения

где h_0 – потенциальная энергия пара, кДж/кг; h_{10} – энтальпия пара, кДж/кг, снимается с диаграммы $h-S$, изображенной на рис. 5 [8]; C_{10} – скорость пара в сечении 1-0, м/с; C_{1A} – скорость пара в сечении 1А, м/с.

2. Кинетическая энергия струи пара на выходе из сопел, кДж/кг,

$$W = \frac{m_n C_{1A}^2}{2}, \quad (2)$$

где m_n – секундный расход пара, кг/с.

3. Скорость звука для начальных параметров пара, м/с,

$$a_0 = \sqrt{k p_0 v_0}, \quad (3)$$

где $k=1,3$ – показатель адиабаты для перегретого пара; p_0 – начальное давление на выходе из сопел для параметров атомной энергетической установки ($p_0 \approx 2,5$ МПа; $t_0 \approx 250^\circ\text{C}$); v_0 – удельный объем, м³/кг при начальных параметрах.

4. Масса расплавленного льда, кг,

$$G_n = \gamma \frac{\pi d^2 \bar{l}}{4}. \quad (4)$$

Здесь $\gamma=0,95 \times 10^3$ – удельная масса льда, кг/м³; $d=0,2$ м – диаметр головки выдвижного паровоздушного устройства; $\bar{l}=1,4$ м – средняя толщина ледового покрова, т.е. средняя высота подъема ВУ.

5. Тепловая мощность устройства, кВт,

$$N_4 = m_n (h_{10} - h_{1A}) \eta_y, \quad (5)$$

где η_y – эффективность устройства, равная 0,6; m_n – секундный расход пара, кг/с; h_{10} – энтальпия пара, кДж/кг, снимается с диаграммы $h-S$ (см. рис. 5).

6. Секундный расход пара m_n , кг/с,

$$m_n = \frac{F_c C_{1A}}{v_{1A}}, \quad (7)$$

где F_c – сечение сопла, м²; C_{1A} – скорость пара в сечении 1А, м/с; ρ_{1A} – удель-

ный объем в сечении 1А, м³/кг, снимается с диаграммы $h-S$.

7. Начальная энергия (энтальпия) пара $h_{10} = f(p_0, t_0)$. Зависит от параметров пара в паропроводе (точка A_0 на диаграмме состояния $h-S$).

Схема ПВАУ для производства расчетов приведена на рис. 6.

На рис. 6 показаны характерные сечения парового потока:

сечение I–I – входное суммарное сечение сопел C_{1A} (паровой тор с восемью соплами диаметром 20 мм); сечение IA–IA – сечение максимальной теоретической скорости $C_{1A} = \sqrt{2(h_{10} - h_{1A})}$, м/с; h_{10} – начальная энтальпия кДж/кг как функция начальных параметров пара перед соплами (p_0 – начальное давление, н/м²; t_0 – начальная температура, °C), снимаем с диаграммы $h-S$ состояния пара на рис. 5; h_{1A} – конечная энтальпия пара; сечение II–II – выходное сечение сопел в воздушном торе.

АЛГОРИТМ ПРИБЛИЖЕННЫХ РАСЧЕТОВ ДЛЯ ИДЕАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ

Для достижения идеальных условий необходимо принять следующие допущения:

- скорость истечения пара $C_{1A} = \text{const}$;
- толщина ледового покрова $\bar{l} = \text{const}$;
- температура льда в его толще $t_n = -30^\circ\text{C}$;
- удельный объем и влажность пара постоянны в конечной точке процесса $A_n^* = \text{const}$.

1. Тогда для начальных параметров пара $p_0 = 26 \cdot 10^5$ н/м²; $t_0 = 280^\circ\text{C}$, т.е. когда пар находится в паропроводе при всплытии, снимаем в точке A_0 начала истече-

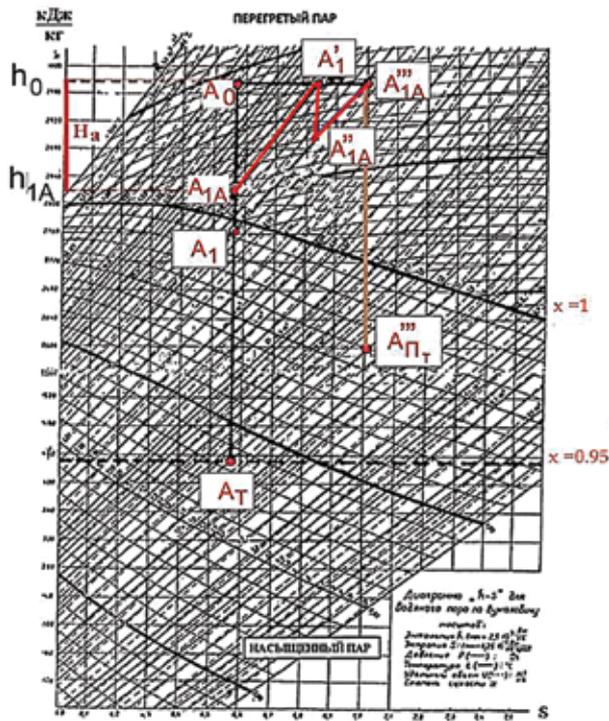


Рис. 5. Диаграмма h - S для определения расхода пара при плавлении сквозного отверстия в ледовом покрове

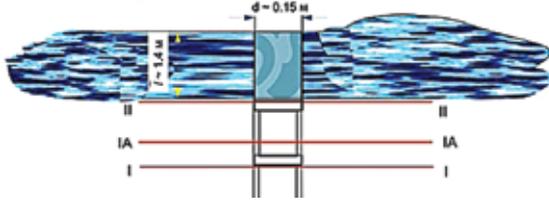


Рис. 6. Схема сечений парового потока (схема ПВАУ для проведения расчетов)

ния пара значение энтальпии (термодинамического потенциала):

$$h_0 = 2970 \text{ кДж/кг.}$$

2. Точка A_{1A} (A'_{1A}) – конечная точка расширения пара (сохраняется форма струй). В ней

$$h_{1A} = 2820 \text{ кДж/кг.}$$

В этом случае теоретический адиабатный теплоперепад при расширении пара будет

$$H_{ат} = h_0 - h_{1A} = 2970 - 2820 = 150 \text{ кДж/кг.}$$

3. Скорость пара в сечении A_{1A} (теоретическая) будет определяться выражением

$$C_{1A} = \sqrt{2H_{ат} \cdot 10^3} = \sqrt{2 \cdot 150 \cdot 10^3} \approx 548 \text{ м/с.}$$

4. Дросселирование и смешение пара с водой идет ступенчато до давления забортной воды (на глубине $\approx 1,4$ м), равного $\rho_{п} = 0,14 \cdot 10^5 \text{ н/м}^2$:

от точки $A_{1A} - A'_{1A}$ – дросселирование без смешения (перегретый пар); от точки $A'_{1A} - A''_{1A}$ – снижение давления перегретого пара в ходе адиабатического расширения; от точки $A''_{1A} - A'''_{1A}$ – процесс дросселирования и смешения перегретого пара; от точки $A'''_{1A} - A_{ПТ}$ – образование пароводяной смеси и разрыв струи влажного пара.

Точка $A_{ПТ}$ – конечная (теоретическая) точка процессов дросселирования и смешения воды и влажного пара. Это соответствует влажному пару, смешан-

ному с водой. Степень влажности составляет 0,95.

Процесс завершается образованием сквозного отверстия во льду.

Масса льда, которая подлежит плавлению, находится по формуле

$$G_{л} = \gamma \frac{\pi d^2 \bar{l}}{4} = \frac{950 \cdot 3,14 \cdot 0,015^2 \cdot 1,4}{4} \approx 42 \text{ кг.}$$

Здесь γ – удельная масса льда. 5. Общее количество тепла, необходимое для расплавления льда массой $G_{л}$ будет

$$Q_2 = \lambda G_{л} = 335 \cdot 42 = 14\,070 \text{ кДж.}$$

Здесь λ – теплотворная способность льда.

6. Суммарный секундный расход пара m_{Σ} для следующих условий: число паровых сопел $n = 4$ шт.; диаметр паровых сопел $d = 0,015$ м; толщина ледового покрова $\bar{l} = 1,4$ м; удельный объем пара в точке A'''_{1A} $v_{1A} = 0,35 \text{ м}^3/\text{кг}$ – будет

$$m_{\Sigma} = \frac{n F_c C_{1A}}{v_{1A}} = \frac{4 \cdot 3,14 \cdot 0,015^2}{4 \cdot 0,35} \cdot 548 = 3,4 \text{ кг/с.}$$

7. Тепловая мощность Q_1 , соответствующая расчетным энергетическим параметрам ($h_0, h_{ан}, C_{10}, \eta_p$) ПВАУ,

$$Q_1 = m_n \left[h_0 - \left(h_{ан} + \frac{C_{10}^2}{2} \right) \right] \eta_p = 3,4 \cdot 150 \cdot 0,69 = 359,9 \text{ кДж/с.}$$

8. Время плавления массы льда

$G_{л} = 42 \text{ кг}$ при заданных гидрологических параметрах

$$\tau_{пл} = \frac{Q_2}{Q_1} = \frac{14\,070}{359,9} = 39 \text{ с.}$$

9. Суммарный расход пара для работы ПВАУ

$$G_{п} = m_{п} \tau_{пл} = 3,4 \cdot 39 = 132,6 \text{ кг.}$$

Такой расход пара соответствует реальным условиям восполнения расхода пара (воды) в термодинамическом цикле ПТУ.

ВЫВОДЫ

1. Предложенное техническое устройство работоспособно и может быть использовано на ПЛ для создания специальных антенных устройств, позволяющих принимать спутниковые навигационные сигналы подо льдом. Наличие такого антенного устройства существенно расширяет районы действия ПЛ в высоких широтах и повышает доступность системы Глонасс благодаря возможности приема ее сигналов подо льдом в любой момент времени.

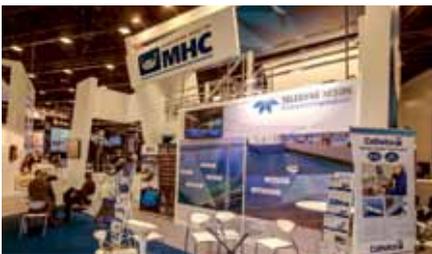
2. Предложенное антенное устройство повышает скрытность действий ПЛ, поскольку отсутствует необходимость ее всплытия в надводное положение в полынье (разводье) или проламывания льда корпусом для производства обсервации и коррекции выходных параметров навигационного комплекса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Катенин В.А. Особенности научных исследований и гидрографических работ в высоких широтах подо льдом // Арктика: экология и экономика. – 2013. – №2. – С. 104–109.
2. Катенин В.А. Способ подледного приема сигналов спутниковых навигационных систем. Патент № 2119703, 1998 г. Опубл. 27.09.1998 г. // ИБ.1998, № 27.
3. Катенин В.А., Дмитриев В.И. Навигационное обеспечение судовождения. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2006. – 374 с.
4. Алексеев С.П., Денесюк Е.А., Катенин В.А. Способ и устройство подледного приема спутниковых навигационных систем. Патент № 2295808, 2007 г. Опубл. 20.09.2007 г. // ИБ.1998, № 8.
5. Алексеев С.П., Денесюк Е.А., Катенин В.А. Способ и устройство подледного приема спутниковых навигационных систем на горизонте плавания. Патент № 2342746, 2008 г. Опубл. 27.12.2008 г. // ИБ.2008, №36.
6. Катенин В.А., Денесюк Е.А., Катенин А.В., Румянцев Ю.В., Солощев А.Н. Способ и устройство подледного приема сигналов спутниковых навигационных систем на горизонте плавания с использованием гидроакустического канала передачи навигационной информации. Патент № 2398316, 2010 г. Опубл. 27.08.2010 г. // ИБ.2010, 24.
7. Катенин В.А., Катенин А.В., Горбачев В.А. Устройство для подледного приема сигналов спутниковых навигационных систем. Патент № 2516822, 2014 г. // ИБ.– 2014.– №14.
8. Вуколович М.П., Новиков И.И. Техническая термодинамика. – М.: Энергоиздат, 1952. – 298 с. ■

В сентябре 2015 г. прошла XIII Международная выставка по гражданскому судостроению, судоходству, деятельности портов и освоению океана и шельфа «Нева-2015». Сегодня «Нева» по праву занимает одно из ведущих мест среди международных гражданских морских выставок и конференций и традиционно проходит под эгидой Морской Коллегии при Правительстве Российской Федерации, а также при поддержке Министерства промышленности и торговли РФ, Министерства транспорта России и других ведомств.

В этом году «Нева» проходила при участии около 700 фирм и предприятий более чем из 40 стран мира (включая 14 национальных павильонов и групповых экспозиций).



АО «Морские Навигационные Системы» – ровесник «Невы», ее постоянный участник, в этом году компания представила вниманию посетителей свой стенд площадью 144 м², на котором была продемонстрирована выпускаемая продукция и ее основных западных партнеров: «TELEDYNE RESON A/S», «Cathelco Ltd.», «Totem Plus Ltd.», «Switch Electric LLC», «Ocean Marine Systems Ltd.», «Soil Machine Dynamics Ltd.», «Parosha International B.V.».

В рамках программы конференций и семинаров 23 сентября на выставке «Нева-2015» состоялось заседание «круглого стола» на тему «Пути развития рыболовного флота Российской Федерации: импортозамещение и строительство рыбопромысловых и научно-исследовательских судов нового поколения для рыбохозяйственных и океанографических исследований в условиях антироссийских санкций». На нем представителем нашей компании был сделан доклад «Интегрированные мостиковые системы как системный подход к автоматизации процессов сбора, обработки, отображения информации в обеспечении задач навигации, связи, централизованного управления техническими средствами судна».

В рамках подготовки к выставке «НЕВА-2015» 8 сентября 2015 г. в акватории порта г. Приморск проводились демонстрационные испытания нового многолучевого эхолота T-20 производства компании «TELEDYNE RESON AS» – одного из ключевых партнеров нашей фирмы. Присутствовали представители ФГУП «Росморпорт» и УНиО МО РФ.

УЧАСТИЕ АО «МОРСКИЕ НАВИГАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ» В ВЫСТАВКЕ «НЕВА-2015»

*В.С. Кожневиков, коммерческий директор
АО «Морские Навигационные Системы»,
контакт. тел. (812) 320 3840*

Сотрудники АО «МНС» продемонстрировали возможности прибора, которые получили высокую оценку приглашенных специалистов.

В АО «МНС» была разработана и представлена на стенде концепция новой интегрированной мостиковой системы, которая получила одобрительные отзывы, в том числе и финских судостроителей. При создании этой системы использовались технические решения, воплощенные в готовых изделиях производства АО «МНС», таких как ЭНИС «Аляска-К» (сертификат Российского морского регистра судоходства получен 30.01.2015); аппаратура безбатарейной телефонной связи с режимом громкоговорящей связи «БАЗИС» (сертификат РМРС получен 18.09.2015); судовая метеорологическая станция «МУС-СОН» (сертификат РМ РС получен 18.09.2015); универсальный цифровой репитер «MDR-209» (сертификат РМРС получен 18.09.2015); цифровой репитер «MDR-109» (сертификат РМРС получен 18.09.2015); командное трансляционное устройство (с функцией системы авральной сигнализации) система двусторонней громкоговорящей связи «ОЛИМП» (сертификат РМРС получен 18.09.2015); цифровая интегрированная система двусторонней громкоговорящей связи «БИНОМ» (сертификат РМРС получен 18.09.2015), система приема внешних звуковых сигналов «КАМЕРТОН» (сертификат РМРС получен 18.09.2015).



Также на выставке была представлена новинка от АО «МНС» – система видеонаблюдения «МНС-АРГОС», на которую в мае 2015 г. также был получен сертификат РМРС. В результате выигранного конкурса АО «МНС» получило первый заказ на эту систему от ООО «Газпром флот». Система была создана по программе импортозамещения. Заинтересованность в данном издании проявили такие организации, как НК «Роснефть», ПАО «Газпром», ПАО

«Лукойл», а также судостроительные заводы, верфи и проектные организации.

На нашем стенде были представлены и информационные материалы, знакомящие с высокотехнологичным оборудованием для оснащения кабелюкладочных и трубокладочных судов производства английской фирмы «Soil Machine Dynamics Ltd.», аналогов которому нет не только на территории Российской Федерации, но и в мире.

Также специалисты проявили большой интерес к оборудованию нового партнера АО «МНС» – голландской фирмы «Parosha International B.V.», специализирующейся на разработке и производстве дверей и люков судовых отсеков и крышек шахт для телеуправляемых подводных аппаратов и водозащитного оборудования. Уникальность оборудования заключается в интересных технологических и инженерных решениях. Руководство фирмы и инженерный состав готовы подстраивать выпуск своей продукции под требования российского заказчика.



Стенд АО «МНС» получил высокую оценку заказчиков и проектантов судостроительной и нефтегазовой отраслей.

Генеральный директор АО «МНС» К.А. Смирнов рассказал об участии компании в XIII Международной выставке и конференции «Нева-2015»: «Деловое общение на мероприятиях такого высокого уровня позволяет получить массу полезного опыта, новой ценной информации и, конечно, наладить необходимые профессиональные контакты».

Наши специалисты нацелены на поиск новых партнеров и клиентов среди российских и зарубежных компаний, совместно с которыми нам удастся впоследствии реализовать множество интересных проектов. Именно поэтому АО «МНС» посещает наиболее масштабные отраслевые мероприятия не только России, но и других стран, а в крупнейших – принимает участие в качестве экспонента. ■

Один из ведущих форумов мировой морской индустрии – Международная судостроительная выставка «NorShipping» – в этом году стала юбилейной и отметила свое 50-летие проведением со 2 по 5 июня 2015 г. в пригороде Осло г. Лиллестрём (Норвегия) очередной 25-й выставки.

Как отмечалось [1], эта ставшая весьма популярной площадка для общения судовладельцев и судостроителей всего мира начиналась как локальное национальное мероприятие, но с 1971 г. встречи расширились практически до второго в мире по значимости мероприятия в сфере морской индустрии. Хотя североευропейская специфика и в этом году, несомненно, проявлялась и отличала этот форум от классической встречи судостроителей на SMM в Гамбурге [2], несколько сужая круг участников.

Столица Норвегии многие годы воспринималась как лидирующий мировой морской центр, но в 2012 г. г. Осло уступил это место Сингапуру, значимость пяти столиц как ведущих центров морской активности сейчас выглядит так: Сингапур, Осло, Лондон, Гамбург, Гонконг [3]. Также специалисты называют в числе экономических центров мирового судостроения до 15 городов, среди которых – Дубай, Бусан, Мумбаи (бывш. Бомбей) и Шанхай, а их взаимосвязь и соперничество в значительной степени определяют прогресс в этой важной сфере человеческой деятельности.

В «NorShipping–2015», а также в сопутствующих мероприятиях – конференциях и семинарах, которых насчитывалось 43, приняли участие более 32 тыс. специалистов отрасли, экспонентов и посетителей. На общей выставочной площади в 45 тыс. м² было представлено 20 национальных павильонов и 972 компании (рис. 1, 2).



Рис. 1. Судостроительная выставка «NorShipping–2015»

МИРОВОЕ СУДОХОДСТВО И МОРСКАЯ ТЕХНИКА

ЧАСТЬ 1.

СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ (ПО ИТОГАМ «NORSHIPPING-2015»)

*Е.А. Горин, гл. науч. сотрудник ИПРЭ РАН,
К.С. Чернов, представитель Hamburg Messe und Congress GmbH
в Российской Федерации,
gorin_ea@mail.ru constanta-expo@inbox.ru*



Рис. 2. Норвежский павильон на выставке «NorShipping–2015»

Девиз выставки – 50 Years Looking Forward. Среди мероприятий – Ocean Industry Podium с обсуждением проблем финансирования морской отрасли, законодательства и страхования, технологий и инноваций, а также новые в этом году конференции: Brasil@Nor-Shipping, Women@Nor-Shipping и Young@Nor-Shipping.

Руководители и специалисты отрасли провели полезные дискуссии по актуальным вопросам судоходства и судостроения, обсудили геополитические проблемы и сценарии развития морской индустрии [4].

По данным European Community Shipowners' Association (ECSA) морская деятельность в Европе дает значительный вклад в ВВП и обеспечивает работой 2,2 млн человек, европейские судовладельцы контролируют 40% мирового торгового тоннажа. Причем с начала 2005 г. до начала 2014 г. увеличение контролируемого европейскими судовладельцами флота составило более 74% в тоннаже и 72% – в дедейте.

В отношении морского права министр торговли и промышленности Норвегии М. Мæland указала, что «морская индустрия интернациональна и нуждается в единых нормах, установление которых требует времени и настойчивости».

Падение цен на нефть в текущем году, осложнение геополитической обстановки и неопределенность в пер-

спективах роста мировой экономики существенно ухудшили обстановку в морской отрасли, которая, как известно, весьма инерционна. В этой связи оказался утерян оптимизм, высказанный ранее в «Norwegian Shipowners' Outlook Report for 2015». Рост товарооборота отрасли с 6% в 2014 г. снизится до 2,3% – в 2015 г. Падение затронет все сегменты, кроме оффшорного сервиса, для которого рост составит 4,2% – самый низкий показатель с 2002 г. Одновременно для глубоководной тематики прогнозируется рост товарооборота в 5,1% (в 2014 г. был 3,2%), для каботажного флота – 2,5% (в 2014 г. был 5,5%), для производителей судового оборудования – 9,1%. В целом ожидается снижение на 10% инвестиций, направляемых в 2015 г. на обслуживание и развитие норвежского континентального шельфа (в 2014 г. был рост 2,2%) [5].

Норвежские судостроители продолжают демонстрировать новые интересные и перспективные проекты, использующие инновационные идеи, позволяющие сделать очередной шаг в технологическом развитии и представляющие значительный интерес для специалистов. Традиционная церемония вручения приза «Судно года» (Ship of the Year) проводится уже в течение многих лет на выставке NorShipping по инициативе ведущего норвежского морского издания «Skipsrevyen». В табл. 1 приведены данные о победителях конкурса Ship of the Year за последние годы.

Итак, в 2015 г. победителем этого престижного конкурса стало судно «Skandi Africa» (рис. 3), предназначенное для монтажа и обслуживания морских платформ, что весьма характерно для списка призеров этого конкурсного мероприятия. Оно было достроено на норвежской верфи «Vard Søviknes» (корпус судна был изготовлен на румынской верфи «Tulcea Yard») и в марте 2015 г. передано компании «DOF Subsea Rederi AS». После установки кранового оборудования и системы укладки труб судно будет передано в чартер компании «Technip». В целом на март 2015 г. группа

«DOF Subsea» оперировала 22 судами (кроме того, пять – в чартере и четыре – в стадии строительства), являясь лидером в подводных работах практически во всех оффшорных регионах добычи углеводородного сырья.



Рис. 3. Судно для обслуживания морских платформ «Skandi Africa», удостоенное звания «Ship of the Year – 2015»

Судно длиной 160,9 м и шириной 32,0 м отражает современные подходы к проектированию, в нем реализованы наиболее интересные технические достижения, включая высокие экологические стандарты. Дедвейт судна – 13,4 тыс. т, осадка – 9,5 м, на грузовой палубе площадью 2700 м² можно разместить до 3500 т грузов. Работы на шельфовых объектах возможны до глубин 3000 м, два робота-манипулятора рассчитаны на рабочие глубины до 4000 м. Скорость в 17,2 уз обеспечивается двумя основными двигателями мощностью 2200 кВт каждый и двумя маневровыми двигателями мощностью 2800 кВт каждый. Каюты рассчитаны на 140 человек экипажа и специалистов.

Относительно верфи-строителя следует отметить, что «Vard Group» – один из глобальных игроков на рынке проектирования и строительства оффшорных и специальных судов в сфере добычи нефти и газа. На верфях, входящих в группу, только в первом квартале 2015 г. были сданы заказчиком 5 судов, а «портфель» заказов составлял 32 судна, из которых 18 – по собственным проектам на общую сумму 15,6 млрд норвежских крон [6].

Что касается рынка мирового судостроения в целом, то напомним о стабильном снижении общего объема заказа судов в последние годы, хотя заметны определенные колебания. На рис. 4 и 5 приведена динамика мирового судостроительного рынка, и здесь стоит в очередной раз напомнить о высокой «инерционности» отрасли.

Согласно данным «Clarkson Research Services» и других независимых источников, в 2014 г. заказчикам были сданы более 1844 судна водоизмещением 35,1 млн. брт. Лидерство принадлежит судостроителям Китая, построившим 693 судов общим водоизмещением 11,7 брт.

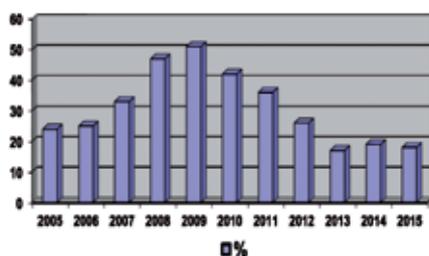


Рис. 4. Динамика изменения объема портфеля заказов на конец года по отношению к дедвейту действующего торгового флота на тот же период, %

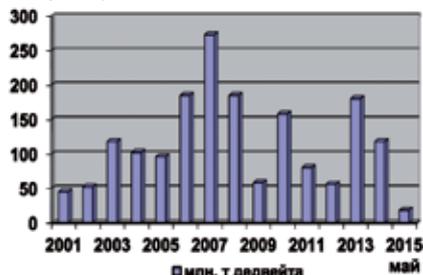


Рис. 5. Динамика изменения объема подписанных контрактов на строительство судов мирового торгового флота на конец года, млн. т дедвейта

Что касается новых заказов, оформляемых в текущем году и сформированного в первой половине 2015 г. портфеля заказов, то такие данные приведены в табл. 4. На 1 мая 2015 г. портфель заказов составил 5091 судно общим дедвейтом 305 млн т. Кстати, два года назад по итогам «NorShipping–2013»,

мировой портфель заказов оценивался в немногим более 4 тыс. судов общим дедвейтом 240 млн. т, а по итогам «NorShipping–2011» – в 7 тыс. единиц общим дедвейтом более 400 млн. т.

В первом квартале 2015 г. было сообщено о заказе 211 судов общим дедвейтом 16,6 млн. т, и это стало снижением в 67% по дедвейту, что особенно коснулось сухогрузных судов. В секторе контейнеровозов сохранялась относительная стабильность, было заказано 30 таких судов общим дедвейтом 4,2 млн. т, в том числе 4 контейнеровоза 20 тыс. TEU на южнокорейской верфи «Samsung Heavy Industries» со сдачей в 2017 г. и два аналогичных судна на «Imabari Shipbuilding», а также сообщено о заказе 7 контейнеровозов 3600 TEU с ледостойкими корпусами на верфи «COSCO Zhoushan».

Несмотря на накопленный избыток мощностей, сектор судостроения остается значительной долей мировой промышленности. В табл. 5 и 6 представлены динамика количества и тоннажа основных типов эксплуатируемых судов мирового коммерческого флота, а также основные страны-заказчики новых судов.

На мировом рынке строительства гражданских судов лидируют южнокорейские верфи: «Daewoo Shipbuilding» (портфель заказов – 129 судов тоннажем 8,2 млн. комп. рег. т), «Samsung Heavy Industries» (83 судна, 5,0 млн. комп. рег. т), «Hyundai Heavy Industries»

Таблица 1
Норвежские суда, удостоенные звания Ship of the Year в XXI в.

Год	Тип судна	Название судна	Верфь-строитель
2000	Паром с двигательной установкой на сжиженном газе	«Glutra»	«Langsten AS»
2001	Круизный лайнер	«The World»	«Fosen Mekaniske» «Verksteder AS»
2002	Корвет	«Svalbard»	«Langsten AS»
2003	Исследовательское рыбопромысловое судно	«G.O. Sars»	«Flekkefjord Slipp & Maskinfabrikk AS»
2004	Судно обеспечения буровых платформ	«Viking «Avant»	«Aker Yard AS, Langsten»
2005	Лучшее судно 2005 г. не было выбрано		
2006	Судно-буксировщик с системой якорной стабилизации для обслуживания оффшорных терминалов	«Bourbon Orca»	«Ulstein Verft AS»
2007	Судно для монтажа и ремонта морских платформ	«Normand Seven»	«Ulstein Verft AS»
2008	Судно для обслуживания морских платформ	«Island Wellserver»	«Aker Yard ASA», «Langsten»
2009	Многофункциональное судно для обслуживания морских платформ и прокладки кабелей	«Far Samson»	«STX Norway Offshore AS», Langsten»
2010	Судно для монтажа и ремонта морских платформ	«Skandi Aker»	«STX Norway Offshore AS», «Søviknes»
2011	Лучшее судно 2011 г. не было выбрано		
2012	Судно для обслуживания морских платформ	«Far Solitaire»	«STX OSV Langsten»
2013	Судно для обслуживания монтажа и ремонта морских платформ	«Seven Viking»	«Ulstein Verft AS»
2014	Паром с полностью электрической двигательной установкой	«Ampere»	«Fjellstrand AS»
2015	Судно для обслуживания морских платформ	«Skandi Africa»	«Vard Søviknes»

Количество и тоннаж сданных гражданских судов в 2014 г. по основным судостроительным странам

Страна	Кол-во	Млн. рег. т	Млн. брт	Доля, %	Млн. т дедвейта	Млрд. долл. США	Прогноз динамики 2015/2014, %
ВСЕГО, в том числе:	1844	63,8	35,1	100	91,3	92,6	+10
Китай	693	22,9	11,7	33	36,5	24,6	0
Япония	384	13,4	6,8	19	22,7	12,2	+12
Южная Корея	314	22,1	12,1	34	26,1	36,7	+15
Филиппины	39	1,9	1,0	3	2,9	1,6	-2
Вьетнам	38	0,3	0,3	1	0,5	0,8	+15
Сингапур	34	0,2	0,1	0,3	0,1	0,5	-80
Индия	18	0,1	0,2	0,5	0,1	0,8	-70
Остальные страны Юго-Восточной Азии	99	0,7	0,6	2	0,7	1,7	+30
Норвегия	37	0,2	0,4	1	0,2	2,8	-10
Нидерланды	29	0,1	0,2	0,5	0,1	1,4	+5
Турция	18	0,1	0,1	0,3	0,1	0,2	-30
Германия	11	0,5	0,5	2	0,1	2,5	-50
Италия	6	0,3	0,2	0,5	0,1	1,6	-30
Остальные европейские страны	45	0,7	0,6	2	0,4	2,3	+10
США	56	0,2	0,3	1	0,3	2,0	+50
Бразилия	17	0,2	0,2	0,5	0,4	0,7	-30

Таблица 3

Количество и тоннаж сданных в 2014 г. основных типов гражданских судов

Тип судна	Кол-во	Доля, %	Млн. рег. т	Млн. брт	Млн. т дедвейта	Прогноз динамики 2015/2014, %
ВСЕГО, в том числе:	1844	100	60,8	35,1	91,3	+10
танкеры	248	13	9,4	5,1	17,0	+5
газовозы	86	5	4,4	3,5	3,6	+100
балкеры	610	33	26,7	11,6	48,2	+10
контейнеровозы	202	11	16,2	7,8	17,5	0
круизные суда и паромы	41	2	0,9	1,0	0,1	+80
оффшорные суда	500	27	3,2	4,0	2,9	-10
остальные	157	8	2,9	2,1	2,1	+5

Таблица 4

«Портфель» заказов основных судостроительных стран (по состоянию на апрель 2015 г.)

Страна	Количество судов, ед.	В том числе:					Суммарный тоннаж, млн. рег. т	Суммарный дедвейт, млн. т	Общая стоимость заказов, млрд. долл.
		танкеры	балкеры	газовозы	контейнеровозы	оффшорные суда			
ВСЕГО	5091	835	1843	389	422	1041	206,7	304,8	303,5
Всего в европейских странах, в том числе:	373	36	11	3	5	155	7,9	5,8	38,4
Германия	26	0	0	9	0	4	1,5	0,2	8,8
Италия	18	1	0	0	0	1	1,2	0,1	7,5
Нидерланды	81	0	0	3	0	49	0,4	0,3	2,9
Норвегия	53	0	0	0	0	51	0,3	0,3	4,3
Турция	49	5	1	0	0	13	0,2	0,3	1,1
Финляндия	10	0	0	0	0	4	0,4	0,1	1,7
Хорватия	24	7	7	0	0	2	0,6	0,7	1,1
Всего в странах Юго-Восточной Азии, в том числе:	4461	742	1829	378	410	723	192,8	290,7	232,9
Китай	2367	205	1141	76	215	503	85,4	139,4	86,1
Южная Корея	842	356	68	230	112	46	61,4	82,3	96,8
Япония	930	148	582	64	40	20	38,7	59,2	37,3
Другие страны, в том числе:	257	57	3	8	7	163	6,0	8,2	32,1
Бразилия	148	40	1	8	3	92	4,9	6,7	27,1
США	93	14	0	0	4	66	1,0	1,2	4,4

Корпорация «Daewoo Shipbuilding & Marine Engineering» ориентируется на строительство LNG танкеров, а при общем объеме заказов корпорации в 14,9 млрд. долл. оффшорный сектор

занимает около 18%.

Что касается отечественного судостроения, то в последние годы оно в этой выставке представлено слабо. Специалисты толпились на масштабном стенде

(100 судов; 4,9 млн. комп. рег. т), «Hyundai Samho» (82 судна; 3,5 млн. комп. рег. т), «Hyundai Mipo» (149 судов; 3,4 млн. комп. рег. т), а также китайские: «Hudong Zhonghua» (54 судна; 2,6 млн. комп. рег. т), «Shanghai Waigaoqiao» (68 судов; 2,3 млн. комп. рег. т), «Jiangsu New YZJ» (98 судна; 2,2 млн. комп. рег. т), «Dalian Shipbuilding» (43 судов; 1,7 млн. комп. рег. т) и японские: «Imabari Shipbuilding» (40 судна; 1,6 млн. комп. рег. т), «Oshima Shipbuilding» (75 судов; 1,3 млн. комп. рег. т).

Несмотря на ограниченное участие в «NorShipping-2015» верфей Юго-Восточной Азии, представленная на стендах и в дискуссиях информация вновь продемонстрировала значительную роль этого региона в мировом судостроительном процессе. Заказы на сложные морские комплексы в основном размещаются в Японии, Южной Корее и Сингапуре, а на большегрузные суда – в Китае, Вьетнаме, на Филиппинах. В табл. 7 представлена динамика объемов завершеного строительства в суммарном тоннаже по ведущим судостроительным площадкам.

Южно-корейская корпорация «Hyundai Heavy Industries», ориентируясь в 2015 г. на объем заказов 23 млрд. долл. (снижение почти 22%), провела реструктуризацию оказавшегося проблемным в 2014 г. подразделения «Industrial Plant & Engineering Division», объединив его с «Offshore & Engineering Division», что позволит упростить технологические циклы и снизить издержки.

Значительно усиливает свое присутствие в оффшорном секторе и корпорация «Samsung Heavy Industries», считая необходимым сохранить в 2015 г. объем заказов 15 млрд. долл. (на уровне 2014 г.). На рис. 6 показано первое в мировой практике судно «VLEC» – very large ethane carrier. Заказ на строительство шести таких судов, предназначенных для транспортировки 88 тыс. м³ полученного из природного или сланцевого газа, сжиженного или сжатого этанола, стоимостью 120 млн. долл. каждый получила корпорация в июле 2014 г. Существенно, что стоимость такого судна на 30% выше аналогичного по вместимости нефтяного танкера.



Рис. 6. Первое в мировой практике судно VLEC, строящееся на верфи «Samsung Heavy Industries»

Динамика и прогноз изменения количества и тоннажа основных типов эксплуатируемых судов мирового гражданского флота

	2013	2014	2015	2016
Танкеры, кол-во/дедвейт, млн. т	5835/501,5	5917/508,7	6015/521,5	6130/549,6
Динамика в %, кол-во/дедвейт, млн. т	+1,3/+1,7	+1,4/+1,4	+1,5/+2,6	+1,9/+5,3
Балкеры, кол-во/дедвейт, млн. т	10018/724,1	10315/756,0	10610/785,6	11020/820,3
Динамика в %, кол-во/дедвейт, млн. т	+3,7/+5,7	+3,0/+4,4	+2,9.../+3,9	+3,9/+4,4
Контейнеровозы, кол-во/млн. TEU	5077/17,1	5106/18,2	5175/19,4	5254/20,3
Динамика в %, кол-во/млн. TEU	-0,1/+5,4	+0,6/+6,5	+1,3/+6,6	+1,5/+4,3
Газовозы, кол-во/млн. м ³	1639/76,5	1692/82,6	1855/90,7	1980/100,5
Динамика в %, кол-во/млн. м ³	+3,0/+8,9	+3,2/+8,0	+9,6/+21,9	+6,7/+10,8
Оффшорные суда, кол-во	9360	9801	10280	10500
Динамика в %, кол-во	+4,3	+4,7	+4,9	+2,1
Всего мировой флот, кол-во /млн. рег. т	87634/1133	88990/1174	90150/1220	91400/1272
Динамика в %, кол-во/млн. рег. т	+1,7/+3,7	+1,5/+3,6	+1,3/+3,9	+1,4/+4,3

Основные страны-заказчики новых судов и динамика таких заказов

Страна	2010		2011		2012		2013		2014		2015	
	Кол-во судов	млрд. долл.										
Страны европейского региона												
Греция	834	46,8	619	36,3	446	28,8	575	30,3	552	30,3	515	28,6
Германия	755	36,2	476	23,9	216	12,2	247	11,1	283	9,5	250	7,8
Норвегия	347	25,4	305	24,3	300	33,1	367	37,2	339	31,3	301	27,1
Нидерланды	252	9,1	189	8,0	137	7,4	120	6,9	111	7,0	111	6,6
Страны азиатского региона												
Китай	1203	41,7	939	32,8	709	24,6	681	27,7	654	29,3	626	28,1
Япония	950	46,9	726	33,5	592	26,3	487	21,2	341	19,3	312	20,8
Сингапур	329	13,4	318	14,5	316	11,6	376	14,4	424	17,4	388	16,2
Южная Корея	336	17,9	235	12,1	146	7,7	185	8,1	127	5,4	113	6,2
Страны американского континента												
США	193	20,0	192	28,6	230	36,5	271	37,8	269	35,7	246	33,6
Бразилия	126	18,1	141	19,2	146	23,1	141	23,0	138	22,2	135	22,0

Динамика объемов завершеного строительства судов

Год	Весь мир, в т.ч.		Китай		Южная Корея		Япония		Европа	
	млн.брт	%	млн.брт	%	млн.брт	%	млн.брт	%	млн.брт	%
2002	20,3	100	1,7	8,4	6,2	30,5	6,2	30,5	5,0	24,6
2003	21,5		2,4	11,2	6,8	31,6	6,4	29,8	4,6	21,4
2004	23,9		2,8	11,7	7,9	33,1	7,6	31,8	4,4	18,4
2005	26,8		3,7	13,8	9,4	35,1	8,1	30,2	4,2	15,7
2006	32,1		4,9	15,3	11,0	34,3	9,3	29,0	5,1	15,9
2007	35,0		6,4	18,3	12,0	34,3	8,9	25,4	5,9	16,9
2008	42,5		9,8	23,1	15,7	36,9	10,0	23,5	5,0	11,8
2009	45,7		13,6	29,8	15,3	33,5	9,6	21,0	4,9	10,7
2010	53,0		19,7	37,2	16,0	30,2	9,8	18,5	4,7	8,9
2011	51,8		20,8	40,2	16,2	31,3	9,1	17,6	2,9	5,6
2012	47,5		20,2	42,5	13,6	28,6	8,2	17,3	2,5	5,3
2013	37,3		13,5	36,2	12,5	33,5	6,8	18,2	2,2	5,9
2014	35,1		11,6	33,1	12,1	34,6	6,6	18,9	2,0	5,7

транснациональной компании «Транзас» (рис. 7), штаб-квартира которой находится в Санкт-Петербурге. Участвовали в выставке: Крыловский государственный

научный центр, Российский морской регистр судоходства, постоянный участник этой выставки с 1995 г., ОАО «Звездочка» и ООО «К-Марин»,

Таблица 5

а также калининградский судоремонтный завод «Преголь», о котором мы писали ранее [1].



Рис. 7. Стенд компании «Транзас» на выставке «NorShipping-2015»

Отметим, что, несмотря на непростую мировую политическую и экономическую обстановку, атмосфера выставки была оптимистичной, а стенды демонстрировали постоянный поиск новых технических решений. Более того, в панельной дискуссии на Nor-Shipping flagship conference участники, сохраняя уверенность в неизменно важной роли отрасли и ее поступательном развитии, заявили, что «what's bad for the world is good for shipping» [7].

ЛИТЕРАТУРА

1. Горин Е.А., Чернов К.С. Морские технологии на «NorShipping-2013»: достижения и проблемы // Морской вестник. – 2013. – № 3 (47). – С. 33–36.
2. Горин Е.А., Чернов К.С. Мировое судостроение в 2014 году – стабильность вопреки политическим и экономическим вызовам // Морской вестник. – 2015. – № 1 (53). – С. 109–111.
3. E. Jakobsen. New study to rank maritime hubs // Norwegian Solutions. – 2015. – May. – P.12.
4. What's Next for Shipping? // TradeWinds. – 2015. – June 03 (NorShipping Daily News). – P.6.
5. Challenging waters for shipowners // Shop & Offshore. – 2015. – № 4. – P.82.
6. M/V «Skandi Africa» – Subsea Service/Construction Vessel delivered from VARD Söviknes // Skipsrevyen. – 2015. – № 4. – P.2–16.
7. Pierce A. Prominent players detail what is in store for shipping in a world of conflict // TradeWinds. – 2015. – June 03 (NorShipping Daily News). – P.2. ■

Анализируя научные исследования, посвященные проблеме эффективного управления на производстве, проведенные за последние 20 лет как в нашей стране, так и за рубежом, можно прийти к выводу, что в центр всех современных концепций образования и организации производства ставится человек. Развитие и широкое распространение концепции управления человеческими ресурсами превращается в важнейшую современную тенденцию, которая находится в теснейшей взаимосвязи и взаимозависимости с другими основными направлениями эволюции менеджмента – глобализацией экономики и управления; переходом от традиционных принципов управления – «стабильность, экономичность, контроль» к новым – «партнерство, гуманизация, экологичность» [1].

Эффективные предприятия овладели значительным арсеналом инструментов и методов работы с персоналом, балансируя между технократическим (техноцентристским) и гуманистическим (или антропоцентристским) подходами. Несмотря на огромный потенциал и привлекательность технократического подхода, опирающегося на роботизацию, компьютеризацию, создание заводов-автоматов и предполагающего вообще вытеснение со временем с производства основной рабочей силы, он в полной мере не оправдал себя. В этой связи произошло последовательное смещение акцентов на целостный подход, в основе которого лежит долговременное развитие интеллектуального и трудового потенциала работника.

Компании, верфи, заводы и фабрики управляются не системами и технологиями, а человеком, опирающимся на свои умственные способности, свой внутренний нравственный стержень, исходя из сформировавшихся инстинктов и эмоций. Конечно, такая личность должна обладать надлежащими техническими навыками и разбираться во всевозможных вспомогательных системах, гуманитарных вопросах, и все это быстро становится неотъемлемым свойством специалиста [2].

Как подготовить менеджера, который будет способен действовать и адекватно реагировать на внутренние и внешние импульсы, возникающие в окружающей его деловой среде? По нашему глубокому убеждению, для этого необходимо формировать и развивать специалистов, а не только технически готовить их. Такое формирование должно происходить через обучение, передачу опыта, переподготовку и повышение квалификации, наблюдение, анализ ситуаций. И процесс этот должен идти на протяжении всей жизни человека. Но чтобы стимулировать такой процесс или утверждать его полезность, необходимо

ЕСТЕСТВЕННОНАУЧНАЯ И ГУМАНИТАРНАЯ СРЕДА ВУЗА КАК ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ ОСНОВА ФОРМИРОВАНИЯ СПЕЦИАЛИСТА БУДУЩЕГО (НА ПРИМЕРЕ СПБГМУ)

*А. В. Солдатов, д-р философ. наук, проф., заслуженный деятель науки РФ,
М. М. Шевченко, д-р истор. наук, проф.,
В. И. Медведев, д-р философ. наук, проф., СПбГМУ,
контакт. тел. (812) 757 2022, 757 1700*

поставить для себя и ответить на следующие вопросы: для какого делового мира, какого производства мы должны готовить менеджеров в XXI в., а также какими фундаментальными профессиональными и личностными качествами должен обладать современный специалист, будущий руководитель производства? Ведь менеджмент есть способ управления людьми. Эффективная организационно-управленческая деятельность есть объединение, сплочение и мобилизация людей для достижения общей положительной цели [3].

В связи с данным обстоятельством необходимо учитывать и такую проблему, как «нравственность и управление». Дело в том, что во многих публикациях делается акцент на механистический подход, который, якобы, срабатывает в любых условиях производственной деятельности. В реальности данный подход без изучения влияния человеческого фактора приводит к серьезным производственным издержкам. Ведь менеджер – не столько технолог, сколько социально и нравственно развитая личность, подготовленная к управлению социальными процессами в обществе, на производстве в определенных исторических условиях [4]. Высокоподготовленным специалистам под силу объективно оценить социальные процессы, протекающие в нашем обществе и, опираясь на деятельностно-ценностный подход в своей производственной практике, достичь высоких конечных результатов.

Поэтому, анализируя новую философию образования XXI в., мы должны исходить не только из изменившихся социально-политических и экономических условий в нашем государстве, но и учитывать мировые тенденции в развитии образования. Основные позиции из них следующие: система образования должна быть ориентирована на удовлетворение основных прав и свобод граждан; служить средством эффективной социальной адаптации и средством социальной защиты в новой ситуации; формировать и удовлетворять образовательные потребности граждан. Более того, система образования долж-

на предоставлять необходимые условия для гражданского воспитания личности и быть включена в мировой общественный процесс. Подчеркнем – особое место в формировании будущего руководителя отводится гуманитарным и социально-экономическим дисциплинам. Это предполагает подготовку личности высокого уровня, гражданина, а на данном фундаменте – уже и специалиста-руководителя [5].

Острота вопроса о месте гуманитарных дисциплин в подготовке специалистов негуманитарного профиля в наши дни в России очевидна. Усугубляется данная проблема тяжелым наследием в развитии отечественной высшей школы, когда высвобождался в учебных планах в связи с изменением политической ситуации целый блок общественных дисциплин. Однако было бы крайне неразумно и в нынешней ситуации сокращать гуманитарную и социально-экономическую часть подготовки специалистов естественнонаучного и технического профилей «до основания», а затем сокрушаться от неправильности содеянного. Понятно, что переделывать что-то много труднее, чем создавать заново, в частности, переходя от идеологизации образования к его гуманитаризации.

Заметим, что в странах Запада, начиная с 60-х гг. прошлого столетия, также высветилась данная проблема (со своими особенностями). Внимание многих ученых в этот период занимал вопрос о пагубных последствиях чисто технократического подхода к естественнонаучному и техническому образованию в высшей школе. Отметим также, что все наиболее значительные технические и естественнонаучные открытия делались людьми, лишенными узкого технократического мышления. Но присутствует, к сожалению, и другая, отрицательная, тенденция. По мере проникновения в жизнь общества сложных технологий, развития автоматизации и компьютеризации формируется иллюзия устарелости и ненужности гуманитарного знания для жизни в современном мире, а тем более для будущего.

Следует подчеркнуть, что в настоящее время все более ощутимым фактором

в техническом вузе становится дефицит гуманитарного и социально-экономического образования. Связанные с этим издержки свидетельствуют о том, что все еще не преодолен разрыв между гуманитарной и научно-технической подготовкой студентов. Вместе с тем становится все более очевидным, что студенты технических вузов должны получать не только фундаментальные и прикладные естественно-технические знания, но также знания в области философии, социологии, истории, культурологии и психологии управления, морали. Умение работать с людьми, эффективное управление производством, способность разрешать конфликтные ситуации, создавать комфортную психологическую атмосферу в коллективе и решать проблемные задачи, отстаивать, защищать и внедрять свои разработки в профессиональной деятельности, сформированность гражданской позиции и мировоззрения зачастую зависят от качества гуманитарного образования [6].

Техническими вузами страны, в том числе и Санкт-Петербургским государственным морским техническим университетом, накоплен положительный опыт организации гуманитарной и социально-экономической подготовки в ходе учебно-воспитательного процесса. Методологическим фундаментом служат концепции гуманитарного образования Р. Бернса, А. Комбса, А. Маслоу и других, которые по-новому рассматривают цель образования, а именно как самоактуализацию и самореализацию личности. Исходя из этих концепций, гуманитарная подготовка специалиста предусматривает двухаспектное целеполагание: во-первых, общепрофессиональное развитие специалиста, его общей и профессиональной культуры, во-вторых, его личностное развитие. Отметим, что гуманизация образования достигается через гуманитарный характер преподавания любой дисциплины. Речь идет об ориентации образовательного процесса на личность, ее интересы, запросы и всестороннее самосовершенствование. Свою задачу в реализации современной концепции гуманитарного образования мы видим в формировании у студентов знаний о человеке как целостном социальном объекте. Это означает интегративный, междисциплинарный подход, при котором гуманитарное и социально-экономическое знание представляет будущего специалиста во всех основных его бытийных формах: индивидуальность, личность, социальная группа, производственный коллектив, общность, общество. Целостное формирование личности выделяется в качестве общепризнанного критерия. На занятиях преподаватели СПбГМТУ помогают студентам учиться общаться с другими людьми, взаимоуважению, умению слу-

шать, опереживать другому. Особое внимание уделяется формированию широты стратегий мышления через привитие навыков объективного анализа различных жизненных, производственных ситуаций, через культуру языка, самостоятельное формулирование и изложение мысли. Изучая процесс профессионального становления выпускников морского технического университета на производстве, можно убедиться в правильности целостного подхода в формировании будущего специалиста и руководителя [7].

Бесспорно, что хорошо подготовленный руководитель должен обладать соответствующими техническими навыками и разбираться не только в технологии, но и в межличностных отношениях, условиях формирования здорового морально-психологического климата в трудовых коллективах, в логике системы производства. Современным руководителем промышленного производства является лишь тот, кто свободно принимает решения и берет на себя ответственность, проявляет качества лидера, включая природный талант к мотивации и убеждению своего окружения, становится не только формальным, но и неформальным лидером в своем коллективе.

Именно отмеченные качества выпускников СПбГМТУ, других технических вузов и формируются методами гуманитарных и социально-экономических наук, расширяющими их эвристические возможности, делающими специалистов более гибкими профессионально, способными видеть междисциплинарные связи, проблемы на стыке наук. Очевидно, что овладение стилистикой гуманитарного мышления является важной чертой гуманизации образования и одновременно способом расширения навыков социальной деятельности.

И еще один важный аспект. В условиях рынка выпускники всех специальностей могут столкнуться с невозможностью найти место, соответствующее узкой специализации. В данном случае фундаментальная подготовка, включающая гуманитарные и социально-экономические основания, принципиально расширяет возможности будущего специалиста. В связи с гибким и комплексным овладением методами разных наук специалист гораздо легче может перепрофилироваться внутри своей отрасли знания и даже за ее пределами.

К сожалению, определенным тормозом в этом процессе являются позиции отдельных ученых и руководителей системы высшего образования. Безусловно, вполне обоснованным явилось решение о закрытии множества частных так называемых вузов-малюток, «штампующих» горе-специалистов, по-существу, продающих дипломы. Но добиваться экономии финансовых средств за счет резкого со-

кращения гуманитарных и социально-экономических дисциплин в технических и других вузах нерационально, к тому же это наносит серьезный ущерб качеству подготовки, конкурентоспособности современных специалистов. Можно было бы в целях экономии бюджетных средств сократить количество, например, дублирующих друг друга по специальностям государственных вузов, которых немало открылось за последние 20 лет.

К тому же современная высшая школа страдает, на наш взгляд, перенасыщенностью учебных программ дисциплинами узкопрофессионального технологического характера. На манер древних судейников, пытавшихся предусмотреть множество конкретных правонарушений и их правовое разрешение, учебные планы бываю заполнены раздутыми лабораторными часами и практикумами, которые призваны по существу привить элементарные ремесленные или технологические навыки на все случаи жизни. Но ведь при необходимости специалист обретает их на своем конкретном рабочем месте за очень короткое время, а руководство на предприятиях, что бывает нередко, переучивает молодого специалиста именно по таким часто практическим вопросам. Нам представляется это очередным заблуждением, от которого высшая школа неизбежно отойдет и обнаружит значительные резервы времени, в том числе и для того, чтобы в современных условиях вернуться к элементам синтеза технических, естественнонаучных и гуманитарных наук в образовательном процессе технических вузов, что, безусловно, повысит качество подготовки и руководителей производства и судостроительной промышленности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Veill P. Leadership and Culture. NJ: Prentice-Hall, 1999. – P.135.
2. Джерард Ван Шаук. Как подготовить менеджера XXI в. // Проблемы теории и практики управления. –1998. –№ 1. – С. 21–22.
3. Шевченко М.М. Анализ эволюции организационно-управленческой деятельности по обеспечению эффективности взаимодействия науки и техники (на материалах судостроительных и других промышленных предприятий Северо-Западного региона (1980–2004 гг.)): Монография. – СПб.: СПбГМТУ, 2005. –С. 7.
4. Жеманов О.Н. Менеджмент: социально-философский аспект. –Екатеринбург: УрОРАН, 1999. – С. 4.
5. Гуманитарная подготовка студентов негуманитарных вузов и специалистов гуманитарного профиля. – Ма-лы Всерос. конфер. 2–3 апреля 1992 г., М., 1992, С. 18–25.
6. Романюк Г.Н., Раенко С.И. Информатизация и проблемы гуманитарного образования в техническом вузе. – Ма-лы междунар. конфер. «Гуманитарная составляющая в учебном процессе вузов и проблема воспитания толерантности у современных специалистов» 25–27 ноября 2009 г., СПб., 2010. –С. 173–175.
7. Солдатов А.В., Шевченко М.М. О некоторых проблемах эффективного управления в российском кораблестроении: опыт, противоречия, перспективы. // Морской вестник. 2013. – № 1 (10). С. 124–126. ■

История сотрудничества Северного ПКБ с Китаем начинается с 50-х гг., когда китайское правительство обратилось за помощью к СССР при реконструкции судостроительных верфей Китая, создании судостроительной промышленности и постройке лицензионных кораблей.

В октябре 1954 г. Правительство СССР приняло постановление, обязывающее Министерство судостроительной промышленности СССР оказать КНР всестороннюю техническую помощь по судостроению. Постановлением предусматривались:

- передача КНР лицензий, проектов и полных комплектов рабочих чертежей и технической документации на постройку пяти типов военных кораблей;

- поставка в КНР в 1955–1956 гг. материалов, полуфабрикатов, готовых конструктивных узлов, механизмов, электрооборудования и вооружения для строительства на китайских заводах лицензионных кораблей пяти типов: 4 сторожевых кораблей пр. 50; 5 подводных лодок пр. 613; 14 больших охотников за подводными лодками; 4 базовых тральщиков; 36 больших морских 67-тонных торпедных катеров пр.183.

Все эти корабли были новыми и совершенными для тех лет и строились серийно на заводах Минсудпрома СССР для отечественного ВМФ.

Минсудпром СССР (министр И.И. Носенко) решил поручить руководство этими работами талантливому инженеру и организатору производства Б.Н. Зубову, который пригласил в качестве своих заместителей трех крупных специалистов в области судостроения: Л.В. Ткачева в качестве руководителя проектной части, В.Ф. Ивочкина как руководителя строительства кораблей и Н.Н. Мидина как специалиста по строительству и реконструкции заводов верфей.

Технический уровень всех действующих и предназначенных для строительства лицензионных кораблей китайских заводов был очень низким. Подготовка, организация и управление производством не имели какой-либо установившейся системы и находились на самом низком уровне [1].

Советская сторона оказала большую помощь в области проектирования и строительства военных кораблей, а также в организации производства. Помощь специалистов, в том числе и Северного ПКБ, получила высокую оценку Правительства КНР.

Используя полученный от советских специалистов опыт, китайские ЦКБ-1 (г.Шанхай) совместно с НИИ судостроения разработали проекты быстроходного дозорного корабля, портового тральщика и ряда вспомогательных судов ВМС КНР.

Спустя много лет, Северное ПКБ разработало с этим конструкторским бюро (оно называлось Уханьским кораблестроительным институтом) по темам 968 и 988. Переезд института из Шанхая в Ухань был осуществлен в начале 70-х гг., когда в КНР шла реализация программы рассредоточения оборонных предприятий.

Начиная с 90-х гг., сотрудничество Северного ПКБ с КНР вышло на новый этап.

В основу военно-морской доктрины Китая, которая начала разрабатываться в конце 80-х гг., положена «Стратегия активной обороны», подразумевающая создание таких ВМС, которые были бы способны отразить агрессию со стороны моря. При этом не исключалась и возможность нанесения превентивных ударов по противнику. В связи с этим было признано целесообразным направить усилия в оборонном строительстве на развитие военно-морских и поддерживающих их военно-воздушных сил.

После 1985 г. начался процесс нормализации отношений между СССР и Китаем. В то время Китай нуждался в совре-

ВОЕННО-ТЕХНИЧЕСКОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО СЕВЕРНОГО ПКБ С КИТАЕМ

В.Е. Юхин, *д-р техн. наук, проф.,
академик Российской инженерной академии,
контакт. тел. (812) 936 7132, 784 7674*

менных технологиях, которыми он не обладал. Это касалось и военно-морской техники.

Интерес к советским кораблям третьего поколения, обладающих прекрасными мореходными качествами и имеющими в своем составе мощное вооружение, китайские ВМС проявляли с момента сдачи головных кораблей и в период их серийного строительства на судостроительных верфях СССР. Китай в соответствии с принятой военно-морской доктриной приступил к созданию мощного океанского флота в Азиатско-Тихоокеанском регионе с авианесущими ударными группировками, которые должны включать современные корабли боевого охранения – эскадренные миноносцы и противолодочные корабли. Китайские ВМС остановили свой выбор на эскадренном миноносце (ракетно-артиллерийском корабле) пр. 956 ВМФ России (главный конструктор И.И. Рубис). Очевидно, этому способствовало наличие комплекса ударного ракетного оружия, который по своим тактико-техническим характеристикам превосходил многие аналоги мира, и зенитного ракетного комплекса коллективной обороны. В дальнейшем при заключении контракта на поставку в Китай двух эсминцев пр. 956Э немаловажную роль на формирование цены сыграли также элементы корабля, которые по многим показателям превосходили аналоги мирового судостроения.

В 1992 г. был подписан Указ Президента РФ об экспортной комплектации и продаже Китаю двух эскадренных миноносцев пр. 956Э (экспортный аналог российского пр. 956). Комплектация корабля комплексами вооружения и техническими средствами по сравнению с основным проектом изменилась мало. На корабле сохранилось все основное оборудование, часть его предполагалось переработать в связи с переходом на новую элементную базу с учетом эксплуатации российского оборудования в южных широтах, также необходимо было переработать всю эксплуатационную документацию для поставки в экспортном исполнении.

Одно из первых знакомств китайских специалистов с кораблями ВМФ России состоялось в 1993 г. в Циндао, куда пришли с визитом дружба корабли Тихоокеанского флота: ракетно-артиллерийский корабль (эсминец) пр. 956 и большой противолодочный корабль пр. 1155 (главный конструктор В.П. Мишин). Китайские специалисты проявили большой интерес к вооружению кораблей, к их маневренным и техническим характеристикам. При посещении кораблей китайскими специалистами главные конструкторы кораблей и главные конструкторы комплексов вооружения, входящие в состав российской делегации ГК «Росвооружение», рассказали об особенностях кораблей и установленного на нем вооружения.

Особый интерес вызвал корабль пр. 956, китайские ВМС были готовы заключить контракт на поставку двух кораблей, а также контракты на поставку боезапаса, вертолетов Ка-28, горюче-смазочных материалов и ЗИП базового и длительной эксплуатации. Одновременно прорабатывался вопрос о заключении контрактов на обучение китайских экипажей и создание береговой инфраструктуры с местами хранения, переосвидетельствование и транспортировку боезапаса, а также создание стендов для проверки и ремонта в

береговых условиях блоков, узлов и деталей вооружения и технических средств.

В то время, когда было принято решение о продаже Китаю двух эсминцев пр. 956Э, ВМФ России не мог финансировать достройку последних трех кораблей пр. 956, находящихся в постройке на «Северной верфи». На продажу были предложены два недостроенных корабля: эсминец «Важный» (зав. № 878, заложен 4 ноября 1988 г., спущен на воду 23 мая 1994 г.) и эсминец «Вдумчивый» (зав. № 879, заложен 22 апреля 1989 г.). Эсминец «Буйный» (зав. № 880), который заложен в 1991 г., был разрезан на стапеле.

Огромная работа по продвижению на внешний рынок кораблей пр. 956ЭМ увенчалась успехом: в июле 1997 г. было подписано Межправительственное соглашение между Россией и Китаем, а в ноябре 1997 г. контракт на строительство и поставку в Китай двух эсминцев пр. 956Э.

Специалисты Северного ПКБ принимали активное участие в обсуждении и подписании не только контрактных документов на поставку на экспорт кораблей пр. 956Э, но и документов Межправительственного соглашения, в которых, в частности, предусматривались темы дальнейшего сотрудничества между Россией и Китаем.

Необходимо отметить, что еще в 1996 г. (до заключения контракта по кораблю пр. 956Э), китайская сторона обратилась в ГК «Росвооружение» с просьбой о поставке на китайские корабли ЗРК «Штиль», РЛС «Фрегат-М2ЭМ», и КРК «Минерал-Э». В марте 1997 г. в ГК «Росвооружение» были проведены переговоры, на которых китайские специалисты заявили о желании закупить российское вооружение и самостоятельно установить его на китайские эсминцы. В дальнейшем эта тема получила название «Тема 968», и контракт по сотрудничеству с Китаем был заключен в апреле 2004 г.

В июне 1999 г. не стало И.И. Рубиса – главного конструктора российских кораблей пр. 956 и экспортных кораблей пр. 956Э. Главным конструктором кораблей последнего пр. 956Э и его модификаций был назначен В.П. Мишин.

В августе 1999 г. комиссия государственной приемки провела испытания корабля зав.№ 878, которые завершились успешными стрельбами из всех видов оружия эсминца. В соответствии с условиями контракта во время проведения ракетно-артиллерийских стрельб на корабле присутствовала группа китайских специалистов, которые выразили восхищение мощностью российского оружия и эксплуатационными характеристиками корабля.

В октябре 1999 г. на корабле зав.№ 878 начались приемосдаточные испытания (ПСИ), которые включали в себя испытания и у достроечной стенки завода и в море. Программой испытаний предусматривались в основном проверки работоспособности вооружения и технических средств корабля, так как этап ПСИ начинался после проведения государственных испытаний корабля и подписания Акта председателем государственной комиссии ВМФ РФ. Корабль проходил весь цикл строительства по российским стандартам и только после этого предъявлялся инозаказчику на этап ПСИ.

Этот этап начался с изучения приемочной китайской комиссией эксплуатационной документации на вооружение и технические средства. Одновременно китайские и российские специалисты согласовывали методические указания, которые определяли объем проверок у стенки завода и в море. Основная масса вопросов была адресована проектанту корабля – Северному ПКБ.

Участвующие в ПСИ испытаниях китайские специалисты обладали высокой теоретической и практической подготовкой в той или иной области техники. В составе китайской делегации были высококвалифицированные военные инженеры, специалисты в области разработки вооружений, а также профессорско-преподавательский состав китайских университетов, некоторые из них работали переводчиками.

25 декабря 1999 г. на корабле зав.№ 878 в торжественной обстановке был спущен Андреевский флаг и поднят флаг ВМС Китая. Официальные лица ВМС НОАК и ГК «Росвооружение» подписали Акт приемопередаточных испытаний. В начале января 2000 г. корабль с бортовым № 136 покинул завод. В городе Балтийск был загружен боезапас, и корабль ушел к постоянному месту базирования в Китай.

Первый корабль пр. 956Э совершил беспрецедентный переход 13 морей и 3 океанов, при этом вся техника вела себя безукоризненно.

В середине февраля 2000 г. в Китае на военно-морской базе на о. Чжоу Шань была организована торжественная встреча корабля. Главнокомандующий ВМС НОАК дал высокую оценку кораблю, китайским морякам, которые участвовали в переходе, а также русским специалистам, которые спроектировали и построили «корабль-красавец», а также помогли китайскому экипажу привести корабль в Китай. Также было высказано много теплых слов в адрес русских кораблестроителей. Корабль выглядел так, будто только что вышел с судостроительного завода. На нем не было видно следов длительного перехода. Блестела свежая краска, отсутствовали ржавые подтеки в районе якорных клюзов и забортных отверстий. Никаких чудес не произошло и не могло произойти – корабль стоял на внешнем рейде уже несколько дней, и китайские моряки приводили его в порядок: мыли, подкрашивали, драили. Китайский корабль пр. 956Э получил название «Ханчжоу» («Современный»), полученному по классификации НАТО.

19 августа 2000 г. на полигоне военно-морской базы (г. Хулудао) Северного флота ВМС НОАК были организованы практические ракетно-артиллерийские стрельбы из всех видов корабельного оружия. Стрельбы выполняли китайские моряки, которые прошли обучение под руководством русских специалистов. За стрельбами наблюдали высокопоставленные китайские чиновники госаппарата КНР и ВМС НОАК. Также была приглашена делегация российских специалистов во главе с «ГК «Росвооружение». Стрельбы прошли на «отлично», экипажем корабля были выполнены все тактические задачи, предусмотренные планом учений.

В ноябре 2000 г. корабль «Ханчжоу» выполнил зачетную ракетную стрельбу комплексом «Москит-Е». Ракета прошла надстройку судна-мишени и вышла в носовой оконечности.



Запуск ПКР «Москит» с эсминца пр. 956Э ВМС Китая

Строительство и передача китайским ВМС второго корабля пр. 956Э (зав.№ 879) «Фуцжоу» шли уже по накатанной колее. 25 ноября 2000 г. был подписан Акт приемопередаточных испытаний эсминца. Переход эсминца (бортовой № 137) осуществлялся по тому же маршруту, что и эсминца «Ханчжоу», и уже в конце января 2001 г. корабль пришел на Чжоу Шань. Отказов корабельной техники во время перехода не было. Корабль вошел в состав Восточного флота ВМС НОАК.

В том же 2001 г., в конце февраля, были подписаны Межправительственное соглашение и контракт на оказание технического содействия по установке комплексов вооружения и общекорабельного оборудования на китайские эсминцы пр. 052В. Тема получила номер «968».

Впервые в истории военно-технического сотрудничества Северного ПКБ и «Рособоронэкспорт» с Китаем был заключен контракт практически на опытно-конструкторскую работу. Он, в частности, предусматривал: совместное проектирование с Уханьским институтом кораблестроения размещения ЗРК «Штиль-1», РЛС «Фрегат-М2ЭМ», КРК «Минерал-МЭ» и общекорабельного оборудования (далее по тексту – российского оборудования); поставку оборудования на два корабля; монтаж и испытания оборудования, включая окончательные (государственные) испытания с проведением ракетных стрельб ЗРК «Штиль-1» на полигонах ВМС НОАК. Китайские специалисты были убеждены в том, что самостоятельно справятся с установкой российского оборудования.

Многочисленные разъяснения российских специалистов убедили китайских специалистов в необходимости проведения монтажа и всех видов испытаний оборудования с привлечением россиян.

На этапе предконтрактных переговоров по теме 968 выработывался алгоритм технического содействия по установке российского оборудования на китайские корабли, который лег в основу военно-технического сотрудничества с Китаем по теме 988.

После заключения контракта начались проектные работы в Северном ПКБ и в Уханьском кораблестроительном институте. Контрактом было предусмотрено шесть технических координационных совещаний (ТКС), три из них в Санкт-Петербурге на территории Северного ПКБ, три в Китае (два в г. Ухань и одно в г. Шанхай). На ТКС рассматривалась и согласовывалась документация технического и рабочего проектов, разработанная российскими и китайскими специалистами, а также приемо-сдаточная документация (программы и методики проведения испытаний). При встречах с китайскими специалистами чувствовалась их крайняя заинтересованность в скорейшем согласовании и получении технической документации, разработанной Северным ПКБ. Особенно это стало очевидно, когда для согласования чертежей на третьем ТКС был привлечен инженерно-конструкторский состав Цзяньнаньской судостроительной верфи из Шанхая. В то время, в 2002 г. на верфи готовили к спуску два корабля пр. 052В по теме 968 и китайским судостроителям уже тогда требовалась документация.

Весной 2003 г. начался монтаж российского оборудования на первом корабле пр. 052В, а летом того же года – на втором корабле. В то время они уже были спущены на воду, имели названия и бортовые номера. Так, первый корабль был назван «Гуанчжоу» (центр провинция Гуандун, бортовой № 168), второй корабль был назван «Ухань» (центр провинция Хубэй, бортовой № 169).

На этапы монтажа, пусконаладочных работ, а также на все виды испытаний оборудования были командированы наши специалисты, в том числе и Северного ПКБ, для оказания технического содействия.

Наиболее показательными в военно-техническом сотрудничестве по теме 968, которое завершилось в декабре 2005 г., были результаты окончательных испытаний – они еще раз подтвердили надежность и мощь российского вооружения.

Параллельно с работами по этой теме Северное ПКБ, начиная с 2002 г., вело работы еще по двум контрактам: на строительство и поставку в КНР двух кораблей пр. 956ЭМ и оказанию технического содействия при установке российского оборудования на китайские эсминцы пр. 051С (тема 988).

В начале января 2002 г. «Рособоронэкспорт» при непосредственном участии «Северной верфи» и Северного ПКБ подписал контракт на поставку в КНР двух кораблей пр. 956ЭМ, боеприпасов и ЗИП для технического обслуживания комплексов и систем в период эксплуатации. До подписания контракта было подписано Межправительственное соглашение о сотрудничестве с Китаем по этой теме.

ВМС НОАК был предложен принципиально новый корабль:

- внесены существенные конструктивные усовершенствования для повышения боевой устойчивости корабля и повышения эксплуатационных характеристик оружия и технических средств с учетом опыта эксплуатации кораблей пр. 956Э в южных широтах;

- оптимизировано взаимодействие корабельного вооружения в целях решения задач противовоздушной, противолодочной обороны и нанесения ракетного удара по корабельным группировкам противника;

- предложено установить современный ударный ракетный комплекс «Москит-МВЕ» с повышенной дальностью за счет введения комбинированной траектории полета;

- в дополнение к зенитному ракетному комплексу «Штиль-1» предусмотрена установка зенитного ракетно-артиллерийского комплекса «Каштан» с высокой вероятностью поражения противокорабельных ракет;

- предусмотрено постоянное базирование вертолета Ка-28 и хранение авиационного боезапаса;

- установлен новый гидроакустический комплекс с возможностью обнаружения и уничтожения торпед, атакующих корабль.

- улучшена организация взаимодействия боевых постов командного комплекса управления для решения задач кораблевождения и противолодочных задач в составе поисковой ударной группы.

Все эти изменения проекта нашли отражения в контрактной спецификации, которая была согласована с китайскими специалистами еще в августе 2001 г.

Заинтересованность российской и китайской сторон в подписании контракта была очевидна, поэтому еще до его подписания руководством Северного ПКБ совместно с руководством «Северной верфи» было принято решение о начале разработки технического проекта нового корабля пр. 956ЭМ. «Северной верфи» нужна была техническая документация для строительства кораблей, особенно в изменяемых районах, в кратчайшие сроки, поскольку предусмотренные контрактом сроки сдачи первого корабля (зав.№ 891) – 2005 г., второго корабля (зав.№ 892) – 2006 г. В то время на «Северной верфи» не осталось даже корпусных секций со времен строительства большой серии кораблей пр. 956. Корабли приходилось строить «с нуля».

Технический проект был разработан в 2002 г., параллельно шла разработка рабочих чертежей, в первую очередь по корпусу.

На этапе рабочего проекта Северным ПКБ были разработаны трехмерные модели насыщенных помещений в системе FORAN (совмещенные чертежи в электронном виде), которые позволяли «Северной верфи» оптимизировать технологию строительства корабля.

В апреле 2004 г. корабль зав.№ 891 («Внушительный») был спущен на воду, а в июне 2005 г. он ушел на ходовые испытания. В августе 2005 г. корабль прошел государственные испытания, на которых вооружение и технические средства корабля подтвердили свои спецификационные и технические характеристики, предусмотренные контрактом. В октябре того же года начались приемо-сдаточные испытания, а уже 26 декабря на корабле в торжественной обстановке был поднят флаг ВМС НОАК. Корабль получил название «Тайчжоу» и бортовой № 138. В отличие от кораблей пр. 956Э, которые имели наименования административных центров провинций Китая, первый корабль пр. 956ЭМ получил имя г. Тайчжоу (крупный город в провинции Цзянсу, дословно «Великая страна»). Такое название было дано кораблю в память о том, что в 1949 г. в этом городе было подписано историческое решение о создании ВМС НОАК.

В первых числах января 2006 г. корабль бортовой № 138

загрузил боеприпасы в базе Кронштадта и начал движение к военно-морской базе на о. Чжоу Шань. Переход корабля осуществлялся тем же маршрутом, что и предыдущих кораблей пр. 956Э. Вместо запланированных на переход 45 суток корабль уже через 35 суток пришел к родным берегам. В составе экипажа было около полутора десятка русских специалистов, которые в основном вели наблюдение за работой технических средств. Остальной экипаж состоял из китайских моряков, которые прошли большую школу кораблевождения и получили навык эксплуатации оружия и технических средств на предыдущих кораблях пр. 956Э, а также подготовку в учебных военных классах в Санкт-Петербурге.

12 февраля 2006 г. корабль с бортовым № 138 стоял уже на внешнем рейде вблизи о. Чжоу Шань, а 15 февраля состоялась его торжественная встреча на военно-морской базе.

Как уже говорилось выше, 2002 г. для Северного ПКБ оказался насыщенным. Кроме проектных работ над пр. 956ЭМ и по теме 968 начались работы по теме 988.

По теме 988 Северное ПКБ в соответствии с условиями контракта осуществляло техническое содействие при размещении, монтаже и испытаниях ЗРК «Риф-М», РЛС «Фрегат-М2ЭМ», СИНС «Ладога-МЭ-988» и общекорабельного оборудования на китайском эскадренном миноносце пр. 051С.

Объем проектных работ Северного ПКБ по теме 988 значительно превышал объем работ по теме 968. Головной проектант корабля был тот же Уханьский кораблестроительный институт. Налаженные связи, взаимное понимание и доброжелательное отношение с китайскими специалистами позволили быстро и с высоким качеством выполнить все работы.

Контрактом было предусмотрено шесть ТКС, три из них в Санкт-Петербурге на территории Северного ПКБ и три – в Китае (одно в г. Ухань и два в г. Далянь). На ТКС рассматривалась и согласовывалась документация технического и рабочего проектов, разработанных российскими и китайскими специалистами, а также приемо-сдаточная документация (программы и методики проведения испытаний) на российское оборудование.

На судостроительной верфи в г. Далянь велось строительство одновременно двух кораблей пр. 051С, которые находились в разной степени готовности. Монтаж и испытания оборудования проводились при техническом содействии наших специалистов.

В 2004 г. Китай получил два комплекса «Риф-М», каждый из которых включает ракеты класса «корабль-воздух» 48Н6Е и РЛС обнаружения целей 30Н6Е1. Судя по наличию РЛС с фазированной решеткой, корабль пр. 051С не являет-



Эсминец «Тайчжоу» пр. 956ЭМ ВМС Китая

ся, по сути, противоздушным эсминцем класса «Шендунь». По составу вооружения эсминец пр. 051С можно назвать универсальным. Противоздушным специализированным эсминцем класса «Шендунь» следует считать корабль пр. 052С, на котором установлена система «China Aegis».

На корабле пр. 051С (бортовой № 115) на крыше ходовой рубки находится антенный пост, напоминающий антенну российского комплекса обнаружения надводных целей «Минерал-МЭ». Спустя много лет стало понятно, почему при обсуждении контракта по теме 988 китайские специалисты отказались от поставки радиолокационного комплекса «Минерал-МЭ». В Китае идет мощное развитие военно-промышленного комплекса, который в своих разработках использует либо зарубежные аналоги, либо осваивает лицензионное производство.

Подводя итоги российско-китайского сотрудничества в области надводного кораблестроения, можно отметить, что за период с 1954 г. по настоящее время китайская сторона в значительной степени благодаря сотрудничеству с Россией сделал огромные шаги по развитию судостроительной отрасли. Можно констатировать, что судостроительная отрасль Китая уже не нуждается в посторонней помощи и способна создавать самые современные корабли самостоятельно.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Зубов Б.Н.* Записки корабельного инженера: развитие надводного кораблестроения в Советском Союзе. – М.: Ключ, 1998.
2. *Голяк В.И.* Создание экспортного корабля пр. 956
3. *Юхнин В.Е.* Эскадренный миноносец проекта 956 «Сарыч» // Морской вестник. – 2014. – №2(50). ■

Распоряжением Правительства Российской Федерации от 28 октября 2015 г. № 2180-р специалистам ряда предприятий и организаций Санкт-Петербурга за создание и серийное строительство многофункциональных пограничных сторожевых кораблей проекта 22460 присуждена премия Правительства Российской Федерации 2015 г. в области науки и техники:

– работникам АО «Северное проектно-конструкторское бюро»: Спиридопуло Владимиру Ильичу, генеральному директору, Наумову Алексею Юрьевичу, главному конструктору проекта, руководителю работы, Чевыренкову Юрию Алексеевичу, заместителю главного конструктора проекта, Яковлеву Кириллу Юрьевичу, начальнику отдела;

– работникам ОАО «Судостроительная фирма «Алмаз»: Измайлову Олегу Николаевичу, сборщику корпусов металлических судов, Калашникову Светославу Алексеевичу, мастеру производства, Мухутдинову Ильязу Минетуллиновичу, начальнику Технического управления – заместителю главного инженера, Скитеру Ивану Алексеевичу, слесарю-монтажнику судовому;

– работнику филиала «Балтийский Алмаз» АО «ЭлектроРадиоАвтоматика» Моисееву Виталию Викторовичу, электро-монтажнику судовому, а также

– Скорынину Руслану Вадимовичу, заместителю руководителя департамента береговой охраны Пограничной службы Федеральной службы безопасности РФ. ■

ПРИСУЖДЕНИЕ ПРЕМИИ ПРАВИТЕЛЬСТВА РОССИИ КОРАБЕЛАМ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

На собрании Ассоциации судостроителей Санкт-Петербурга и Ленинградской области и Секции по судостроению Морского Совета при Правительстве Санкт-Петербурга, которое состоялось 7 октября 2015 г., присутствовали директора или заместители директоров 42 предприятий из 48 предприятий – членов Ассоциации, представитель Полпредства в Северо-Западном федеральном округе С. Ю. Кудрявцев, зам. председателя КППиИ С. А. Тальнишних, представители РосНТО им. акад. А. Н. Крылова, председатели территориальных организаций профсоюзов Н. С. Чалов и С. П. Максименко, пресса, ТВ. Вел собрание вице-президент Ассоциации Л. Г. Грабовец.

1. С докладом «Опыт модернизации и расширения производства судостроительного завода «Пелла» выступил зам. генерального директора предприятия И. Л. Вайсман.



Выступает И. Л. Вайсман

Как рассказал докладчик, опыт завода «Пелла» подтвердил возможность без дополнительной нагрузки на федеральный бюджет решать задачи инновационного развития предприятия.

2. Директор Института информационных технологий СПбГМТУ, заведующий кафедрой вычислительной техники и информационных технологий кандидат технических наук А. В. Липис в своем докладе «Вопросы эффективности использования информационных технологий в отечественном судостроении» показал, что актуальность проблемы обеспечения высокой эффективности использования информационных технологий судостроительными предприятиями региона очевидна.

3. С третьим докладом «Опыт создания судостроительного кластера в Архангельской области» выступил советник министра Министерства экономического развития Архангельской области Д. А. Тюпышев. Опыт создания судостроительного инноваци-

онного территориального кластера Архангельской области может быть использован при организации судостроительного кластера Петербурга и Ленинградской области.

Далее были заслушаны сообщения о подготовке праздничных мероприятий по случаю Дня судостроителей 30 октября 2015 г. С. А. Тальнишних и исполнительного директора Ассоциации А. А. Юрчака, председателя Санкт-Петербургского Союза ветеранов судостроения А. И. Затчаева, председателя ТО СПб и ЛО ПР СиС С. П. Максименко.

О подготовке и подписании регионального тарифного соглашения между Ассоциацией, территориальным комитетом Российского профсоюза и администрациями Санкт-Петербурга и Ленинградской области рассказал председатель комитета С. П. Максименко. Действие данного регионального тарифного соглашения между Ассоциацией, теркомом роспрофа и администрацией Ленинградской области заканчивается в 2015 г., а с правительством города – в 2016 г. Общее собрание членов Ассоциации имеет право уполномочить президента Ассоциации на подписание указанных соглашений.

Об итогах выставки «Нева–2015» проинформировал генеральный директор ЗАО «Транстех Нева Эксбишн» А. Н. Тихомиров. Судостроительные предприятия уже зарезервировали 25% площадей на выставку «Нева–2017».

В обсуждении докладов и информации приняли участие И. Л. Вайсман, Л. Г. Грабовец, В. Н. Глебов, А. В. Липис, В. И. Спиридопуло, Н. С. Чалов, А. А. Юрчак.

РЕШЕНИЕ ОБЩЕГО СОБРАНИЯ АССОЦИАЦИИ

1. Информацию, изложенную в докладе И. Л. Вайсмана, принять к сведению.

ОБЩЕЕ СОБРАНИЕ АССОЦИАЦИИ СУДОСТРОИТЕЛЕЙ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА И ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ И СЕКЦИИ ПО СУДОСТРОЕНИЮ МОРСКОГО СОВЕТА ПРИ ПРАВИТЕЛЬСТВЕ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

*Ассоциация судостроителей Санкт-Петербурга и Ленинградской области,
контакт. тел. (812) 786 1172*

Рекомендовать руководителям судостроительных заводов учесть опыт завода «Пелла», обратив внимание на возникшие проблемы и трудности по причине несовершенства законов № 305-ФЗ и № 246-ФЗ.

Поручить исполнительной дирекции совместно с экспертом Ассоциации И. Л. Вайсманом продолжить усилия по внесению изменений в указанные законы, вытекающие из опыта их применения.

2. Рекомендовать предприятиям – членам Ассоциации привлечь специалистов СПбГМТУ к анализу эффективности использования информационных технологий и разработке мер по ее повышению.

3. Из-за возникших сложностей было решено в организации судостроительного кластера в рамках Ленинградской области просить руководителей Комитета промышленной политики и инноваций Правительства Санкт-Петербурга и Комитета экономического развития и инвестиционной деятельности Администрации Ленинградской области объединить усилия по созданию единого судостроительного кластера Санкт-Петербурга и Ленинградской области.

Собрание предоставило президенту Ассоциации А. Н. Алешкину полномочия на подписание трехсторонних тарифных соглашений с профсоюзами и Правительством Санкт-Петербурга и Администрацией Ленинградской области.

Собрание согласилось с предложением А. Н. Тихомирова включить в программы конференций и выставок 2016 г. вопросы распространения опыта реконструкции завода «Пелла» и внедрения информационных технологий, а также с предложением проработать совместно с ЦТСС возможность восстановления проведения выставки «Инрыбпром» в Санкт-Петербурге.

В члены Ассоциации судостроителей было принято ООО «ХС Морское проектирование». ■



Герб
Санкт-Петербургского
Морского собрания



Орден
«За заслуги в морской
деятельности
1 степени»

Санкт-Петербургское Морское Собрание

1910

ОСНОВАНИЕ

1995

ВОЗРОЖДЕНИЕ

Собрание Морское –
Союз морских людей



Орденский знак
Санкт-Петербургского
Морского собрания



Золотая медаль
«Петр I»

Здесь знают, что такое
Отечество и Честь



Орден
«За воинскую доблесть
1 степени»



Серебряная медаль
«А.Н. Крылов»



Орден
«За трудовую доблесть
1 степени»

190000, Санкт-Петербург, Английская набережная, 42
Тел./факс: (812) 312 7092, 315 2670
www.morskoesobranie.ru
e-mail: morskoe-sobranie@yandex.ru

1. Автор представляет статью в электронном виде объемом до 20 000 знаков, включая рисунки. Текст набирается в редакторе MS Word под Windows, формулы – в формульном редакторе MathType. Иллюстрации, помещенные в статье, должны быть представлены дополнительно в форматах: TIFF CMYK (полноцветные), TIFF GRAYSCALE (полутонные), TIFF BITMAP (штриховые), EPS, JPEG, с разрешением 300 dpi для полутонных, 600 dpi для штриховых и в размерах, желательных для размещения.

2. Статья должна содержать реферат объемом до 300 знаков, ключевые слова и библиографо-библиотечный индекс УДК. Автор указывает ученую степень, ученое звание, место работы, должность и контактный телефон, а также дает в письменной форме разрешение редакции журнала на размещение статьи в Интернете и Научной электронной библиотеке после

публикации в журнале. Статья представляется с рецензией.

3. Статьи соискателей и аспирантов принимаются к публикации на бесплатной и безвозмездной основе.

4. Контрольное рецензирование этих статей осуществляет редакция коллегия с привлечением при необходимости профильных специалистов. Рецензии на статьи хранятся в редакции журнала в течение 5 лет.

5. В случае отказа в публикации автору высылается рецензия. Копии рецензий направляются в Минобрнауки России при поступлении соответствующего запроса в редакцию журнала.

6. Содержание журнала ежеквартально представляется на рассмотрение редакционному совету. Решение о выпуске очередного номера оформляется протоколом.

РЕФЕРАТЫ

УДК 629.1.03 **Ключевые слова:** подводная лодка «Краснодар», подъем флага

Подводная лодка «Краснодар» передана в состав Военно-Морского Флота Российской Федерации // Морской вестник. 2015. № 4. С. 1

Сообщение о передаче подводной лодки «Краснодар», четвертой в серии, ВМФ РФ. Лодка построена на «Адмиралтейских верфях». Приведены ее технические характеристики. В марте и апреле 2016 г. еще две последние в серии лодки «Великий Новгород» и «Жолпино» будут спущены на воду, а до конца года переданы ВМФ. Ил. 2.

УДК 621.165 **Ключевые слова:** СФ «Алмаз», катер «Соболь», пограничный сторожевой корабль «Светляк», самоходный плавучий кран пр. 02690

Л.Г. Грабовец. «Алмаз» достойно завершает трудовой год // Морской вестник. 2015. № 4. С. 7

Судоостроительная фирма «Алмаз» подводит итоги года, которые завершились сдачей двух катеров пр. 12200 «Соболь» для Пограничной службы России, погранично-сторожевого корабля «Светляк» и морского самоходного плавучего крана пр. 02690. Ил. 4.

УДК 621.039: 621.431 **Ключевые слова:** ВМС Канады, арктический патрульный корабль, проект, эволюция

Н.Н. Комаров, Д.Ю. Литинский. Эволюция проекта арктического патрульного корабля ВМС Канады // Морской вестник. 2015. № 4. С. 9

Подробно рассмотрена эволюция проектирования арктического патрульного корабля ВМС Канады – Arctic Offshore Patrol Ship. Приведены основные характеристики АОРС. Проанализированы процесс выдвигаемых требований к кораблю, их обсуждение. В ходе работы были рассмотрены три варианта проекта корабля. Т. 1. Ил. 5. Библиогр. 6 назв.

УДК 629.05 **Ключевые слова:** составное судно, класс судна, сверхполнота, опытовый бассейн, модель, масштаб, буксировочные испытания, коэффициент счала

Г.В. Егоров, А.В. Демидюк, А.Г. Егоров. Экспериментальное определение коэффициента счала составного судна смешанного плавания с большой полнотой обводов // Морской вестник. 2015. № 4. С. 13

Изготовлены масштабные модели самоходного судна-толкача и несамостоятельной баржи смешанного река-море плавания со «сверхполными» обводами. Выполнены буксировочные испытания моделей по отдельности и в сцепе. Определены буксировочное сопротивление и мощность. Получен коэффициент счала самоходного судна-толкача и несамостоятельной баржи смешанного река-море плавания с коэффициентом общей полноты 0,93. Т. 6. Ил. 19. Библиогр. 15 назв.

УДК 629.5.01 **Ключевые слова:** проектирование судов, танкер, транспортировка нефти, общее расположение, нагрузка масс

Г.Ф. Демешко, С.Н. Рюмин. Нормативно-правовые и проектные аспекты создания современных танкеров. Часть 2 // Морской вестник. 2015. № 4. С. 18

Продолжение статьи, первая часть которой была опубликована в журнале «Морской вестник», 2015, № 3. Знакомит с тенденциями развития танкерного флота. Основное внимание уделено расчету нагрузки масс, влиянию категории ледовых усилений на массу корпуса и другие вопросы. Ил. 14. Библиогр. 20 назв.

УДК 22.24.085.5 **Ключевые слова:** арктические технологии, бурение, глубоководные исследования, погружной буровой комплекс, научно-исследовательская подводная лодка

А.А. Астахов. Разработка новых подводно-подледных

технологий исследовательского бурения в Арктике // Морской вестник. 2015. № 4. С. 23

Изложена концепция создания бурового комплекса на базе подводного носителя для морской геологоразведки на арктическом шельфе. Использование для этих целей научно-исследовательских подводных лодок является прорывным технологическим решением, открывающим большие перспективы проведения круглогодичных исследований Арктики и решения актуальной задачи расширения внешней границы арктического континентального шельфа РФ. Ил. 5. Библиогр. 5 назв.

УДК 629.645 **Ключевые слова:** экраноплан, крыло, схема, развитие, перспектива

Г.А. Федорев, А.С. Знатков, Д.И. Кизилов, П.А. Шауб, С.В. Москвина. Экранопланы сегодня // Морской вестник. 2015. № 4. С. 26

Дан анализ решения проблемы создания малых экранопланов местного значения. Рассмотрены этапы развития экранопланов как в нашей стране, так и за рубежом. Сделан вывод об экономической выгоде использования малых экранопланов в труднодоступных арктических и островных территориях и необходимости развития и реализации данного направления. Т. 2. Ил. 1.

УДК 338.2–043.86:629.5 **Ключевые слова:** инновационный проект, импортозамещение, диверсификация, научно-техническая продукция, инвестиции, бизнес-план, экономика

Б.А. Горелик. Технические и экономические основы создания импортозамещающих и диверсификационных инновационных проектов // Морской вестник. 2015. № 4. С. 31

Приведены сведения о создании при РосНТО им. акад. А.Н. Крылова в Санкт-Петербурге инновационного комитета. Рассмотрены методические рекомендации для разработки инновационных проектов в судостроении, их структуры в целях импортозамещения и диверсификации. Основной акцент сделан на возможности реализации материализованного инновационного изделия, гарантирующей его покупку, что проиллюстрировано на конкретном примере.

УДК 621.315.2:629.5.001.4 **Ключевые слова:** «51-й ЦКТИС», кабельные изделия, срок службы, техническое состояние, диагностика

О.А. Бельский. Методы освидетельствования кабельных изделий с целью продления срока их службы на кораблях и судах ВМФ // Морской вестник. 2015. № 4. С. 32

Проанализированы методы определения состояния кабельных изоляционных материалов методом инфракрасной спектроскопии. Показано, что этот метод позволяет эффективно контролировать два основных процесса старения ПВХ пластика: его десорбцию и деструкцию полимерных цепей. В связи с увеличением сроков службы кораблей до 50 лет новые требования предъявляются к изоляционным материалам и к методам их диагностики в процессе эксплуатации, над которыми работает «51-й ЦКТИС». Ил. 4.

УДК 336 **Ключевые слова:** финансовое моделирование, финансовый цикл, производственный цикл, конкурентоспособность, эффективность производства

А.В. Иванкович. Моделирование финансового цикла для повышения экономической эффективности и конкурентоспособности предприятия // Морской вестник. 2015. № 4. С. 35

Статья посвящена описанию основных положений финансового моделирования для управления финансовым циклом на судостроительном предприятии. Предложенные меры позволяют достичь ресурсной эффективности производства как основного резерва конкурентоспособности предприятия. Библиогр. 2 назв.

УДК 623.611 **Ключевые слова:** «Пелла», инновационное развитие промышленности

И.Л. Вайсман. «Пелла»: вклад в инновационное развитие промышленности // Морской вестник. 2015. № 4. С. 38

Знакомит с организацией специализированного производства современных морских судов на мощностях нового комплекса для обновления технического и рыбопромыслового флота, а также высокотехнологичных судов специального назначения по заказам федеральных ведомств. Обозначены возможности предприятия, которое реализует системный инновационный проект развития нового судостроительного комплекса. Ил. 3.

УДК 667.621.6 **Ключевые слова:** инфракрасная идентификация (ИКИ), инфракрасная метка (ИК-метка), ИК-фуры спектрометр

А.С. Дринберг, Ю.В. Улашкевич, И.А. Уденко. Инфракрасная идентификация лакокрасочных покрытий – технология двойного назначения // Морской вестник. 2015. № 4. С. 39

Изучена технология инфракрасной идентификации лакокрасочных покрытий, применяемая западными странами. Лакокрасочные покрытия, используемые для окраски кораблей ВМФ, легко идентифицировать с помощью лазерного ИК-фуры спектрометра, находящегося на космических аппаратах. Ил. 8. Библиогр. 8 назв.

УДК 669.2 **Ключевые слова:** паром, док, ремонт, окраска

Н.М. Вихров, А.Г. Филимонов. Паром «Принцесса Анастасия» прошел доковый ремонт в Петербурге // Морской вестник. 2015. № 4. С. 43

На примере докового ремонта парома «Принцесса Анастасия» показана возможность выполнения подобных работ в кратчайшие сроки на петербургских предприятиях – ЗАО «Канонерский судоремонтный завод» при участии компании «Мюльхан Морфлот». Работа получила одобрения инспектора поставщика лакокрасочных материалов, команды парома и судовладельца. Ил. 3.

УДК 678.02: 620.1 **Ключевые слова:** иллюминатор, давление, 60 МПа, испытательная камера, светопрозрачный элемент

Н.М. Вихров, В.П. Лянзберг. Об иллюминаторах высокого давления со светопрозрачным элементом в форме диска // Морской вестник. 2015. № 4. С. 45

Выполнен анализ предложенных конструкций иллюминаторов высокого давления со светопрозрачным элементом в форме диска и оболочки из органического и силикатного стекла с использованием обжимных шайб. Предложенная схема испытательной камеры позволяет решать технологические вопросы на различных этапах изготовления и проводить исследования для определения причины разрушения элемента. Ил. 3. Библиогр. 6 назв.

УДК 629.5.081 **Ключевые слова:** судовое оборудование, комплектующие, материалы, качество

А.С. Соловьев, Г.В. Тарица, А.В. Филиппов. Оценка технического уровня и качества судового оборудования, комплектующих и материалов // Морской вестник. 2015. № 4. С. 49

Рассмотрены проблемы оценки качества выпускаемой продукции судового машиностроения. Предложены методы системной оценки технического уровня и качества производимой продукции с использованием номенклатуры показателей, определяемой по степени влияния свойств судового оборудования, комплектующих и материалов на технологии строительства, а также на характеристики и на качество строящихся судов. Т. 1. Ил. 1. Библиогр. 5 назв.

УДК 629.12.066 (075.8) **Ключевые слова:** гребные электрические установки, схемы главного тока, рабочие характеристики гребных электродвигателей

В.В. Романовский. Гребные электрические установки для арктических ледоколов // Морской вестник. 2015. № 4. С. 53

Рассмотрены современные подходы к проектированию

отечественных гребных электрических установок с целью импортозамещения судового электрооборудования. Предложены схемы компоновки гребных электростановок и приведены основные характеристики синхронных гребных электродвигателей. Ил. 4. Библиогр. 6 назв.

УДК 621.43 **Ключевые слова:** леодокол, электроэнергетическая система, проектирование

С.А. Милавин, Д.В. Умяров, В.Г. Титов. Об особенностях проектирования электроэнергетической системы леодокола проекта 21900М // Морской вестник. 2015. № 4. С. 57

Проанализированы некоторые аспекты проектирования КБ «Вымпел» электроэнергетической установки леодокола пр. 21900М. Показано, что регулирование мощности системы разворота, осуществляемое применением в механизме разворота асинхронных электродвигателей, управляемых преобразователем частоты, позволяет уйти от необоснованного увеличения мощности аварийного генератора. Ил. 6.

УДК 621.43 **Ключевые слова:** корабль, электрооборудование, электроснабжение, трудности преобразователя

А.П. Емельянов, В.И. Вершинин, А.Н. Богданов. Питание кораблей от береговой электросети // Морской вестник. 2015. № 4. С. 59

Рассмотрена работа корабельного преобразователя береговой электроэнергии. Показано, что такой преобразователь в сочетании с валогенератором, который соединен с главным корабельным двигателем, можно применять для длительного электроснабжения корабля на ходу, даже при изменении частоты вращения гребного вала. Ил. 2.

УДК 621.311 **Ключевые слова:** рабочее тело, внутренняя энергия, энтальпия, энтропия, средняя температура газа, индикаторная температура

М.Н. Покусаев, П.А. Дорохов. Термодинамический анализ внутрицилиндровых процессов поршневого двигателя как одно из средств выбора его конструктивного оформления // Морской вестник. 2015. № 4. С. 63

Рассмотрена энтальпия как термодинамический потенциал, а также как теплосодержание рабочего тела, определяющие скрытую энергию, которая раскрывает возможности преобразования внутренней энергии в теплоту и далее – в работу в условиях поршневого двигателя. Введены понятия «суммарная температура газа» и «средняя индикаторная температура» – как определители возможного расширения работоспособности газа. Ил. 4. Библиогр. 12 назв.

УДК 629.12.06 **Ключевые слова:** ДВС, отработавший газ, оксиды азота, дымность, сжатый воздух

В.К. Румб, О.В. Серажутдинов. Добавка воздуха в топливо – средство снижения оксидов азота и дымности отработавших газов судовых ДВС // Морской вестник. 2015. № 4. С. 66

Для снижения токсичности и дымности отработавших газов ДВС предлагается устройство для кратковременной подачи сжатого воздуха в процессе впрыскивания топлива. Со снижением токсичности и дымности отработавших газов уменьшился удельный эффективный расход топлива. Приведено теоретическое обоснование эффекта. Ил. 7. Библиогр. 4 назв.

УДК 629.5048.1.625.61.087 **Ключевые слова:** импортозамещение, установка для очистки нефтесодержащих вод, установка очистки сточных вод, установка обеззараживания балластных вод

П.В. Наливкин, М.М. Ливкова. Импортозамещение: проблемы и пути их решения на примере ООО «Винета» // Морской вестник. 2015. № 4. С. 68

Рассмотрены проекты установок для очистки нефтесодержащих, сточных вод и обеззараживания балластных вод, разработанные ООО «Винета». Приведены их технические характеристики. Работа нацелена на решение задач, обозначенных в Конвенции МАРПОП-73/78, с помощью отечественного оборудования. Т. 2. Ил. 1.

УДК 62.347:62–231.311. **Ключевые слова:** судовая арматура, четвертьоборотный электропривод, безредукторный привод, четырехзвенные механизмы, малошумные электропривода

А.С. Петрушенко, В.В. Николаев, О.В. Елифанов. Четвертьоборотный электропривод судовой арматуры на основе четырехзвенного механизма // Морской вестник. 2015. № 4. С. 73

Проанализированы особенности создания безредукторных электроприводов для четвертьоборотной судовой арматуры на основе четырехзвенного передаточного механизма. Приведены результаты расчетов и характеристики электропривода. Рассмотрены преимущества и недостатки. Ил.12. Библиогр. 2 назв.

УДК 623.094 **Ключевые слова:** магнитное поле, система размагничивания, компенсация поля, датчик магнитного поля, преобразователь, размагничивающее устройство

Б.Ю. Семенов. Современные системы компенсации магнитных полей корабельных корпусных конструкций: взгляд сквозь призму мирового опыта // Морской вестник. 2015. № 4. С. 77

Проанализирован современный мировой технический уровень в области разработки и производства аппаратуры для корабельных размагничивающих устройств, рассмотрены достоинства и недостатки, предложен вариант построения аппаратуры, позволяющий обеспечить актуальные тактико-технические требования. Ил.7.

УДК 681.3.06 **Ключевые слова:** состояние, движение, параметры, управляемый процесс, оценки

К.Ю. Шилов, В.К. Болховитинов. Управляемый процесс движения в геометрических оценках фазовых параметров состояния // Морской вестник. 2015. № 4. С. 81

Проанализированы геометрические оценки качества функционирования алгоритмического обеспечения систем управления движением, выполненные по базам знаний в реальном масштабе времени. Т. 1. Ил.4. Библиогр. 5 назв.

УДК 629.5.06–52 **Ключевые слова:** технические средства, система управления, пульт, комплексирование, интерфейс, обмен данными, алгоритмы

Б.В. Грек, С.Н. Сурин. Унифицированные рабочие места операторов в системах управления техническими средствами надводных кораблей // Морской вестник. 2015. № 4. С. 85

Рассмотрен пульт, унифицированный по конструкции и программному обеспечению, обеспечивающий работу оператора в интегрированной системе и переключение режимов управления различными технологическими процессами разнородных функциональных комплексов и технических средств корабля. Ил. 6. Библиогр. 3 назв.

УДК 623.546 **Ключевые слова:** управление конечным положением, устойчивость, точность

О.С. Селивохин, М.А. Ермолина, Д.В. Першин. К задаче управления конечным положением движущихся объектов // Морской вестник. 2015. № 4. С. 91

Разработан метод синтеза закона управления, в рамках которого сформирована структура переменных коэффициентов, и для нее получены достаточные условия асимптотической устойчивости и предельной точности. При этом имеется определенная свобода выбора постоянных параметров, что позволяет держать в поле зрения и другие характеристики системы. Предложенный закон управления придает процессу – при надлежащем выборе параметров – способность подавлять внешние возмущения, в этом случае терминальная ошибка выходной переменной стремится к нулю, несмотря на произвольные ограниченные воздействия. Ил. 5. Библиогр. 12 назв.

УДК 53.072:68113.3 **Ключевые слова:** система управления, точностные характеристики, моделирование

В.В. Каманин, А.Г. Юрескул, И.В. Симановский. Пути повышения точности полунатурного моделирования при разработке сложных систем управления // Морской вестник. 2015. № 4. С. 95

Рассмотрены вопросы оценки и повышения точности полунатурного эксперимента, факторы, влияющие на достоверность результатов, особенности использования стендового и испытательного оборудования, а также программно-алгоритмические методы оценки результатов испытаний. Библиогр. 8 назв.

УДК 629.564 **Ключевые слова:** маневрирование, система управления, оптимизация

В.В. Ровник. Объектовые испытания систем управления маневрированием. Опыт работы и пути оптимизации // Морской вестник. 2015. № 4. С. 99

Описаны возможности применения современных средств регистрации и математического аппарата для формирования упорядоченной структуры регулировочно-наладочных работ (РНР) и повышения качества систем управления маневрированием (СУМ). Предложены организационная структура построения цикла объектовых РНР и испытаний СУМ, а также ряд организационных мер для сокращения временных издержек и трудоемкости работ в период объектовых испытаний, не имеющих конечного и количественно измеримого результата.

УДК 623.98 **Ключевые слова:** вариант применения, имитационное моделирование, морской робо-

тотехнический комплекс, оценка эффективности, система показателей

В.В. Ханьчичев, А.В. Уланов. Методический подход к оценке эффективности применения морских робототехнических комплексов // Морской вестник. 2015. № 4. С. 103

Рассмотрены подходы к оценке эффективности применения морских робототехнических комплексов (МРК). Проанализированы способы оценки эффективности, предложена трехуровневая система показателей эффективности вариантов применения МРК. Показан метод оценки эффективности применения МРК на основе системы имитационных математических моделей распределенной архитектуры, реализованной в автоматизированной системе моделирования. Рассмотрен сравнительный анализ вариантов применения МРК с помощью метода сводных показателей. Ил.5. Библиогр. 9 назв.

УДК 621.396 **Ключевые слова:** атомная подводная лодка, подледный прием спутниковых навигационных сигналов, паровоздушное антенное устройство

В.А. Катенин, В.А. Горбачев, А.В. Катенин, С.П. Мелешонок. Паровоздушное антенное устройство для подледного приема сигналов спутниковых навигационных систем // Морской вестник. 2015. № 4. С. 111

Описаны принцип действия и конструкция паровоздушного антенного устройства для приема сигналов спутниковых навигационных систем на подводной лодке, находящейся подо льдом. Применение паровоздушного антенного устройства позволяет повысить вероятность производства обсервации, увеличить доступность спутниковых навигационных системы в высоких широтах, а также снизить вероятность обнаружения подводной лодки за счет использования спутниковых средств коррекции (обсервации). Ил. 6. Библиогр. 8 назв.

УДК 659.4.011 **Ключевые слова:** «Нева-2015», многолучевой эхолот, зарубежные партнеры, система видеонаблюдения, импортозамещение

В.С. Кожевников. Участие АО «Морские Навигационные Системы» в выставке «Нева-2015» // Морской вестник. 2015. № 4. С. 115

Посвящена результатам участия АО «Морские Навигационные Системы» в Международной выставке «Нева-2015», на которой демонстрировалась продукция фирмы. Большой интерес участников выставки был проявлен к системе видеонаблюдения «МНС-АРГО», а также к оборудованию партнеров. Ил.4.

УДК 629.123 **Ключевые слова:** судостроение, судоходство, морская техника, «Norshipping-2015», динамика строительства, тоннаж, газовозы, контейнеровозы, оффшорные суда

Е.А. Горин, К.С. Чернов. Мировое судоходство и морская техника. Часть 1. Состояние и перспективы (по итогам «Norshipping-2015») // Морской вестник. 2015. № 4. С. 116

Обсуждаются состояние мирового судостроительного рынка, основные тенденции в мировом судостроении и оффшорной технике, текущие показатели и перспективы заказов основных типов судов. Рассмотрены направления развития морской техники по представленным материалам и результатам дискуссий на ведущем морском форуме «Norshipping-2015». Т. 7. Ил. 7. Библиогр. 7 назв.

УДК 311.101:001.62 **Ключевые слова:** управление, человеческие ресурсы, персонал, высшее образование, гуманизация, производство, кораблестроение

А.В. Солдатов, М.М. Шевченко, В.И. Медведев. Естественная и гуманитарная среда вуза как фундаментальная основа формирования специалиста будущего (на примере СПбГМУ) // Морской вестник. 2015. № 4. С. 120

О проблеме подготовки современного руководителя в РФ. Показано, что за последний период эффективные российские предприятия овладели современными методами работы с персоналом. Значительную помощь в этом им оказывает высшая школа, повышая гуманитарный и научно-технический потенциал будущих руководителей. Библиогр. 7 назв.

УДК 629.5 **Ключевые слова:** КНР, Северное ПКБ, эсминец, проект, сотрудничество

В.Е. Юннин. Военно-техническое сотрудничество Северного ПКБ с Китаем // Морской вестник. 2015. № 4. С. 123

Обобщен опыт сотрудничества Северного ПКБ с Китаем в 90-е гг. в области проектирования боевых кораблей. Ил.2. Библиогр.3 назв.

1. Authors shall submit articles of up to 20,000 characters, including figures, in electronic form. The text shall be typed in MS Word under Windows, formulas – in the equation editor "MathType." Illustrations present in the article shall be submitted additionally, in the following formats: TIFF CMYK (full color), TIFF GRAYSCALE (grayscale), TIFF BITMAP (dashed), EPS, JPEG, with resolution of 300 dpi for grayscale figures and 600 dpi for dashed ones and in sizes desired for placement.

2. Articles shall contain an abstract of up to 300 characters, keywords, and bibliographic library UDC identifier. Authors shall indicate their degree, academic status, place of employment, job position, and telephone number, as well as provide a written permission of the Editor to place articles on the Internet and in the Scientific Electronic Library after publication in the journal. Articles shall be submitted with reviews.

3. The articles of postgraduate and degree-seeking students shall be accepted for publication on a free and royalty-free basis.

4. The control review of these articles shall be performed by the editorial board, with the assistance of dedicated experts, if necessary. Reviews of articles are stored in editorial office of the magazine within 5 years.

5. In case of refusal to publish articles, reviews shall be sent to authors. Copies of reviews go to the Ministry of Education and Science of the Russian Federation at receipt of the corresponding inquiry in editorial office of the magazine

6. The contents of the journal shall be submitted to the editorial board quarterly. The decision concerning the next issue of the journal shall be formally established with the protocol

SUMMARIES

UDC 629.1.03 **Keywords:** Submarine «Krasnodar», raising the flag

Submarine «Krasnodar» transferred to the Russian Federation Navy // Morskoy Vestnik. 2015. №4. P. 1

Notice of transferring the submarine «Krasnodar», the fourth in the series, to the Russian Federation Navy. The submarine was built at the JSC «Admiralteyskie verfi». Its specifications are presented. In March and April 2016 two more submarines, the last in the series, «Veliky Novgorod» and «Kolpino», will be launched and till the end of the year transferred to the Navy. Fig. 2.

UDC 621.165 **Keywords:** SF «Almaz», Sobol border patrol craft, Svetlyak border patrol ship, pr. 02690 self-propelled floating crane

L.G. Grabovets. «Almaz» appropriately completes a year's work // Morskoy Vestnik. 2015. №4. P. 7

Shipbuilding Firm «Almaz» sums up at the end of the year, which culminated in the transfer of the two pr. 12200 Sobol crafts, the Svetlyak border patrol ship for the Coast Guard and the pr. 02690 sea-going self-propelled floating crane. Fig. 4.

UDC 621.039:621.431 **Keywords:** Canadian Navy, Arctic patrol ship, project, evolution

N.N. Komarov, D.Yu. Litinsky. The evolution of the project of an Royal Canadian Navy Arctic patrol ship // Morskoy Vestnik. 2015. №4. P. 9

The article details the evolution of designing a Royal Canadian Navy Arctic patrol ship – the Arctic Offshore Patrol Ship. The main characteristics of AOPS are given. It analyzes the process of setting forth requirements to the ship and their discussion. During the work, three ship project options were considered. T.1. Fig. 5. Bibliography 6 titles.

UDC 629.05 **Keywords:** composite ship, ship class, overcompleteness, model basin, model, scale, towing test, coefficient of the row

G.V. Egorov, A.V. Demidyuk, A.G. Egorov. Experimental determination of the coefficient of the row of a composite ship for mixed navigation with a great completeness of contours // Morskoy Vestnik. 2015. №4. P. 11

Scale models of a self-propelled pusher and non-self-propelled barge for mixed river-sea navigation with «over-complete» contours were made. Towing test of the models separately and in a tractive connection were carried out. Towing resistance and power were defined. The coefficient of the row of the self-propelled pusher and non-self-propelled barge for mixed river-sea navigation with a total completeness coefficient of 0.93 was obtained. T. 6. Fig. 19. Bibliography 15 titles.

UDC 629.5.01 **Keywords:** design of ships, tanker, oil transportation, general arrangement, load of masses.

G.F. Demeshko, S.N. Ryumin. Legal and regulatory and designing aspects of the creation of modern tankers. Part 2 // Morskoy Vestnik. 2015. №4. P. 18

Continuation of the article, the first part, which was published in the journal «Morskoy Vestnik», 2015, №3. It introduces the development trends of the tanker fleet. The focus is on the calculation of the load of masses, the influence of an ice strengthening category on the weight of the hull, and other issues. Fig. 14. Bibliography 20 titles.

UDC 22.24.085.5 **Keywords:** Arctic technology, drilling, deep-sea research, submersible drilling facility, research submarine

A.A. Astashov. The development of new underwater and

subglacial technologies of research drilling in the Arctic // Morskoy Vestnik. 2015. №4. P. 23

Presents the concept of creating a drilling facility on the basis of an underwater vehicle for marine geological exploration on the Arctic shelf. The use of research submarines for this purpose is a breakthrough technological solution which opens up great prospects for year-round research in the Arctic and for solving the urgent task of expanding the external border of the Arctic continental shelf of the Russian Federation. Fig. 5. Bibliography 5 titles.

UDC 629.645 **Keywords:** ekranoplan, wing, diagram, development, prospect

G.A. Fedoreev, A.S. Znatkov, D.I. Kizilov, P.A. Shaub, S.V. Moskovkina. Ekranoplans today // Morskoy Vestnik. 2015. №4. P. 26

The analysis of solving the problem of creation of small local-purpose ekranoplans is given. The stages of development of ekranoplans both in our country and abroad are considered. It is concluded that it is economically sound to use small ekranoplans in remote Arctic and island territories and that this line needs to be developed and implemented. T. 2. Fig. 1.

UDC 338.2-043.86:629.5 **Keywords:** innovative project, import substitution, diversification, scientific and technical production, investments, business plan, economy

B.A. Gorelik. Technical and economic basis for the creation of import substitution and diversification innovative projects // Morskoy Vestnik. 2015. №4. P. 31

Presents details on the creation of an innovation committee at Acad. A.N. Krylov RosNTO in St. Petersburg. Methodical recommendations for the development of innovative projects in the shipbuilding industry, their structure for the purpose of import substitution and diversification are considered. The main emphasis is on the possibility to sell a materialized innovative product, guaranteeing its purchase, as illustrated by a concrete example.

UDC 621.315.2:629.5.001.4 **Keywords:** «51st CDTSR»), cable products, service life, technical condition, diagnostics

O.A. Bel'sky. Methods of examination of cable products in order to extend their service life on the ships and vessels of the Navy // Morskoy Vestnik. 2015. №4. P. 32

Analyzes the methods of determining the state of the cable insulation materials by the infrared spectroscopy method. It is shown that this method can effectively control the two basic aging process of PVC plastic: its desorption and degradation of the polymer chains. With the increase in the service life of ships up to 50 years, new requirements are set to the insulation materials and the methods of their diagnostics during the operation, on which «51st CDTSR») works on. Fig. 4.

UDC 336 **Keywords:** financial modeling, financial cycle, production cycle, competitiveness, efficiency of production

A.V. Ivankovic. Modeling of the financial cycle to improve economic efficiency and competitiveness of the enterprise // Morskoy Vestnik. 2015. №4. P. 35

The article describes the main provisions of financial modeling for the management of the financial cycle at a shipyard. The proposed measures can achieve resource efficiency of production as a main reserve of competitiveness of the enterprise. Bibliography 2 titles.

UDC 623.611 **Keywords:** «Pella», innovative development of industry

I.L. Vaisman. «Pella»: a contribution to the innovative

development of the industry // Morskoy Vestnik. 2015. №4. P. 38

Familiarizes with the organization of specialized production of modern sea-going ships at the facilities of a new complex for the renewal of the maintenance and fishing fleet, as well as high-tech special-purpose ships by orders of the federal agencies. Designates capacities of the enterprise which implements a system innovation project of developing a new shipbuilding complex with the support of the Governor of Leningrad Region and the «Agency of Strategic Initiatives to Promote New Projects». Fig. 3.

UDC 667.621.6 **Keywords:** infrared identification (IRI), infrared mark (IR mark), infrared Fourier transform spectrometer

A.S. Drinberg, Yu.V. Ulashkevich, I.A. Udenko. Infrared identification of lacquer coatings – dual-use technology // Morskoy Vestnik. 2015. №4. P. 39

Studies the lacquer coating infrared identification technology applied by Western countries. Lacquer coatings used for painting Navy ships are easily identifiable by a laser IR Fourier spectrometer located on the spacecrafts. Fig. 8. Bibliography 8 titles.

UDC 669.2 **Keywords:** ferry, dock, repair, painting

N.M. Vikhrov, A.G. Filimonov. Ferry «Princess Anastasia» underwent dock repair in St. Petersburg // Morskoy Vestnik. 2015. №4. P. 43

The example of dock repair of the ferry «Princess Anastasia» shows the possibility to perform such work as soon as possible at the enterprises of St. Petersburg – JSC «Kanonersky Shipyard» with the participation of «Muehlan Morflot». The work received the approval of an inspector of the supplier of paint-and-lacquer materials, the ferry crew and the shipowner. Fig. 3.

UDC 678.02:620.1 **Keywords:** porthole, pressure, 60 MPa, test chamber, translucent element

N.M. Vikhrov, V.P. Lyanzberg. About high pressure portholes with a translucent element in the form of a disk // Morskoy Vestnik. 2015. №4. P. 45

Makes an analysis of proposed designs of high pressure portholes with a translucent element in the form of a disk and an organic and silica glass shell using constraining washers. It is noted that a positive result is achieved by a precise definition of structural and technological parameters of both elements and assembly. The proposed scheme of the test chamber can solve technological issues at different stages of manufacture and conduct research to determine a cause of the destruction of the element. Fig. 3. Bibliography 6 titles.

UDC 629.5.081 **Keywords:** marine equipment, components, materials, quality

A.S. Solov'ov, G.V. Taritsa, A.V. Filippov. Evaluation of the technical level and quality of marine equipment, components and materials // Morskoy Vestnik. 2015. №4. P. 49

Proposes methods for a systemic evaluation of the technical level and quality of products using the nomenclature of the indicators defined by the degree of influence of the properties of the ship equipment, components and materials on the construction technologies as well as on the characteristics and quality of ships under construction. T. 1. Fig. 1. Bibliography 5 titles.

UDC 629.12.066 (075.8) **Keywords:** electrical propulsion installations, main current circuits, performance characteristics of propulsion motors

V.V. Romanovsky. Electrical propulsion plants for Arctic icebreakers // Morskoy Vestnik. 2015. №4. P. 53

Deals with modern approaches to the design of domestic electrical propulsion plants for the purpose of import substitution of marine electrical equipment. Proposes schemes of arrangement of electrical propulsion plants and gives the basic characteristics of synchronous propulsion motors. Fig. 4. Bibliography 6 titles.

UDC 621.43 **Keywords:** icebreaker, electric power system, design

S.A. Milavin, D.V. Umyarov, V.G. Titov. On peculiarities of designing an electric power system for the project 21900M icebreaker // Morskoj Vestnik. 2015. №4. P. 57

Analyzes some aspects of designing an electric power installation for the project 21900M icebreaker by the design bureau «Vympel». Transient processes in the braking of a ship by reversing the propeller and turning the propeller and steer complex were researched. It is shown that the power control of the turning system carried out using asynchronous motors in the turning mechanism, controlled by a frequency converter, allows you to get away from an unjustified increase in power of the emergency generator. Fig. 6.

UDC 621.43 **Keywords:** ship, electrical equipment, power supply, converter difficulties

A.P. Emel'yanov, V. I. Verzhinin, A.N. Bogdanov. Power supply for ships from a coastal power network // Morskoj Vestnik. 2015. №4. P. 59

Deals with the operation of a ship's coastal electric power converter. It is shown that such a converter combined with a shaft generator, which is connected to the main engine of a ship, can be used to supply a ship on the move in the long run, even when the rotational speed of the propeller shaft changes. Fig. 2.

UDC 621.311 **Keywords:** actuating medium, internal energy, enthalpy, entropy, average gas temperature, indicator temperature

M.N. Pokusaev, P.A. Dorokhov. Thermodynamic analysis of inracylinder processes of the piston engine as one of means of selecting its structural design // Morskoj Vestnik. 2015. №4. P. 63

Considers enthalpy as a thermodynamic potential as well as the heat content of the actuating medium determining the latent energy which opens up the possibilities of converting internal energy into heat and further into work in a piston engine. Introduces the concepts of «total gas temperature» and «average indicator temperature» – as determinants of a possible gas capacity expansion. Fig. 4. Bibliography 12 titles.

UDC 629.12.06 **Keywords:** internal combustion engine (ICE), exhaust gas, nitrogen oxides, smoke, compressed air

V.K. Rumb, O.V. Serazhutdinov. Addition of air to fuel as a means of reducing nitrogen oxides and smoke of exhaust gas of marine ICE // Morskoj Vestnik. 2015. №4. P. 66

To reduce the toxicity and smoke of exhaust gas of internal combustion engines, a device for short-time supply of compressed air during the fuel injection is proposed. At the same time with a decrease in the toxicity and smoke of exhaust gas, it reduced specific fuel consumption. A theoretical justification of the effect is set forth. Fig. 7. Bibliography 4 titles.

UDC 629.5048.1 625.61.087 **Keywords:** import substitution, oily water treatment plant, waste water treatment plant, ballast water disinfection plant

P.V. Nalivkin, M.M. Livkova. Import substitution: problems and solutions by the example of «Vineta» LLC // Morskoj Vestnik. 2015. №4. P. 68

Deals with projects of oily water, waste water and ballast water disinfection plants developed by «Vineta» LLC. Gives their technical characteristics. The work focuses on solving the tasks outlined in the MARPOL-73/78 Convention using domestic equipment. T. 2. Fig. 1.

UDC 62,347:62-231.311 **Keywords:** ship fittings, quarter-electric drive, gearless drive, four-link mechanism, low-noise electric drives

A.S. Petrusenko, V.V. Nikolaev, O.V. Epifanov. Quarter-electric ship fittings drive on the basis of a four-link mechanism // Morskoj Vestnik. 2015. №4. P. 73

Analyzes the specifics of creating gearless electric drives for the ship's quarter fittings on the basis of a four-link transmission mechanism. Gives the calculation results and

characteristics of the electric drive. Advantages and disadvantages are considered. Fig. 12. Bibliography 2 titles.

UDC 623.094 **Keywords:** magnetic field, degaussing system, field compensation, magnetic field sensor, converter, degaussing gears

B.Yu. Semenov. Modern systems of compensation of the magnetic fields of ship hull structures: a view through the prism of international experience // Morskoj Vestnik. 2015. №4. P. 77

Analyzes the current global technical standard for the development and production of equipment for ship degaussing gears, considers advantages and disadvantages, offers an option of building equipment allowing to provide relevant technical and tactical requirements. Fig. 7.

UDC 681.3.06 **Keywords:** state, movement, parameters, controlled process, estimations

K.Yu. Shilov, V.K. Bolkhovitinov. The controlled movement process in the geometric estimations of the basic parameters of the state // Morskoj Vestnik. 2015. №4. P. 81

Analyzes the geometric estimations of the quality of functioning of algorithmic support of motion control systems, carried out on knowledge bases in real time. T. 1. Fig. 4. Bibliography 5 titles.

UDC 629.5.06-52 **Keywords:** hardware, control system, operator panel, computer network, devices, operation mode, interface, unification, data exchange, algorithms, visualization

B.V. Grek, S.N. Surin. Unified operator workstations in the control systems for surface ships hardware // Morskoj Vestnik. 2015. №4. P. 85

Considers a control panel unified in design and software that provides for the operator's work in an integrated system and switching control modes of various technological processes of diverse functional complexes and hardware of the ship. Fig. 6. Bibliography 3 titles.

UDC 623.546 **Keywords:** end position control, stability, accuracy

O.S. Selivohin, M.A. Ermolina, D.V. Pershin. On the problem of controlling the end position of moving objects // Morskoj Vestnik. 2015. №4. P. 91

The method of synthesis of the control law was developed, within which a structure of variable coefficients was formed, and sufficient conditions of asymptotic stability and extreme accuracy were obtained for it. At the same time, there is some freedom of choice of constant parameters, allowing to keep also other characteristics of the system in the field of view. The proposed control law gives the process – in case of an appropriate choice of parameters – the ability to suppress external disturbances, and in that case, the terminal error of the output variable tends to zero despite the arbitrary limited impacts. Fig. 5. Bibliography 12 titles.

UDC 53.072:68113.3 **Keywords:** control systems, precision characteristics, modeling

V.V. Kamanin, A.G. Yureskul, I.V. Simanovsky. The ways to improve the accuracy of semi-natural modeling when developing sophisticated control systems // Morskoj Vestnik. 2015. №4. P. 95

Deals with the problems of assessing and improving the accuracy of a semi-natural experiment, factors affecting the reliability of the results, specifics of the use of bench and test equipment as well as software and algorithmic methods for evaluating the test results. Bibliography 8 titles.

UDC 629.564 **Keywords:** maneuvering, control system, optimization

V.V. Rovnik. The object management systems maneuvering tests. Experience and ways of optimization // Morskoj Vestnik. 2015. №4. P. 99

Describes the possibilities of using modern means of recording and mathematical apparatus for forming an ordered structure of adjustment and alignment operations (AAO) and improving the quality of maneuvering control systems (MCS). Proposes an organizational structure for building a cycle of site AAO and tests of MCS as well as a number of organizational measures to reduce the time costs and labor intensiveness during the site testing without a finite or quantitatively measurable result.

UDC 623.98 **Keywords:** applications, simulation modeling, maritime robotic system, performance evaluation, index system

V.V. Khanychev, A.V. Ulanov. The methodical approach to the performance evaluation of maritime robotic systems // Morskoj Vestnik. 2015. №4. P. 103

Deals with the approaches to the performance evaluation of maritime robotic systems (MRS). Analyzes the ways to evaluate the performance. Proposes a three-level system of performance indexes of MRS applications. As indexes of the top (third) level there used design values reflecting the implementation results of a MRS application in a given period of time.

Shows a method of a MRS performance evaluation based on the system of simulation mathematical models with a distributed architecture, implemented in an automated simulation system. Considers a comparative analysis of MRS applications using the methods of aggregates. Fig. 5. Bibliography 9 titles.

UDC 621.396 **Keywords:** nuclear submarine, under-ice reception of satellite navigation signals, steam-air antenna device

V.A. Katenin, V.A. Gorbachev, A.V. Katenin, S.P. Meleshonok. Steam-air antenna device for under-ice reception of signals of satellite navigation systems // Morskoj Vestnik. 2015. №4. P. 111

Describes the principle of operation and design of a steam-air antenna device for receiving signals of satellite navigation systems on a submarine located under the ice. Use of the steam-air antenna device allows you to increase the probability of observation, increase the availability of satellite navigation systems in high latitudes as well as reduce the probability of finding a submarine through the use of satellite-based correction (observation) facilities. Fig. 6. Bibliography 8 titles.

UDC 659.4.011 **Keywords:** Neva-2015, multi-beam echo sounder, foreign partners, video surveillance system, import substitution

V.S. Kozhevnikov. Participation of «Marine Bridge and Navigation Systems» LTD in the Neva-2015 exhibition // Morskoj Vestnik. 2015. №4. P. 115

Devoted to the results of participation of MNS LTD in the Neva-2015 international exhibition, where the company's products were shown. Great interest of the participants of the exhibition was shown in the video surveillance system «MNS-ARGOS» and equipment of the partners. Fig. 4.

UDC 629.123 **Keywords:** shipbuilding, shipping, marine engineering, «Norshipping-2015», building dynamics, tonnage, gas carriers, container ships, offshore ships

E.A. Gorin, K.S. Chernov. Global shipping and marine engineering. Part 1. States and prospects (based on «Norshipping-2015») // Morskoj Vestnik. 2015. №4. P. 116

Discusses the state of the world shipbuilding market, the main trends in the global shipbuilding and offshore engineering, current performance indexes and prospects of orders for the major ship types. Considers the lines of development of marine engineering based on the materials presented and the results of discussions at the leading maritime forum «Norshipping-2015». T. 7. Fig. 7. Bibliography 7 titles.

UDC 311.101:001.62 **Keywords:** management, human resources, personnel, higher education, humanization, production, shipbuilding

A.V. Soldatov, M.M. Shevchenko, V.I. Medvedev. The natural science and humanities environment of a higher school as a fundamental basis for the formation of a future professional (by the example of SPbSMTU) // Morskoj Vestnik. 2015. №4. P. 120

On the issue of training of a modern manager in the Russian Federation. It is shown that in the last period effective Russian companies possessed modern methods of work with the personnel. The higher school being very helpful in this, increasing the humanitarian and scientific-technical potential of future leaders of various branches of modern industry, including shipbuilding. Bibliography 7 titles.

UDC 629.5 **Keywords:** People's Republic of China (PRC), Northern Planning and Design Bureau (PDB), destroyer, project, cooperation

V.E. Yukhnin. Military-technical cooperation with China, the Severnoye Design Bureau // Morskoj Vestnik. 2015. №4. P. 123

Summarizes the cooperation experience of the Severnoye DB with China in the 1990's in the field of designing destroyers. Fig. 2. Bibliography 3 titles.