Морской Вестник

Morskoy Vestnik

№3(63)
сентябрь
2017
ISSN 1812-3694

Tugs & Workboats
PELLA SHIPYARD

Первое в России судно ярусного лова построено ОАО «Пелла» в 2016 году

Россия, 187330, Ленинградская обл., Кировский р-н, г. Отрадное, ул. Центральная, д.4
Тел.: +7 (812) 336 4066, факс: +7 (81362) 442 91 E-mail: mail@pellaship.ru
www. pellaship.ru

ОАО «ПЕЛЛА» СТРОИТ ПРОМЫСЛОВЫЕ СУДА ДЛЯ ОБНОВЛЕНИЯ РОССИЙСКОГО ФЛОТА

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

ОАО «Ленинградский судостроительный завод «Пелла», признанный лидер российского буксиростроения, продолжает развивать новое направление – строительство рыболовных судов различных типов.

Верфь уже имеет опыт строительства подобных судов. В конце 2016 г. иностранному заказчику было передано судно ярусного лова «VESTLINER» пр. PL475 (подробнее см. «Морской вестник», 2016, № 4 (60)). На данный момент судно успешно эксплуатируется в Норвежском море и показывает высокие операционные результаты.

С февраля по июнь текущего года предприятие заключило семь контрактов на строительство рыболовных судов по трем проектам.

Кормовой траулер пр. 03095 предназначен для ловли донных пород рыб и обработки улова на борту.

Основные технические характеристики траулера пр. 03095

Длина наибольшая, м	Ок. 69,9
Теоретическая ширина на миделе, м	Ок. 13,5
Расчетная осадка, м	Ок. 6,6
Объем рыбного трюма (ниже главной палубы), м^3	Ок. 1400
Валовая вместимость, т	Ок. 2600
Скорость, уз.	Ок. 14,5
Экипаж, чел.	60

Судно, включая оборудование, проектируется и строится по правилам и под наблюдением классификационных обществ: РС – КМ ✪ Ice3 AUT1 REF Fishing vessel и ДНВ ГЛ – ✠ 1A1 ICE-1B Stern Trawler RM (-30 °C/+25 °C sea) E0.

Рыбофабрика траулера оборудована всем необходимым для автоматизированного технологического процесса, транспортерами, бункерами, разделочными машинами, грейдерами, компонентами для дублирования функций и т. п. Фабрика включает линию полного технологического процесса обезглавливания и потрошения белой рыбы для последующей заморозки в вертикальных плиточных морозилках производительностью до 100 т/сут и линией производства филе производительностью до 20 т/сут с заморозкой в горизонтальной морозильной камере. Кроме того, предусмотрена рыбомучная установка производительностью до 50 т/сут.

Верфь ведет строительство четырех кормовых траулеров для заказчиков из Мурманска. Суда будут переданы ему в согласованные сроки.

Судно ярусного лова краба пр. 03070 предназначено для специализированного донного ярусного лова краба (камчатский, опилио, синий и т. п.) конусными ловушками «японского» типа с последующей сортировкой и

Новая площадка ОАО «Пелла»

перегрузкой в решетчатые корзины и транспортировкой живого краба, уложенного в охлажденной и подготовленной забортной воде в специальных изолированных цистернах (RSW-танках).

Основные технические характеристики судна ярусного лова краба пр. 03070

Длина габаритная, м	47,5
Длина между перпендикулярами, м	43,25
Ширина габаритная, м	12,5
Осадка габаритная, м при водоизмещении порожнем около 1200 т	5,4
при полном водоизмещении около 1900 т	6,9
Вместимость RSW-танков, м^3	Ок. 450
Мощность главного двигателя, кВт	1200
Вместимость валовая, т	Ок. 1300
Экипаж, чел.	30
Скорость, уз.	Ок. 12
Символ класса РС–КМ ✪ Ice2 AUT3 (REF) Fishing vessel.	

Строительство судна ярусного лова краба осуществляется для Дальневосточного заказчика. Передача судна намечена на 2019 г.

Средний рыболовный морозильный траулер пр. 1701 предназначен для донного и пелагического промысла и переработки рыбы на борту судна.

Основные технические характеристики морозильного траулера пр. 1701

Длина наибольшая, м	61,04
Длина между перпендикулярами, м	55,07
Ширина наибольшая, м	12,70
Осадка расчетная, м	5,9
Вместимость рыбного трюма, м^3	1200
Мощность главного двигателя, кВт	3480
Валовая вместимость, т	Ок. 1650
Полное водоизмещение, т	2800
Автономность, сут.: по запасам топлива	Не менее 30
по запасам провизии	Не менее 30
Скорость, уз.	Не менее 13,5
Экипаж, чел.	38
Символ класса РС–КМ ✪ Ice2 AUT1 (REF) Fishing vessel.	

Рыбофабрика траулера оснащена:

- линией для филетирования донных видов рыб и замораживания в горизонтальных плиточных морозильных аппаратах;
- линией для обезглавливания и потрошения трески, пикши, сайды, окуня, зубатки, палтуса и т. п., и замораживания в вертикальных плиточных морозильных аппаратах;
- линией для выпуска рыбных ликвидных мороженых отходов (головы, хребты, икра, печень и т. п.) производительностью не менее 5 т/сут;
- линией для обработки пелагических видов рыб, в основном окуня, для обезглавливания и потрошения окуня, обработки его антиокислителем и замораживания в горизонтальных и вертикальных плиточных морозильных аппаратах.

Строительство двух средних рыболовных морозильных траулеров ведется для заказчиков из Мурманска. Передача судов запланирована на 2020 г. ■

Морской Вестник

Morskoy Vestnik

№ 3 (63)
сентябрь
2017

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
Г.А. Туричин, и.о. ректора СПбГМТУ
Члены совета:
М.А.Александров, директор
ЗАО «ЦНИИ СМ»
А.С. Бузаков, генеральный директор
АО «Адмиралтейские верфи»
Н.М.Вихров, генеральный директор
ЗАО «Канонерский судоремонтный завод»
В.Ю. Дорофеев, генеральный директор
АО «СПМБМ "Малахит"»
В.В. Дударенко, председатель совета директоров
ООО «Судпромкомплект»
А.А. Дьячков, генеральный директор
АО «Северное ПКБ»
Г.В. Егоров, генеральный директор
ООО «Морское инженерное бюро-СПб»
А.Ф. Зеньков, генеральный директор АО «ГНИНГИ»
М.А. Иванов, генеральный директор
ОАО «Системы управления и приборы»
В.Н. Илюхин, председатель НО «АРПСТТ»
А.Э. Исаакян, генеральный директор
ООО «Группа «Кронштадт»
Э.А. Конов, директор ООО «Издательство "Мор Вест"»
А.А. Копанев, генеральный директор
АО «НПФ "Меридиан"»
Г.А. Коржавин, генеральный директор
АО «Концерн "Гранит-Электрон"»
А.В. Кузнецов, генеральный директор АО «Армалит»
Л.Г. Кузнецов, генеральный конструктор
АО «Компрессор»
Г.Н. Муру, исполнительный директор АО «51 ЦКТИС»
И.М.Мухутдинов, генеральный директор
ПАО СФ «Алмаз»
Н.В. Орлов, председатель
Санкт-Петербургского Морского Собрания
К.А. Смирнов, генеральный директор АО «МНС»
А.С. Соловьев, генеральный директор
ПАО «Выборгский судостроительный завод»
С.Б. Сухов, генеральный директор
ООО «Пумори-северо-запад»
И.С. Суховинский, директор ООО «ВИНЕТА»
В.С. Татарский, генеральный директор АО «ЭРА»
А.Н. Тихомиров, генеральный директор
ЗАО «Транстех Нева Эксибишнс»
Р.А. Урусов, генеральный директор
АО «Новая ЭРА»
С.Г. Филимонов, генеральный директор
ЗАО «Концерн "Морфлот"»
В.В. Ханычев, генеральный директор
АО «ЦНИИ "Курс"»
Г.Р. Цатуров, генеральный директор
ОАО «Пелла»
В.В. Шаталов, генеральный директор
АО «КБ "Вымпел"»
К.Ю. Шилов, генеральный директор
АО «Концерн "НПО "Аврора"»
А.В. Шляхтенко, генеральный директор
АО «ЦМКБ "Алмаз"»
И.В. Щербаков, генеральный директор
ООО «ПКБ "Петробалт"»

СОДЕРЖАНИЕ

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И КОНСТРУКЦИЯ СУДОВ

И.Л. Вайсман, И.И. Машура. *ОАО «Пелла» строит промысловые суда для обновления российского флота* 1

Г.В. Егоров, Д.В. Колесник, Е.А. Осадчий. *Суда смешанного плавания и железнодорожные паромы нового поколения, работающие на СПГ* 7

А.И. Короткин, Е.А. Морозова (Бусоргина). *Тяга плавникового движителя на швартовном режиме* 13

Р.Н. Караев. *Особенности сейсморазведочных судов с учетом специфики их эксплуатации* 15

Профессор С.И. Логачев 21

П.С. Кальясов, М.П. Лобачев, А.И. Лукьянов, А.В. Февральских, В.В. Шабаров. *Сравнительный анализ двух подходов к разработке аэрогидродинамической компоновки скоростного амфибийного судна* 22

Закладка подводных лодок «Петропавловск-Камчатский» и «Волхов» 27

«Северная верфь» спустила на воду корабль специального назначения и корвет 28

ТЕХНОЛОГИЯ СУДОСТРОЕНИЯ, СУДОРЕМОНТА И ОРГАНИЗАЦИЯ СУДОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Н.В. Ворошилов. *Актуальные проблемы формирования стоимости постройки гражданских судов в Российской Федерации. Пути повышения конкурентоспособности российских верфей на отечественном и международном судостроительном рынках* 31

Д.А. Бардадим, А.Е. Калиничев, В.С. Яковлев. *Анализ весовой эффективности судовых переборочных перекрытий различных архитектурных типов и материалов* 34

К.Л. Новиков. *Защита корпусов судов и кораблей иностранной постройки* 41

А.В. Иванкович. *Стратегии прошлые и будущие* 42

СУДОВЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ И ИХ ЭЛЕМЕНТЫ

Ю.А. Лебедев, В.Ю. Ситников. *Проблемы проектирования рулевых машин роторного типа* 47

П.А. Лебедева, А.С. Суханов. *АО «Армалит» вывело качество литья на новый уровень* 53

И.М. Рагузин. *Передовые технологии АО «Новая ЭРА»: плетеная медная шина – альтернатива кабелю* 54

Д.В. Умяров, А.Я. Кокин, О.И. Самойлов. *Многоуровневые преобразователи частоты в системах электродвижения судов* 57

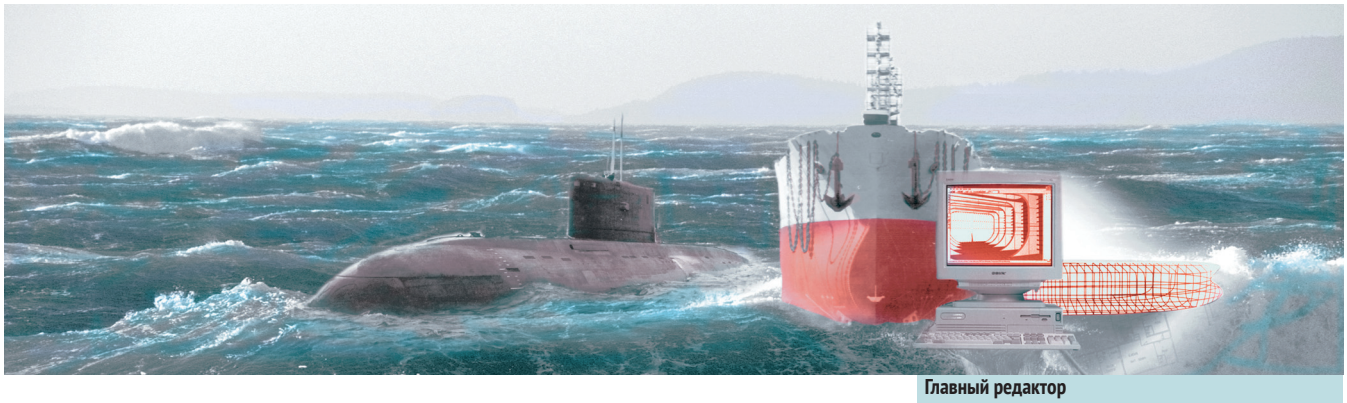
М.И. Говоровская. *Разработка математических методов структурного анализа СУ ЯЭУ* 63

Генеральному конструктору АО «Компрессор» Л.Г. Кузнецову – 70 лет 67

Б.Ф. Дмитриев, С.Я. Галушин, А.М. Лихоманов, А.Ю. Розов. *Мостовые выпрямители с импульсно-модуляционным управлением* 68

П.В. Наливкин, И.В. Плещенков, А.С. Витковский. *Системы очистки воздуха судовых двигателей и освоение композитных материалов для их изготовления в ООО «Винета»* 71

А.А. Юртаев, А.А. Юртаев, А.А. Семенихин, Д.И. Ибрагимов. *Изученность методов повышения эффективности сопловых аппаратов малорасходных турбин* 76



ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ И УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ

Д.А. Кондратьев, А.Г. Юрескул, В.В. Каманин, Ю.Ф. Подоплёкин. *Гражданское применение беспилотных летательных аппаратов морского базирования для решения задач мониторинга водных биоресурсов* 79

В.В. Кобзев, А.П. Чернёв. *Моделирование управляющих действий оператора при работе с сенсорным экраном* 83

В.А. Горнаков, В.Р. Лошаков. *Метод точного сопровождения по углу места низколетящей цели в условиях интерференции* 90

В.М. Амбросовский, Д.В. Казунин. *Идентификация параметров математической модели движения морского подвижного объекта* 95

Ю.А. Мальченко. *Спасение океана в наших руках* 99

И.О. Прутчиков, В.В. Камлюк, Е.Л. Каулин, В.И. Михайлов, Л.С. Федяев. *Системы мониторинга, контроля и управления бесперебойным жизнеобеспечением автономных объектов на основе комбинированного применения оптико-электронных средств обнаружения и распознавания событий* 102

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА, СУДОВОЖДЕНИЕ

В.Н. Илюхин, А.Б. Фёдоров. *О системном решении актуальных проблем обеспечения безопасности и эффективности выполнения аварийно-спасательных работ на море на основе учёта гидрометеорологических условий* 107

П.В. Гуров, А.Е. Жуков, Б.П. Ионов. *Буксировочный дрейф: движение буксируемого объекта прямым курсом за идеальным буксировщиком* 114

ВЫСТАВКИ И КОНФЕРЕНЦИИ

Д.Е. Цыганков. *Участие АО «ЦМКБ «Алмаз» в Международном военно-морском салоне–2017* 117

ИСТОРИЯ СУДОСТРОЕНИЯ И ФЛОТА

В.Е. Юхнин. *Вертолеты на кораблях* 121

В МОРСКОМ СОБРАНИИ

45-я ассамблея Санкт-Петербургского Морского Собрания 125

В АССОЦИАЦИИ СУДОСТРОИТЕЛЕЙ

Итоги юбилейного собрания Ассоциации судостроителей Санкт-Петербурга и Ленинградской области и секции судостроения 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
Е.А. Горин, д-р эконом. наук
Е.В. Игошин, канд. техн. наук
Б.П. Ионов, д-р техн. наук, проф.
Д.В. Казунин, д-р техн. наук
Р.Н. Караев, канд. техн. наук
Ю.Н. Кормилицин, д-р техн. наук, проф.
А.И. Короткин, д-р техн. наук, проф.
П.И. Малеев, д-р техн. наук
Ю.И.Нечаев, д-р техн. наук, проф.
Ю.Ф.Подоплёкин, д-р техн. наук, проф., акад. РАРАН
В.Н. Половинкин, д-р техн. наук, проф.
Л.А. Промыслов, канд. техн. наук
Ю.Д. Пряхин, 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. Ильичёва
Дизайн, верстка
С.А. Кириллов, В.Л. Колпакова
Адрес редакции
190000, Санкт-Петербург,
наб. реки Мойки, 84, пом. 13Н
Журнал зарегистрирован Министерством РФ по делам печати, телерадиовещания и средств массовых коммуникаций. Свидетельство о регистрации ПИ № 77-12047 от 11 марта 2002 г.
Учредитель-издатель
ООО «Издательство "Мор Вест"»,
190000, Санкт-Петербург,
наб. реки Мойки, 84, пом. 13Н
Электронная версия журнала
размещена на сайте ООО «Научная электронная библиотека» www. elibrary. ru и включена в Российский индекс научного цитирования
Решением Президиума ВАК журнал «Морской вестник» включен в перечень ведущих научных журналов и изданий, выпускаемых в РФ, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук. www.perechen.vak2.ed.gov.ru
Подписка на журнал «Морской вестник»
(индекс 36093) может быть оформлена по каталогу Агентства «Роспечать» или непосредственно в редакции журнала через издательство «Мор Вест»
Отпечатано в типографии «Премиум-пресс»
Тираж 1000 экз. Заказ № 1592

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

№3(63)
September
2017

Morskoy Vestnik

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
G.A. Turichin, Acting rector SPbSMTU
Council Members:
M.A. Alexandrov, Director
JSC CRIME
A.S. Buzakov, General Director
JSC Admiralty Shipyards
A.A. Diachkov, General Director
JSC Severnoye Design Bureau
V.Yu. Dorofeev, General Director
JSC SPMBM Malachite
V.V. Dudarenko, Chairman of the Board of Director
JSC Sudpromkomplekt
G.V. Egorov, General Director
JSC Marine Engineering Bureau SPb
S.G. Filimonov, General Director
JSC Concern Morflot
M.A. Ivanov, General Director
JSC Control Systems and Instruments
V.N. Ilukhin, Chairman NO ASRTD
A.E. Isaakyan, General Director
JSC Kronstadt Group
V.V. Khanychev, General Director
JSC CSRI Kurs
E.A. Konov, Director
JSC Publishing House Mor Vest
A.A. 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, General Designer
JSC Compressor
G.N. Muru, Executive Director JSC 51 CDTISR
I.M. Mukhutdinov, General Director
JSC SF Almaz
N.V. Orlov, Chairman
St. Petersburg Marine Assembly
I.V. Scherbakov, General Director JSC PDB Petrobalt
V.V. Shatalov, General Director
JSC DB Vympel
K.Yu. Shilov, General Director
JSC Concern SPA Avrora
A.V. Shlyakhtenko, General Director JSC CMDB Almaz
K.A. Smirnov, General Directors JSC MNS
A.S. Solov'yev, General Director
PJSC Vyborg Shipyard
S.B. Sukhov, General Director
JSC Pumori-north-west
I.S. Sukhovinsky, Director JSC VINETA
V.S. Tatarsky, General Director JSC ERA
A.N. Tikhomirov, General Director
JSC Transtech Neva Exhibition
G.R. Tsaturov, General Director
OJSC Pella
R.A. Urusov, General Director OJSC NE
N.M. Vikhrov, General Director
JSC Kanonersky Shiprepairing Yard
A.F. Zen'kov, General Director JSC SRNHI

CONTENTS

SHIP DESIGN AND CONSTRUCTION

I.L. Vaisman, I.I. Mashura. *OJSC Pella builds commercial vessels for the renovation of the russian fleet* 1

G.V. Egorov, D.V. Kolesnik, E.A. Osadchy. *Vessels of mixed navigation and new-generation rail ferries operating on LNG* 7

A.I. Korotkin, E.A. Morozova (Busorgina). *Thrust of the fin engine at the mooring* 13

R.N. Karaev. *Features of seismic survey vessels taking into account the specifics of their operation* 15

Professor S.I. Logachev 21

P.S. Kal'yasov, M.P. Lobachev, A.I. Luk'yanov, A.V. Fevral'skikh, V.V. Shabarov. *Comparative analysis of two approaches to the development of aerohydrodynamic configuration of a high-speed amphibian vessel* 22

Submarine laying «Petropavlovsk-Kamchatsky» and «Volkhov» 27

Northern Shipyard launched a special-purpose ship and a corvette 28

TECHNOLOGY OF SHIPBUILDING, SHIP REPAIR AND ORGANIZATION OF SHIPBUILDING

N.V. Voroshilov. *Actual problems of forming the cost of building civil vessels in the Russian Federation. Ways of increasing the competitiveness of Russian shipyards in the domestic and international shipbuilding markets* 31

D.A. Bardadim, A.E. Kalinichev, V.S. Yakovlev. *Analysis of the weight efficiency of ship bulkheads of different architectural types and materials* 34

K.L. Novikov. *Protection of hulls of ships and ships of foreign construction* 41

A.V. Ivankovich. *Strategies past and future* 42

SHIP POWER PLANTS AND THEIR ELEMENTS

Yu.A. Lebedev, V.Yu. Sitnikov. *Problems in the design of rotary-type steering machines* 47

P.A. Lebedeva. A.S. Sukhanov. *JSC «Armalit» brought the quality of casting to a new* 53

I.M. Raguzin. *Advanced technologies of the OJSC «NE»: braided copper bus – an alternative to the cable* 54

D.V. Umyarov, A.Ya. Kokin, O.I. Samoilov. *Multilevel frequency converters in the systems of electromotion of ships* 57

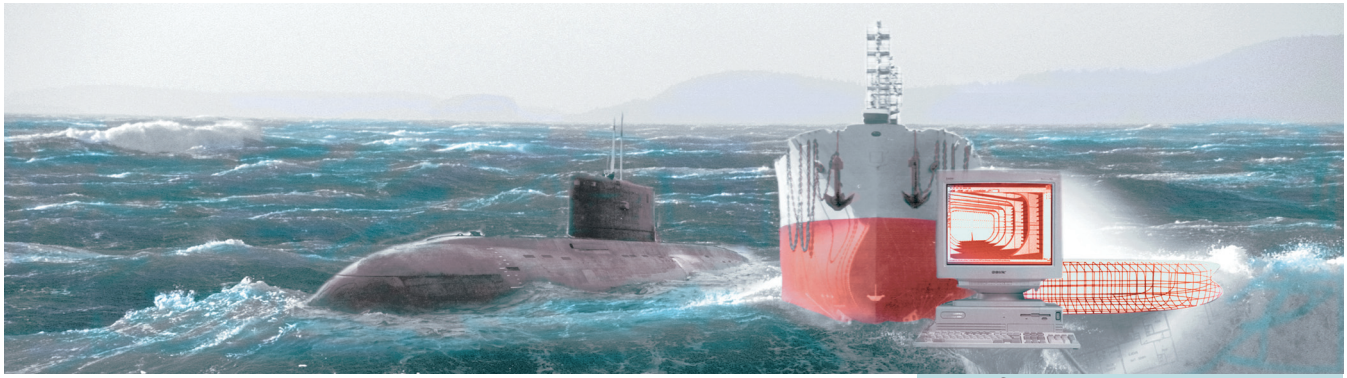
M.I. Govorovskaya. *Development of mathematical methods for structural analysis of the nuclear power unit control system* 63

General Designer of JSC Compressor L.G. Kuznetsov – 70 years old 67

B.F. Dmitriev, S.Ya. Galushin, A.M. Likhomanov, A.Yu. Rozov. *Bridge rectifiers with pulse-modulation control* 68

P.V. Nalivkin, I.V. Pleshchenkov, A.S. Witkowsky. *Systems of air purification of ship engines and mastering of composite materials for their manufacture in JSC Vineta* 71

A.A. Yurtaev, A.A. Yurtaev, A.A. Semenikhin, D.I. Ibragimov. *The study of methods for increasing the efficiency of nozzle apparatus of low-flow turbines* 76



INFORMATION-MEASURING AND MANAGEMENT SYSTEMS

D.A. Kondrat'ev, A.G. Yureskul, V.V. Kamanin, Yu.F. Podoplyokin. *Civil application of sea-based unmanned aerial vehicles for solving the problems of monitoring of aquatic biological resources* 79

V.V. Kobzev, A.P. Chernyov. *Simulation of control actions of the operator when working with a touch screen* 83

V.A. Gornakov, V.R. Loshakov. *The method of accurate tracking by the elevation angle of a low-flying target under interference conditions* 90

V.M. Ambrosovsky, D.V. Kazunin. *Identification of the parameters of the mathematical model of the motion of a marine mobile object* 95

Yu.A. Mal'chenko. *Salvation of the ocean in our hands* 99

I.O. Prutchikov, V.V. Kamlyuk, E.L. Kaulin, V.I. Mikhailov, L.S. Fedyaev. *Systems of monitoring, control and management of uninterrupted life support of autonomous objects on the basis of combined application of opto-electronic means of detection and recognition of events* 102

OPERATION OF WATER TRANSPORT, SHIP NAVIGATION

V.N. Ilyukhin, A.B. Fedorov. *On the systemic solution of urgent problems of ensuring safety and efficiency of emergency rescue operations at sea on the basis of metering of hydrometeorological conditions* 107

P.V. Gurov, A.E. Zhukov, B.P. Ionov. *Towing drift: the movement of a towed object by a straight course behind an ideal towing vehicle* 114

EXHIBITIONS AND CONFERENCES

D.E. Tsygankov. *Participation of JSC CDMB Almaz in the International Naval Salon–2017* 117

THE HISTORY OF SHIPBUILDING AND FLEET

V.E. Yukhnin. *Helicopters on ships* 121

IN THE MARITIME ASSEMBLY

45th Assembly of the Saint-Petersburg Maritime Assembly 125

IN THE ASSOCIATION OF SHIPBUILDERS

Summary of the jubilee meeting of the Association of Shipbuilders of Saint-Petersburg and the Leningrad Region and the Shipbuilding Section of the Marine Council under the Government of Saint-Petersburg 127

Editor-in-Chief
E.A. Konov, Ph. D.
Deputy Editor-in-Chief
D.S. Glukhov
Phone/Fax: +7 (812) 6004586
Fax: +7 (812) 5711545
E-mail: morvest@gmail. com
www. morvest. ru
Editorial Collegium
V.I. Chernenko, D. Sc., Prof.
E.A. Gorin, D. Sc.
E.V. Igoshin, Ph. D.
B.P. Ionov, D. Sc., Prof.
D.V. Kazunin, D. Sc.
R.N. Karaev, Ph. D.
Yu.N. Kormilitsin, D. Sc., Prof.
A.I. Korotkin, D. Sc., Prof.
P.I. Maleev, D. Sc.
Yu.I. Nechaev, D. Sc., Prof.
Yu.F. Podopliekin, D. Sc., Prof., member of the Academy of Rocket and Artillery of Sciences of Russia
V.N. Polovinkin, D. Sc., Prof.
L.A. Promyslov, Ph. D.
Yu.D. Pryakhin, D. Sc., Prof.
A.V. Pustoshny, corresponding member of the Academy of Sciences of Russia
A.A. Rodionov, D. Sc., Prof.
K.V. 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 Sertificate 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 electronnaya 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 № 1592
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

СУДА СМЕШАННОГО ПЛАВАНИЯ И ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЕ ПАРОМЫ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ, РАБОТАЮЩИЕ НА СПГ

***Г.В. Егоров**, д-р техн. наук, проф., ген. директор,*
***Д.В. Колесник**, руководитель отдела,*
***Е.А. Осадчий**, зам. руководителя отдела,*
«Морское Инженерное Бюро-СПб»,
контакт. тел. (812) 232 8538

Большинство организаций, входящих в ООН, в том числе ИМО, уделяет в своей деятельности существенное внимание экологической составляющей. Примером является поэтапное ужесточение в соответствии с Приложением VI МК МАРПОЛ требований к выхлопным газам двигателей судов по содержанию в них оксидов серы, азота и твердых частиц.

Наиболее жесткие ограничения установлены для районов контроля выбросов (Emission Control Areas – ECA), к числу которых сейчас относят Балтийское и Северное моря, прибрежные воды США и Канады. В настоящее время ИМО обсуждает расширение ECA на Средиземное море, побережье Японии и др.

Значительную часть ходового времени отечественные суда смешанного река-море плавания (ССП), в том числе танкеры пр. RST27 [12] (на сегодняшний день построено 40 судов), а также новые железнодорожные паромы для Калининградской области пр. CNF19M [13], могут эксплуатироваться в пределах ECA. При включении в список ECA Средиземного моря, вопрос о соответствии требований к выбросам встанет перед судовладельцами ССП наиболее остро.

Выполнение требований Приложения VI МК МАРПОЛ на судах различных типов рассматривались специалистами классификационных обществ [1, 9] и исследователями [2, 5, 7, 8, 12, 11], однако для ССП в силу их габаритных ограничений и особенностей эксплуатации требуется уточнение полученных ранее теоретических и практических решений.

Цель статьи – поиск таких технических решений, которые позволят решить проблему с выбросами от двигателей для перспективных серий ССП на примере танкера пр. RST27 и пароме пр. CNF19M.

Существует несколько способов решения проблемы соответствия требованиям конвенции МАРПОЛ по содержанию вредных газов, в том числе использование малосернистого дизельного топлива; тяжелого топлива (ТТ) при условии оборудования судов скрубберами – системами очистки выхлопных газов от окислов серы; использование в качестве топлива природного газа (ПГ).

Применение малосернистого дизельного топлива (ДТ) неоправданно из-за его высокой цены по сравнению с ТТ и ПГ. Использование скрубберов, например, на танкерах пр. RST27 является нецелесообразным, так как размещение скрубберов, предлагаемых к поставке различными фирмами (габариты агрегата около 5400×2700×1700 мм), потребует кардинального изменения конструкции надстройки, шахты МО и расположения механизмов в МО. Кроме того, независимо от применяемого жидкого топлива для удовлетворения норм по выбросам NOX Tier III, которые вступили в силу с 1.01.2016, требуется установка дополнительных систем очистки выхлопных газов от окислов азота.

Поэтому применение ПГ в качестве основного судового топлива для танкеров пр. RST27 и паромов пр. CNF19M для соответствия требованиям по выбросам в атмосферу обладает принципиальными преимуществами:

- позволяет полностью исключить выбросы серы, существенно сократить выбросы оксидов азота (на 85%) и углерода (на 25%), а также твердых частиц [11];
- уровень выбросов окислов азота (NOX), в случае применения природного газа будет соответствовать требованиям МАРПОЛ Tier III без применения дополнительных систем очистки газов [13].

В последнее время наблюдается устойчивая тенденция к увеличению количества судов, использующих ПГ в качестве топлива. На судах для перевозки сжиженного природного газа (СПГ) газ довольно успешно применяется в качестве топлива с 60-х гг. XX в. Растет количество паромов, судов обеспечения, судов специального назначения, танкеров, прогулочных судов и прочих, использующих ПГ [5].

Начинают появляться суда, использующие ПГ в качестве топлива, с прямой дизельной передачей на винт. В то время как на подавляющем большинстве остальных судов, на которых ПГ сжигается в дизелях, эти дизели входят в состав судовых электростанций, и применяется электрическая передача на винт.

Наиболее важным фактором, определяющим возможность применения СПГ в качестве топлива на судах, работающих в отечественных портах, является возможность их обеспечения этим топливом в необходимом объеме.

В Европе данным вопросом занимаются многие организации и структуры. В материалах доклада «Североевропейский проект инфраструктуры СПГ: анализ технической возможности создания инфраструктуры бункерных станций СПГ и оценка рекомендаций» для Датской морской администрации [12] описаны возможные способы бункеровки судов СПГ: с автомобиля-заправщика на судно, с терминала на судно или с судна на судно; приведены данные о существующих и планируемых к постройке станциях бункеровки СПГ; проанализированы основные риски при бункеровке газом и пути их сокращения; приведены прогнозы на цены бункерного СПГ и т. д.

Теперь проанализируем возможность применения ПГ на танкерах смешанного река-море плавания пр. RST27 (рис. 1) «Морского Инженерного Бюро» [3].

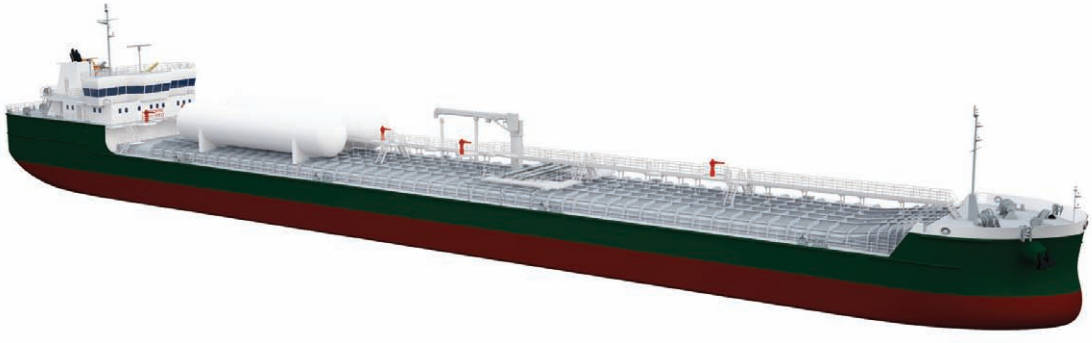


Рис. 1. ***Общий вид танкера-газохода смешанного плавания пр. RST27***

Обозначим основной круг вопросов, которые необходимо для этого решить:

- выбор главных двигателей для работы на ПГ с сохранением концепции прямой передачи крутящего момента на винт;
- выбор и размещение вспомогательного оборудования, необходимого для работы главных двигателей на ПГ;
- проверка возможности применения ПГ для паровых котлов и дизель-генераторов;
- выбор способа хранения ПГ, емкостей для хранения и их размещение на судне;
- обеспечение безопасной эксплуатации танкера при наличии ПГ на борту.

При проектировании и эксплуатации судов с ПГ на борту особое внимание следует уделять обеспечению безопасности. Приведем характерные виды опасностей, обусловленные наличием на судне сжиженного ПГ и его паров [1]: объемный взрыв газа в газообразном состоянии возникает в замкнутом объеме в результате его утечки при наличии источника воспламенения; взрыв емкостей для хранения газа в результате повышения давления; пожар в результате горения разлившегося газа или струйный пожар в результате горения газа под давлением; газовое облако, в котором может возникнуть пожар; быстрое фазовое превращение при попадании сжиженного газа в воду, аналогично взрыву без возгорания; rollover – резкое значительное увеличение давления в криогенной емкости в результате перемешивания слоев газа с различной плотностью и резкого увеличения интенсивности парообразования в емкости; удушение в результате попадания человека в облако газа; травмы от низких температур в результате воздействия сжиженного газа при контакте с кожей человека; загрязнение атмосферы в результате утечки газа.

Также обозначим характерные опасности, связанные с использованием ПГ в двигателях внутреннего сгорания: объемный взрыв утечек газа в картере двигателя, в выхлопном коллекторе, в воздушном коллекторе, в машинном отделении; возможность растворения газа в циркуляционном масле с последующим высвобождением в масляной цистерне, с образованием взрывоопасной концентрации и взрывом.

До настоящего времени еще не разработаны отечественные правила для судов, на которых используется СПГ в качестве топлива и которые не являются газовозами. Поэтому при проработке комплекса мероприятий, обеспечивающих повышение безопасности на пр. RST27, были приняты во внимание требования Бюро Веритас [9], учтены рекомендации ИМО [10] и требования Правил классификации и постройки газовозов РС [6] в том объеме, в каком они применимы к этому проекту.

На танкере пр. RST27 предусмотрена главная энергетическая установка, состоящая из двух дизельных двигателей Wärtsila 6L20, работающих на две полноповоротные винторулевые колонки (ВРК) SCHOTTEL SRP1012 FP с винтами фиксированного шага в пропульсивной насадке. В качестве топлива для работы главных двигателей используется ТТ IFO 380 вязкостью 380 сСт при 50 °С или ДТ.

Фирмой Wärtsila на рынке представлена линейка двигателей L20DF, которые могут использовать в качестве топлива ПГ. Проект линейки двигателей L20DF основан на хорошо известной серии L20, которая представлена на рынке с начала 90-х гг. XX в. и испытана в различных условиях. Двигатели Wärtsila L20DF среднеоборотные двухтопливные, могут работать на ПГ, ТТ и ДТ. Переключение между различными видами топлива происходит при работающих двигателях без падения мощности. При работе двигателей L20DF в газовом режиме смесь газа и воздуха воспламеняется с помощью подачи в цилиндры пилотного ДТ в количестве 1% от необходимого на полной нагрузке. Наиболее важной особенностью данных двигателей является то, что они могут использоваться как для привода генераторов и винтов регулируемого шага при постоянной частоте вращения, так и для привода винтов фиксированного шага на переменной частоте вращения.

Очевидно, что наиболее логичным решением в данной ситуации является замена двигателей 6L20 на 6L20DF. Такое решение позволит вести строительство новых судов серии без значительных изменений в проекте. Также без особых проблем можно переоборудовать главные двигатели на построенных судах пр. RST27 для работы на ПГ, с минимальными изменениями в системах, обслуживающих главные двигатели. Однако двигатели 6L20DF обладают меньшей мощностью, чем двигатели 6L20.

На основании результатов расчета потребной мощности в зависимости от скорости хода судна к установке в качестве главных двигателей на пр. RST27 для работы на ПГ могут быть приняты двухтопливные двигатели Wärtsila 6L20DF максимальной длительной мощностью 1056 кВт при частоте 1200 мин$^{-1}$. Выбранные двигатели при нагрузке 85% обеспечивают скорость хода судна ок. 10,7 уз на чистой воде. Необходимое передаточное число для винта будет обеспечиваться редуктором ВРК.

Основные технические характеристики двигателей Wärtsila марок 6L20 и 6L20DF приведены в табл. 1.

Таблица 1

Основные характеристики двигателей Wärtsila 6L20 и 6L20DF

Характеристика	Марка двигателя	
	6L20	6L20DF
Макс. длительная мощность, кВт	1200	1056
Частота вращения, мин$^{-1}$	1000	1200
Число цилиндров	6	6
Диаметр цилиндра, мм	200	200
Ход поршня, мм	280	280
Среднее эффективное давление, МПа	2,73	2,0
Средняя скорость поршня, м/с	9,3	11,2
Удельный расход топлива, г/(кВт·ч) (нагрузка 100%)	192	213
Расход смазочного масла, г/(кВт·ч)	0,5	0,5
Масса сухого дизеля, т	9,33	9,5

Что касается использования ТТ на танкерах, оборудованных для использования ПГ, то нет никакого смысла демонтировать системы ТТ при переоборудовании уже построенных танкеров. В случае строительства новых судов окончательное решение остается за судовладельцами и будет зависеть от предполагаемого района эксплуатации, а также от цен на жидкое и газообразное топливо.

Вспомогательное оборудование, которое необходимо предусмотреть в проекте для использования ПГ, следующее: блоки газовых клапанов, по одному блоку на каждый двигатель; емкости для хранения; блоки нагревателей и испарителей газа; специальные станции приема газа с каждого борта.

На основании анализа информации, предоставленной Wärtsila, уточнен комплекс основных мероприятий, которые следует учесть при переоборудовании пр. RST27 для использования СПГ: система подачи основного жидкого топлива к двигателям остается такой же, как на пр. RST27; для подачи пилотного топлива к двигателям необходимо предусмотреть дополнительную систему с отдельными насосами и трубопроводами; подача газа к блокам газовых клапанов, а затем и к двигателям в районе машинного отделения осуществляется с помощью труб с двойными стенками.

При эксплуатации двухтопливных двигателей Wärtsila запуск и остановка выполняются на ДТ, при непродолжительных остановках двигателей допускается пуск и остановка

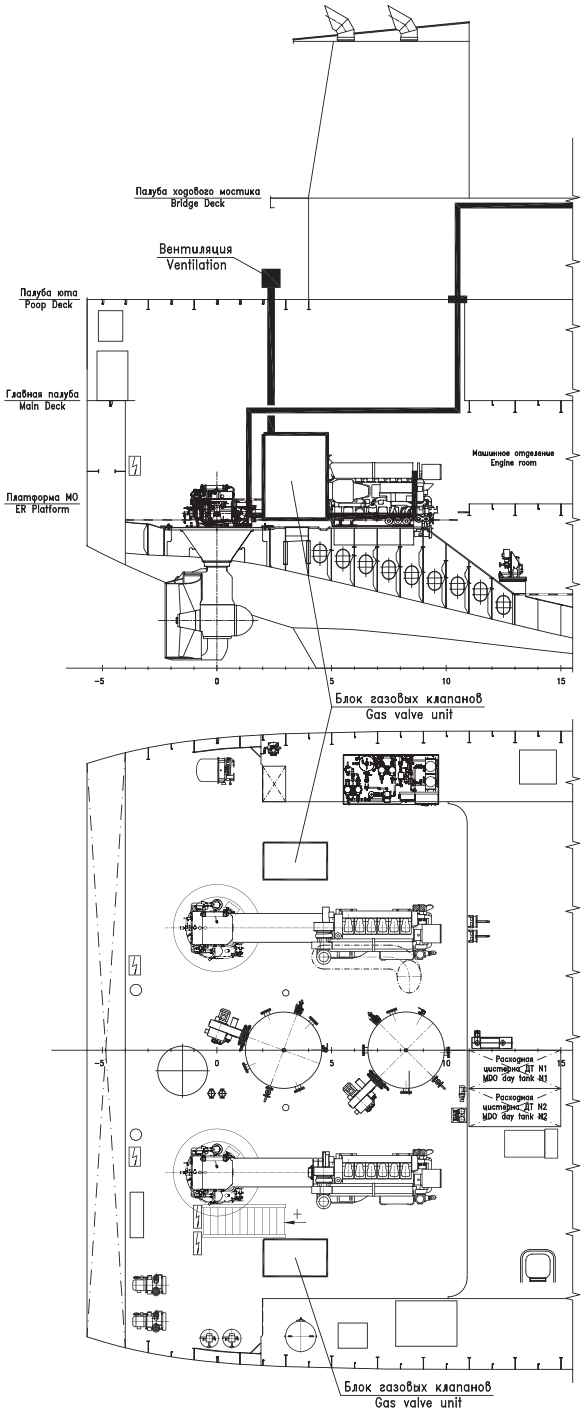


Рис. 2. ***Расположение блоков газовых клапанов***

на тяжелом топливе. Переход на газ осуществляется при работающем двигателе. При этом следует учитывать, что если двигатель работает на ТТ, то вначале переходят на ДТ, а затем на газ. Порядок перехода с газа на ТТ такой же – вначале переход на ДТ, потом на ТТ.

Из вспомогательного газового оборудования главных двигателей, перечисленного выше, только блоки газовых клапанов должны располагаться в закрытых помещениях. Криогенные емкости, блоки нагревателей и испарителей газа, станции приема газа могут быть размещены на открытой палубе танкера в грузовой зоне.

Схемы размещения блоков газовых клапанов и трубопроводов с двойными стенками подачи газа показаны на рис. 2.

Герметическая конструкция блоков газовых клапанов, поставляемых фирмой Wärtsila, позволяет размещать блоки непосредственно в объеме МО и не требует дополнительных помещений. При этом необходимо предусмотреть автономные

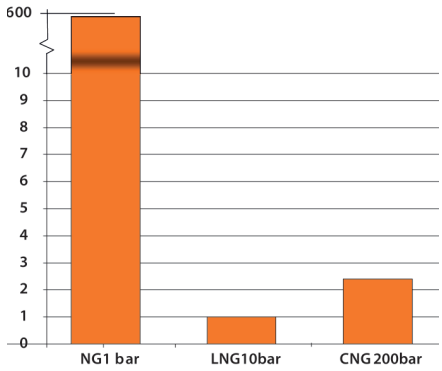


Рис.3. ***Сравнение объемов хранения природного газа в зависимости от принятого способа хранения: ПГ 0,1 МПа – природный газ при нормальных условиях; СПГ 1,0 МПа – сжиженный природный газ; КПГ 20 МПа – компримированный природный газ при давлении 20 МПа***

трубопроводы вентиляции на открытую палубу внутренних пространств блоков газовых клапанов.

Расположение оборудование в МО танкера пр. RST27 позволяет разместить блоки газовых клапанов и трубопроводы без переноса какого-либо оборудования.

ПГ может храниться на судах в двух видах: сжатом (компримированном) и сжиженном. Компримированный природный газ (КПГ) хранится и перевозится в сосудах под давлением без сжижения. Основное преимущество КПГ состоит в том, что для его транспортировки не требуются заводы по сжижению газа и его последующей газификации. Но, несмотря на это, в настоящее время использование ПГ на судах в качестве топлива в компримированном виде не нашло широкого применения [1] по следующим причинам: эффективность перевозки газа в сжатом виде, как минимум, в 3 раза ниже, чем перевозка в сжиженном виде; требуемый объем емкостей для хранения КПГ на судне в 2,5 раза больше (рис. 3), чем для сжиженного; из-за высокого давления хранения (20–25 МПа) КПГ масса емкостей также значительно больше.

По соображениям увеличения автономности плавания судна и уменьшения веса емкостей для хранения газа для рассматриваемого случая предлагается способ хранения ПГ на борту танкера в сжиженном виде (СПГ).

Главная трудность при использовании СПГ на судах – сравнительно большое пространство, требуемое для криогенных емкостей. В сравнении с нефтяным топливом равное по энергетическому содержанию количество СПГ требует примерно в 1,9 раза большего объема. С учетом теплоизоляции емкости требуемый объем возрастает примерно в 2,3 раза. В случае установки емкостей для хранения СПГ внутри корпуса судна требуемый объем может увеличиться в 4 раза. На танкерах эту проблему удается решить размещением криогенных емкостей на грузовой палубе.

На основании предварительных расчетов расходов газа для работы механизмов энергетической установки определяются потребные объемы криогенных емкостей в зависимости от автономности плавания танкера (табл. 2).

Таблица 2

Объем криогенных емкостей, м³, в зависимости от автономности плавания

Вариант совместной работы механизмов на газе	Автономность, сут.			
	5	10	15	20
Все механизмы	133,06	266,12	399,18	532,24
Только ГД	89,35	178,70	268,06	357,41
ГД + ДГ	100,73	201,45	302,18	402,90
ГД + котлы	121,69	243,37	365,06	486,74

При предварительных расчетах были приняты следующие исходные данные: процент заполнения криогенных емкостей – 98%; низшая теплота сгорания СПГ – 49 620 кДж/кг; плотность СПГ – 422 м^3/кг.

Главная трудность при расчете расхода ПГ состоит в том, что на данный момент отсутствуют международные стандарты на судовое газовое топливо. Поэтому при эксплуатации судов на ПГ следует учитывать, что расход газа будет зависеть от низшей теплоты сгорания СПГ, которая зависит от месторождения ПГ, из которого добывают газ.

Применительно к пр. RST27 рассмотрены два возможных варианта применяемых криогенных емкостей: криогенные емкости LNG-Pak, поставляемы фирмой Wärtsila, и контейнер-криогенные емкости.

Криогенная емкость LNG-Pak представляет собой комплексную конструкцию, состоящую из: криогенной емкости с изоляцией и внешней защитной оболочкой; блока испарителя и подогревателя газа с арматурой и трубопроводами; необходимыми датчиками и КИП; присоединений к внешним трубопроводам и интерфейсов обмена информацией с судовой ИСУ ТС.

Предварительная проработка размещения показала, что две криогенные емкости Wärtsila LNG-Pak 308 вместимостью 277 м^3 СПГ каждая могут обеспечить 20 сут автономного плавания танкера пр. RST27 при работе главных двигателей, котлов и дизель-генераторов на ПГ.

Указанные криогенные емкости можно разместить в кормовой части грузовой зоны танкера (рис. 4).

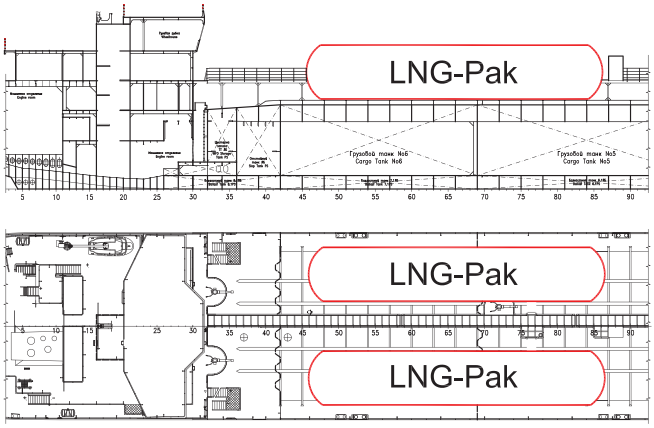


Рис. 4. ***Расположение криогенных емкостей LNG-Pak***

Второй вариант – использование контейнер-криогенных емкостей – позволит доставлять СПГ на судно с помощью железнодорожного или автомобильного транспорта *без выполнения бункеровочных операций классического типа*. Потребуется лишь замена емкостей.

Одним из производителей в России контейнер-криогенных емкостей является ОАО «Уралкриомаш», который предлагает контейнер-криогенную емкость модели КЦМ-35/0,6 в размерах стандартного 40-футового контейнера, который предназначен для приема, хранения, выдачи СПГ и может быть использован как тара для его транспортировки железнодорожным, морским, речным и автомобильным транспортом, обеспечивая полную сохранность продукта при различных погодных условиях.

Способ налива и слива СПГ – верхний, слив – за счет создания давления в криогенной емкости сторонним наддувом.

При принятии решения об использовании контейнер-криогенных емкостей необходимо иметь в виду следующие обстоятельства: полезный объем контейнер-криогенных емкостей потребует значительного их количества, например, для обеспечения автономности 5 сут. при работе на газе главных двигателей, котлов и дизель-генераторов необходимо четыре контейнера, для 10 сут. – восемь контейнеров; потребуется дополнительно предусмотреть на борту судна стационарные блоки испарителей и подогревателей газа с арматурой и трубопроводами, для контроля давления подачи газа к блокам газовых клапанов; для замены контейнеров в порту, должны быть предусмотрены соответствующие грузоподъемные средства.

Контейнер-криогенные емкости можно разместить в кормовой и носовой частях грузовой зоны танкера.

Для обеспечения безопасного использования ПГ в дополнение к уже предусмотренным обычным для танкеров приняты следующие основные конструктивные меры:

- система подачи газа, расположенная в пределах машинного отделения, должна быть заключена в газонепроницаемую оболочку, т. е. должна представлять собой систему трубопроводов с двойными стенками; для каждого двигателя в районе МО предусматривается отдельная линия подачи газа с возможностью дистанционного автоматического отключения в случае обнаружения утечек;
- возможность мгновенного автоматического перехода с газового топлива на жидкое в случае отключения подачи газа;
- датчики контроля утечек природного газа в местах наиболее вероятных утечек (машинное отделение, межтрубное пространство двойных трубопроводов подачи газа и т. п.);
- выдача сигнала в судовую АПС об утечке газа (20% взрывоопасной концентрации);
- автоматическое отключение подачи ПГ к оборудованию (60% взрывоопасной концентрации) с выдачей сигнала АПС;
- искусственная вентиляция межтрубного пространства трубопроводов с двойным стенками и внутренних пространств блоков газовых клапанов;
- вентиляция газовыпускных трактов ГД при остановленных двигателях;
- подача инертного газа, например азота, для продувания трубопроводов подачи газа к двигателям;

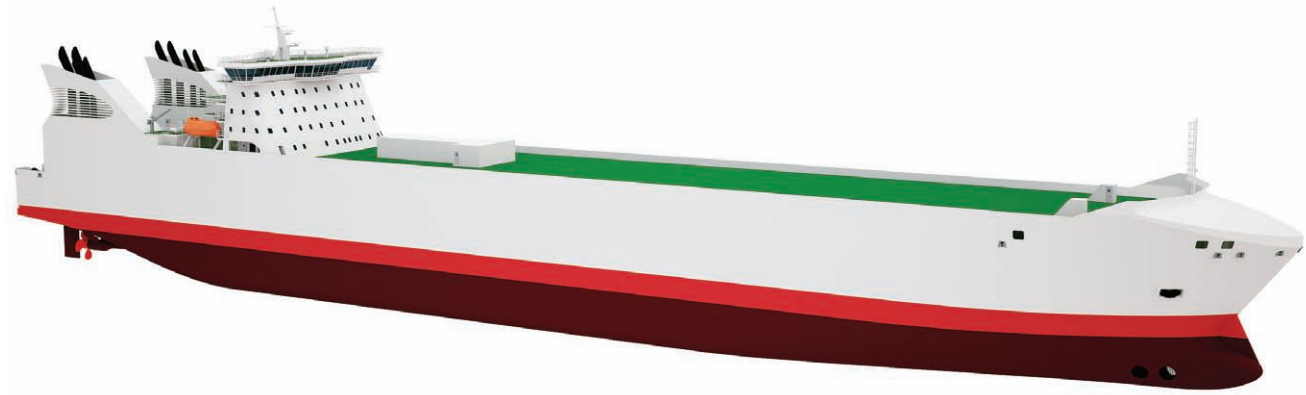


Рис. 5. ***Общий вид парома пр. CNF19M***

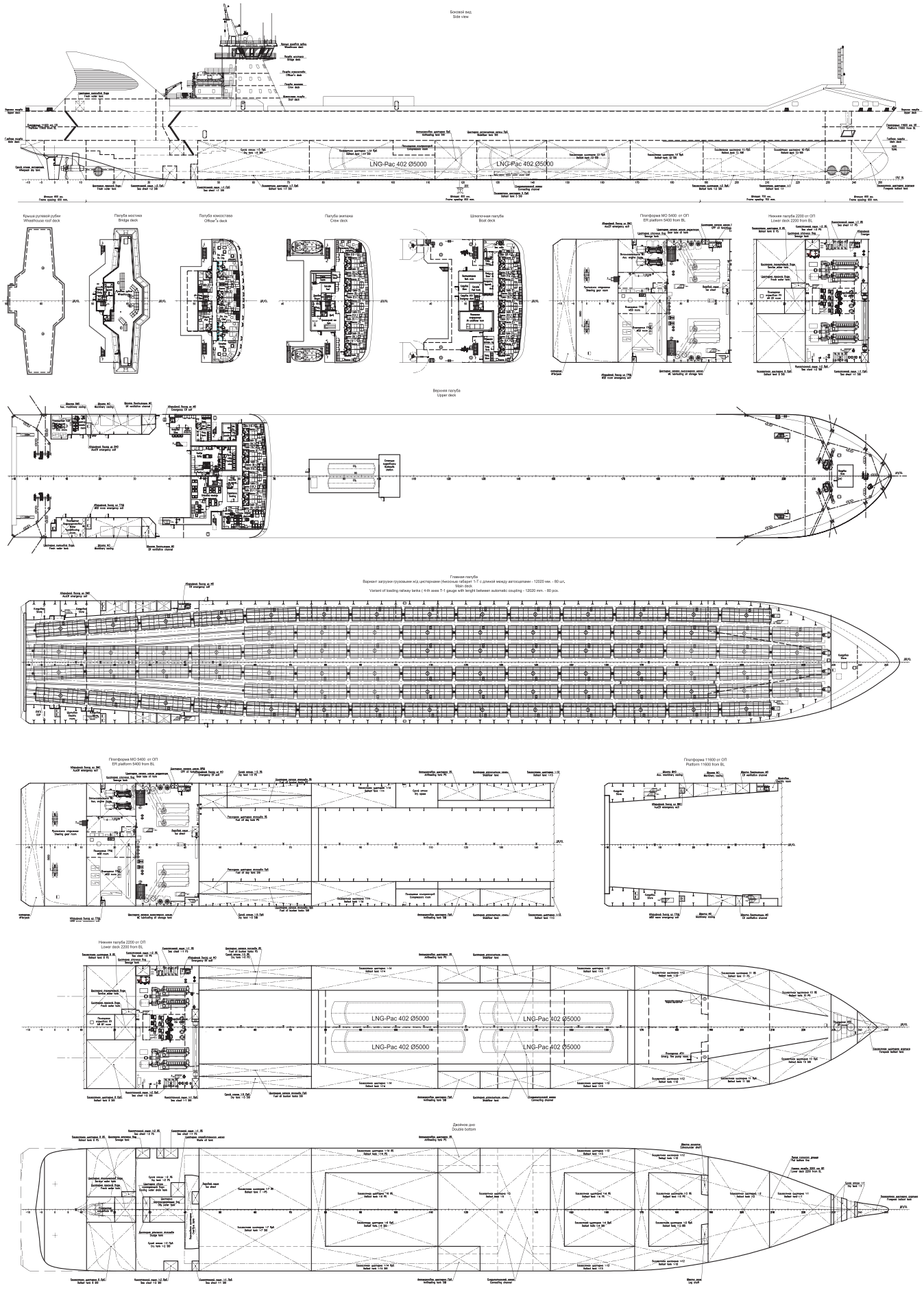


Рис. 6. ***Общее расположение железнодорожного парома-газохода пр. CNF19***

– предварительная вентиляция топок котлов перед их розжигом.

Новые железнодорожные паромы, соединяющие Калининград с остальной частью Российской Федерации, жизненно необходимы, так как основной грузопоток области сейчас следует по железной дороге через Литву и Беларусь. Кроме того, практически полностью отсутствуют альтернативные варианты доставки специфических грузов, включая военные (паромное сообщение – единственный вариант доставить груз без транспортировки его по соседним государствам). Нет действующих паромов с максимально возможными габаритными размерениями и характеристиками под линию Усть-Луга – Балтийск. Необходимы суда, способные эффективно работать в ледовых условиях порта Усть-Луга.

Балтийское море – особая зона по контролю выбросов окислов азота (NECA) и серы (SECA). С 1 января 2015 г. в зонах особого контроля за выбросами (Sulphur Emission Control Areas – SECA) вступило в силу требование содержания серы в судовом топливе не более 0,1 %. Обычное жидкое топливо с таким содержанием серы становится крайне дорогим и существенно увеличивает расходы на перевозку грузов морем. Газомоторное топливо позволяет полностью исключить выброс окислов серы и твердых частиц, снизить на 90% выбросы окислов азота и уменьшить выбросы CO_2 на 30 %.

Поэтому возникла насущная необходимость в паромах нового поколения, работающих на СПГ, отвечающих самым современным требованиям по безопасности.

Новый концепт железнодорожного парома для Балтики –проекта CNF19M (рис. 5 и рис. 6) – это стальное самоходное судно-газоход ледовой категории Arc4 с бульбообразным форштевнем, с одной грузовой палубой, обеспечивающей размещение 80 железнодорожных вагонов в одной плоскости без применения грузовых лифтов, одним кормовым расположением МО, с дизельной пропульсивной установкой, одним кормовым и двумя носовыми подруливающими устройствами.

Технической особенностью разработанного проекта парома нового поколения является соответствие самым современным требованиям по безопасности, включая требования по экологической безопасности – он работает на СПГ.

Это современное, безопасное и экономичное судно, которое позволит совершать 135 круговых рейсов в год, перевозить 8910 вагонов в год или 534 600 т груза. Продолжительность рейса *при условии бункеровки во время грузовых операций* – 2,7 сут.

Для десятисуточной автономности этого судна требуется примерно 1500 м^3 газа, т. е. полная бункеровка предполагается один раз в три круговых рейса или частичная при каждом заходе в Балтийск (Усть-Лугу).

Варианты заправки: с автопоездов-газовозов, с судна-бункеровщика, с портовой бункер-станции, с помощью газовых танк-контейнеров.

Примеры всех решений по заправке газомоторным топливом в мировой практике уже есть.

ВЫВОДЫ

1. Применение ПГ в качестве основного судового топлива на судах смешанного плавания и железнодорожных паромах обладает принципиальными преимуществами по сравнению с использованием малосернистого ДТ или ТТ с скруббер-системами очистки выхлопных газов от окислов серы, так как позволяет полностью исключить выбросы серы, существенно сократить выбросы оксидов азота и углерода, а также твердых частиц и уровень выбросов окислов азота (NOX) соответствует требованиям МАРПОЛ Tier III, которые вступили в силу с 1 января 2016 г., без применения дополнительных систем очистки газов.

2. Использование отечественного технического опыта и возможностей криогенной техники позволит за короткий срок обеспечить широкое применение СПГ на судах. Создание береговой инфраструктуры заправки судов природным газом не потребует продолжительного времени и больших капитальных затрат. По оценкам специалистов, при наличии средств на проектирование, строительство и ввод в эксплуатацию опытного комплекса может потребоваться не более полутора лет. Экономические и экологические результаты позволят окупить затраты за пять–семь лет [7, 8].

3. Что касается использования ТТ на танкерах, оборудованных для использования ПГ, то нет никакого смысла демонтировать системы ТТ при переоборудовании уже построенных танкеров. В случае строительства новых судов, окончательное решение остается за судовладельцами и будет зависеть от предполагаемого района эксплуатации судов, а также от цен на жидкое и газообразное топливо.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Блинков А. Н., Власов А. А., Шурпяк В. К.* Анализ способов применения газового топлива в судовых энергетических установках // Науч.-техн. сборник. – СПб: Российский морской регистр судоходства, 2011. – Вып. 34. – С. 177–197.
2. *Епифанов В. С.* Эксплуатация судовых энергетических установок на природном газе. – М.: ТрансЛит, 2010. – 216 с.
3. *Егоров Г. В., Осадчий Е. А.* Исследование возможности использования природного газа в качестве топлива судов смешанного плавания на примере танкера проекта RST27 // Морская Биржа. – 2012. – № 1 (39). – С. 20–29.
4. Правила классификации и постройки судов для перевозки сжиженных газов наливом. – СПб: Российский морской регистр судоходства, 2016. – 109 с.
5. Применение газа на водном транспорте. – Сайт Национальной газомоторной ассоциации. URL.: http://www.ngvrus.ru/story_04.shtml (дата обращения 24.01.2012).
6. *Пронин Е. Н.* Зеленый свет «Голубому коридору». – Сайт Национальной газомоторной ассоциации. URL.: http://www.ngvrus.ru/st6_1.shtml (дата обращения 24.01.2012).
7. Det Norske Veritas. Rules for classification of ships. Newbuildings. Special equipment and systems additional class. Part 6, chapter 13. Gas fuelled engine installations / January 2001.
8. International Maritime Organization. Resolution MSC.285 (86). Interim Guidelines on safety for natural gas-fuelled engine installations in ships.
9. North European LNG Infrastructure Project: A feasibility study for an LNG filling station infrastructure and test of recommendations. Draft Feasibility Report /URL.: http: //www.dma.dk/themes/LNGinfrastructureproject/documents1/Sider/default.aspx (дата обращения 20.01.2012).
10. *McArthur R.* Gas-fuelled mechanical propulsion solutions offer major emissions reductions // Twentyfour7. – 2011. – Vol. 1. – С. 66–68.
11. Wärtsila Engines. Wärtsila 20DF. – Wärtsilä Corporation Bock's Office, 2009. – 2 с.
12. *Егоров Г. В., Тонюк В. И.* Танкер смешанного река-море плавания дедвейтом в реке/море 5427/7030 тонн пр. RST27 типа «ВФ танкер» с экстремально полными обводами // Судостроение и судоремонт. – 2013. – № 57–58. – С. 22–35.
13. *Егоров Г. В., Ильницкий И. А., Черников Д. В.* Особенности проектирования конструкции железнодорожного парома для линии Усть-Луга – Балтийск – Засниц – Мукран. – Тр. НТК по СМК памяти проф. П. Ф. Папковича. – СПб: «Крыловский государственный научный центр» 2015, с. 24–25. ■

ТЯГА ПЛАВНИКОВОГО ДВИЖИТЕЛЯ НА ШВАРТОВНОМ РЕЖИМЕ

А.И. Короткин, *д-р техн. наук, проф., гл. науч. сотрудник,*
Е.А. Морозова (Бусоргина), *руководитель проектов,*
ФГУП «Крыловский государственный научный центр»,
контакт. тел. (812)415 4874, 743 6363

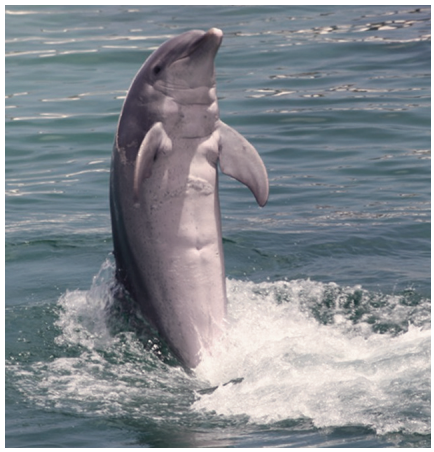
В настоящее время широкое распространение при создании подводных аппаратов и средств робототехники получили плавниковые движители [1]. При этом возникает проблема работы этих устройств на швартовном режиме, когда отсутствует средняя скорость набегающего потока, но при этом необходимо обеспечить избыточную подъемную силу в неподвижной среде. Такая подъемная сила может быть создана только за счет движителя. В природе примером создания с помощью плавникового движителя (хвостового плавника) тяги «на стопе» является способность дельфинов «стоять на хвосте», когда часть тела животного располагается над водой. В статье описывается возможная гидродинамическая основа этого явления. Знание механизма создания тяги при швартовном режиме работы плавникового движителя позволит улучшить эксплуатационные характеристики различных средств, работающих под водой и оснащенных плавниковыми движителями.

Неоднократно фиксировались случаи, когда дельфин «стоял на хвосте», некоторое время располагаясь перпендикулярно свободной поверхности воды (рис. 1, *а*), причем значительная часть тела животного оказывалась в воздухе [2, 3]. На рис. 1, *б*, видно, что дельфин стоит на хвосте, и, судя по характерному подъему воды вблизи корпуса животного, перемещается спиной вперед. Однако он может перемещаться и в обратном направлении (см. рис. 1, *в*). Известен случай (Австралия), когда дрессированный дельфин, умеющий «стоять на хвосте», оказался на свободе, примкнул к стае диких дельфинов, и, местные рыбаки с удивлением увидели, что многие дельфины, обитающие в местной акватории, стали с удовольствием выполнять это «упражнение». Исследователь дельфинов доктор Боссли [2] утверждает: «Насколько нам известно, хождение на хвосте не имеет практической пользы и выполняется исключительно для удовольствия, что схоже с танцами или гимнастикой у людей». Для того чтобы заметная часть корпуса дельфина располагалась в воздухе, необходимо создание хвостовым плавником при колебаниях в плоскости горизонта силы тяги, направленной вверх и компенсирующей вес тела животного, размещенного в воздухе.

Ниже рассматривается возможный механизм создания подобной тяги на примере колебаний жесткой тонкой пластинки конечного размаха в безграничной идеальной несжимаемой покоящейся жидкости. Показано, что при наличии одновременных, согласованных между собой поступательных колебаний пластинки и ее вращательных колебаний возникает тяга, направление которой перпендикулярно к линии поступательных колебаний пластинки. Расчеты величины упомянутой тяги для случая, близкого к параметрам движения дельфина, дают разумное соответствие действительности.

а)

б)



в)

Рис. 1. ***Дельфины, стоящие на хвосте (а–в)***

Следует отметить, что рассмотренный ниже механизм создания тяги существенно отличается от известных механизмов: использование крыльевых элементов в различных движителях; применение принципа «работающего весла» для создания тяги. С целью пояснения способа возникновения тяги привлекаются только инерционные свойства среды, что позволяет вести все рассуждения на базе идеальной несжимаемой жидкости.

Движения несущего элемента плавникового движителя на швартовном режиме (хвоста дельфина) схематично заменим гармоническими колебаниями тонкой жесткой пластины, размеры которой в плане примерно соответствуют размерам хвостового плавника животного. При этом пластина совершает периодические поступательные перемещения вдоль оси перпендикулярно к плоскости пластины и вращательные периодические колебания вокруг оси, проходящей через ее геометрический центр и лежащей в плоскости пластины. Связанная с пластиной система координат *OXYZ* показана на рис. 2. Точка *O* совпадает с геометрическим центром пластины. Поступательные перемещения происходят вдоль оси *OZ*, вращательные колебания – вокруг оси *OY*.

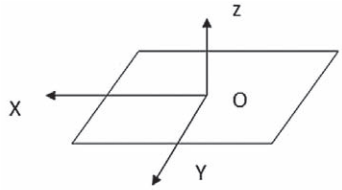


Рис. 2. ***Система координат OXYZ***

Идеальная несжимаемая жидкость, в которой движется пластина, предполагается безграничной. Гидродинамические силы, действующие на твердое тело при его неустановившемся движении, определяются [4] в векторной форме следующими выражениями:

$$\overline{R} = -\frac{\partial \overline{B}}{\partial t} - \overline{\omega} \times \overline{B};$$

$$\overline{L} = -\frac{\partial \overline{L}}{\partial t} - \overline{\omega} \times \overline{J} - \overline{u_0} \times \overline{B},$$

где $\overline{R}$ – вектор силы, приложенный, в начале координат связанной с телом подвижной системы; $\overline{B}$ – главный вектор системы мгновенных импульсов давлений, действующих на поверхность тела; $\overline{\omega}$ – вектор мгновенной угловой скоро-

сти вращения тела вокруг мгновенной оси, проходящей через начало подвижной системы; $\overline{J}$ – главный момент указанных импульсов относительно начала подвижной системы координат; $\overline{u_0}$ – вектор поступательной скорости начала подвижной системы координат.

Проектируя $\overline{R}$ на ось OX подвижной системы координат, получаем

$$R_x = -\frac{\partial B_X}{\partial t} - \omega_y B_z + \omega_z B_y, \qquad (1)$$

где проекции вектора $\overline{B}$ определяются формулами [4]

$$B_x = \frac{\partial T}{\partial U_{ox}}; \; B_y = \frac{\partial T}{\partial U_{oy}}; \; B_z = \frac{\partial T}{\partial U_{oz}}. \qquad (2)$$

Кинетическая энергия жидкости T при произвольном движении тела в идеальной жидкости выражается формулой [5]

$$\begin{aligned} 2T = {} & \lambda_{11}u_1^2 + \lambda_{22}u_2^2 + \lambda_{33}u_3^2 + 2\lambda_{12}u_1u_2 + \\ & + 2\lambda_{13}u_1u_3 + 2\lambda_{23}u_2u_3 + \\ & + 2u_1\left(\lambda_{14}u_4 + \lambda_{15}u_5 + \lambda_{16}u_6\right) + \\ & + 2u_2\left(\lambda_{24}u_4 + \lambda_{25}u_5 + \lambda_{26}u_6\right) + \\ & + 2u_3\left(\lambda_{34}u_4 + \lambda_{35}u_5 + \lambda_{36}u_6\right) + \\ & + \lambda_{44}u_4^2 + \lambda_{55}u_5^2 + \lambda_{66}u_6^2 + 2\lambda_{45}u_4u_5 + \\ & + 2\lambda_{46}u_4u_6 + 2\lambda_{56}u_5u_6, \end{aligned} \qquad (3)$$

в которой приняты следующие обозначения: $\lambda_{ik}(i,k=1;2;\ \ldots 6)$ – присоединенные массы движущегося в жидкости тела [5]

$$u_1 = u_{0x}; \; u_2 = u_{0y}; \; u_3 = u_{0z}; \; u_4 = \omega_x;$$
$$u_5 = \omega_y; \; u_6 = \omega_z.$$

С учетом соотношений (2), (3), получаем выражение для силы тяги на основании формулы (1):

$$\begin{aligned} -R_x = {} & \lambda_{11}\frac{\partial u_1}{\partial t} + \lambda_{12}\frac{\partial u_2}{\partial t} + \lambda_{13}\frac{\partial u_3}{\partial t} + \\ & + \lambda_{14}\frac{\partial u_4}{\partial t} + \lambda_{15}\frac{\partial u_5}{\partial t} + \lambda_{16}\frac{\partial u_6}{\partial t} + \lambda_{33}u_3u_5 + \\ & + \lambda_{13}u_1u_5 + \lambda_{23}u_2u_5 + \lambda_{34}u_4u_5 + \lambda_{35}u_5^2 + \\ & + \left(\lambda_{36} - \lambda_{25}\right)u_5u_6 - \lambda_{22}u_2u_5 - \lambda_{12}u_1u_6 - \\ & - \lambda_{23}u_3u_6 - \lambda_{24}u_4u_6 - \lambda_{26}u_6^2. \end{aligned} \qquad (4)$$

Пусть тонкая жесткая пластинка имеет прямоугольную форму в плане. Поместив начало координат в центр площадки, получим на основании (4) выражение для тяги

$$R_x = -\lambda_{33}u_3u_5 = -\lambda_{33}u_{oz}\omega_y, \qquad (5)$$

так как присоединенные массы пластинки, входящие в (4), кроме λ_{33}, равны нулю. Скорости поступательных u_{oz} и вращательных ω_y колебаний пластинки являются между собой независимыми функциями. Если выбрать, учитывая, что рассматриваются колебания одного и того же хвостового плавника,

$$u_{oz} = A\cos kt;$$
$$\omega_y = -B\cos kt,$$

то на основании (5) получаем

$$R_x = \lambda_{33}AB\cos^2 kt, \qquad (6)$$

где A и B – амплитуды колебаний поступательной u_{0z} и вращательной ω_y скоростей пластинки, $\Pi = 2\pi/k$ – период колебаний. Средняя по времени сила тяги R_{xc}, возникающая на колеблющееся пластине, будет равна

$$R_{xc} = \frac{1}{2}AB\lambda_{33}. \qquad (7)$$

Проведем на основании формулы (7) ориентировочную оценку величины R_{xc} для колеблющейся пластины, приблизительно соответствующей геометрическим размерам и кинематическим параметрам движения хвостового плавника дельфина [6]. Если геометрию хвоста дельфина можно определить достаточно точно (замеры на телах животных), то кинематику движения приходится принимать весьма приблизительно.

Для расчета λ_{33} заменим хвостовой плавник прямоугольной пластиной размерами 0,7×0,25 м, площадь которой S = 0,175 м^2. Присоединенная масса такой пластины будет равна [5]

$$\lambda_{33} = 2{,}8 \text{ кг·с}^2/\text{м}. \qquad (8)$$

Для определения реальных значений амплитуд колебаний линейных A и угловых B скоростей в формуле (7) необходимо принять близкие к действительным значениям основные кинематические параметры: период колебаний хвоста дельфина П, максимальное линейное перемещение плавника a и его максимальное угловое отклонение от вертикали φ. Если принять П = 0,5 с, a = 0,5 м, $\varphi = 20^\circ = \frac{\pi}{9}$, то $A = 2\pi$ м/с, $B = \frac{4}{9}\pi^2$ 1/с и средняя сила тяги с учетом (7), (8) будет примерно равна R_{xc} = 37 кг.

Таким образом, представляется возможным использовать рассмотренный механизм создания тяги дельфином при его «стационарном» вертикальном расположении у поверхности воды, когда значительная часть корпуса располагается над водой, а «тяга», создаваемая погруженным в воду хвостовым плавником, уравновешивает вес части тела, поднятой над водой.

На основании материалов, представленных в [3], составлена подборка последовательных положений дельфина, перемещающегося по поверхности воды в положении «стойка на хвосте» (рис. 3).

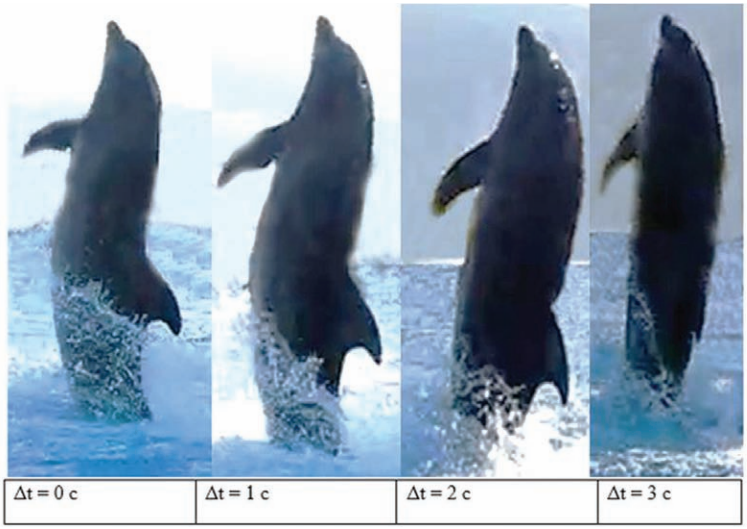


Рис. 3. ***Последовательные положения дельфина, «стоящего на хвосте»***

Время с момента условного начала движения отмечено на каждом фрагменте подборки. Суммарный отрезок времени, охваченный элементами подборки, составил около трех секунд. Видно, что за указанный промежуток времени дельфин практически не меняет своего положения относительно уровня воды. При этом большая часть тела животного расположена над уровнем свободной поверхности. Если учесть, что вес дельфина составляет около 100 – 150 кг, то можно предположить наличие тяги работающего хвостового плавника порядка 70–120 кг.

Вполне вероятно, что рассмотренным механизмом создания тяги, уравновешивающей вес летающего объекта, пользуются птицы (жаворонки) и насекомые (стрекозы).

Предложена гидродинамическая схема возникновения тяги на плавниковом движителе при его работе на швартовном режиме. Указаны основные параметры, определяющие величину этой тяги. Конкретные геометрические и кинематические характеристики движителя определяются конструкцией подводного аппарата и должны отрабатываться экспериментально.

ЛИТЕРАТУРА

1. Нетрадиционные пропульсивные комплексы. – http: //www.barque.ru/shipbuilding /1989/unconventional_types_of_propulsion
2. *Walker Matt.* Dolphins learn to «walk on water». http://news.bbc.co.uk/earth/hi/earth_news/newsid_9116000/9116120.stm
3. 500 Sea World Drive San Diego, California 92109, United States.
4. *Кочин Н.Е., Кибель И.А., Розе Н.В.* Теоретическая гидромеханика. – М. Гостехиздат. – т. I. – 1955.
5. *Короткин А.И.* Присоединенные массы судостроительных конструкций. – СПб.: МорВест, 2007.
6. Короткин А.И. Мифы и реальность гидробионики. – СПб.: МорВест, 2012.

ОСОБЕННОСТИ СЕЙСМОРАЗВЕДОЧНЫХ СУДОВ С УЧЕТОМ СПЕЦИФИКИ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Р.Н. Караев, *канд. техн. наук, проф.,*
Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности,
контакт. тел. +7 (994 50) 210 9269

Интенсивное развитие морских сейсморазведочных работ способствовало формированию развитого рынка специализированных судов, способных вести исследования в форматах 2D, 3D, 4D. В настоящее время для проведения сейсмической разведки на море используются разнообразные сейсморазведочные суда, отличающиеся как технико-эксплуатационными характеристиками и архитектурно-конструктивным оформлением, так и технологией проведения морской сейсморазведки, в соответствии с которой различают суда для проведения:

– сейсморазведки методом отраженных волн общей глубинной точки (МОВ ОГТ) с использованием плавучих кос;
– донной сейсморазведки с использованием донных кос и автономных донных станций.

Ниже рассматриваются сейсморазведочные суда, предназначенные для выполнения указанных работ.

СЕЙСМОРАЗВЕДОЧНЫЕ СУДА С ПЛАВУЧИМИ КОСАМИ

В практике геолого-разведочных работ наибольшее распространение получили суда этой группы (рис. 1).

Основными сегментами морской сейсморазведки являются пьезосейсмографные косы с гидрофонами (пьезоприемниками), пневматические излучатели (пневмопушки) – источники возбуждения упругих колебаний, лебедки для хранения сейсмокос и шланг-кабелей (umbilikal) пневмоизлучателей и параваны [1] (рис. 2).

Современные сейсморазведочные суда класса 3D и 4D способны нести до 24 сейсмокос (сейсмических кабелей) одновременно, при этом длина каждой из них в среднем может составлять 6–8 км.

Эти суда в совокупности с трех- и четырехмерными технологиями позволяют в значительной степени сократить сроки исследования на больших площадях и расходы на них. Так, по зарубежным данным, в 1991 г. исследования на акватории в 1000 км^2 занимали 18–24 месяца. Двумя годами позже аналогичные исследования сократились до 12 месяцев. В настоящее время подобные исследования проводятся в течение четырех–шести месяцев.

На сейсмических судах размещается комплекс геофизического оборудования, обеспечивающий проведение исследований в 3D, 4D. Для проведения площадных сейсмических наблюдений суда оборудуются многоканальными сейсмическими станциями.

Многоканальные пьезосейсмографные косы, как и пневмоизлучатели (см. рис. 2, *б*) движутся за судном на буксире, имея нулевую плавучесть (коса находится под поверхностью воды в полностью погруженном состоянии). Нулевая плавучесть пьезосейсмографных кос обеспечивается либо желеобразной массой, либо специальной жидкостью kerosene, в ряде случаев используется жесткая коса.

Косы типа kerosene (fluid) используются только в двумерных технологиях, косы, заполненные желеобразной массой (gel), а также жесткие (solid) – в трехмерных технологиях.

Косы типа kerosene наиболее просты в изготовлении и поэтому дешевле, косы с желеобразной массой позволяют точнее регистрировать акустическую информацию, жесткие косы долговечнее.

Свободный конец сейсмокос заканчивается предупредительными маяками, которые извещают другие суда о наличии (в морской воде) кос с целью исключения их повреждения плавучими средствами, которые могут оказаться в районе исследования.

Хранение и буксировка сейсмокос и шланго-кабелей пневмоизлучателей обеспечивается на специальных лебедках, емкость барабанов которых рассчитана на несколько тысяч метров кос (см. рис. 2, *г*).

На судах, работающих в формате 3D, пьезосейсмографные косы и пневмоисточники-излучатели выводятся за борт через кормовой слип (см. рис. 2, *в*) который оборудуется резиновыми роликами. На судах 2D для вываливания излучателей в воду используют выносные бортовые стрелы (boom) (рис. 3).

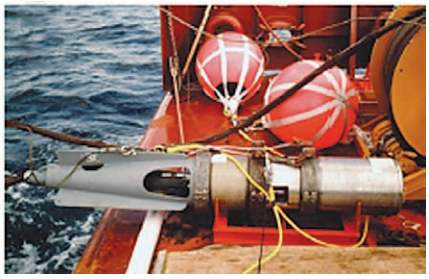
Буксировка кос и пневмоисточников, как правило, осуществляется со скоростью 4–4,5 уз. Для растяжения (сепарации) сейсмокос в процессе проведения сейсморазведочных работ используется специальное устройство – параван, который представляет собой стальную конструкцию, состоящую из отдельных стальных элементов, напоминающих подкрыльники, соединенные в единую конструкцию с помощью стальной ленты [2].

При движении судна параван отходит в сторону от борта и удерживает систему сейсмокос на заданном расстоянии друг от друга. На поверхности воды параваны удерживаются специальным буйком, жестко соединенным с конструкцией паравана.

Параваны могут размещаться либо на бортовой обшивке (см. рис. 9), либо на палубе (см. рис. 2, *г*) Палубный вариант в сравнении с бортовым расположением удобнее в эксплуатации, так как позволяет оперативно варьировать количество подкрыльников (в зависимости от количества кос) и периодически проводить ремонтно-восстановительные работы. На воду спускают парава-

Рис. 1. ***Классификация сейсморазведочных судов по конструктивным признакам***

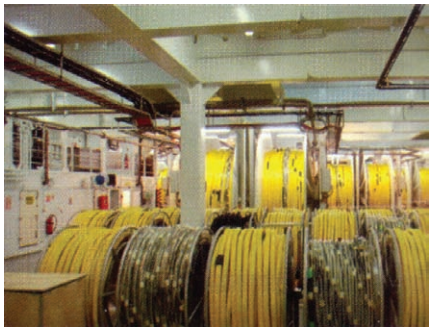
а)



б)

в)

г)



д)

Рис. 2. ***Основные сегменты морской сейсмической разведки: а – пневмопушка; б – сейсмографная коса; в – подвесные направляющие ролики для сейсмографных кос; г – лебедки для сейсмографных кос и шланго-кабелей пневмоизлучателей; д – параваны для сейсмографных кос***

ны с помощью специальных лебедок. Параваны используются на судах, проводящих сейсмические исследования в формате 3D.

Рис. 3. ***Сейсморазведочное судно 2D с выносными бортовыми стрелами (boom) для обеспечения сепарации шланго-кабелей пневмопушек***

При проведении сейсморазведочных работ в ледовых условиях необходимо обеспечить сейсмокосы и шланго-кабели пневмоизлучателей защитой на уровне ватерлинии от негативного воздействия ледового покрова. В этом плане практический интерес представляет ледозащитный кожух, установленный на НИС «Академик Федоров», который проводил региональные сейсмические исследования по выявлению внешних границ арктического шельфа России в рамках работ по заявке в ООН (рис. 4).

Рис. 4. ***Ледозащитный кожух для обеспечения безопасной работы сейсмокос***

На рис. 5 показана схема технологических линий, исходящих с кормы судна при проведении сейсмических исследований.

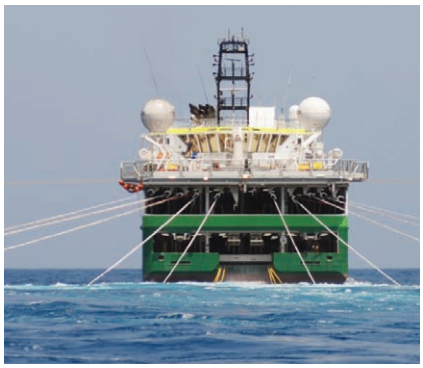


Рис. 5. ***Общая схема расположения технологических линий сейсморазведочного судна (вид со стороны кормы)***
1 – синтетический канат (superwide) для удержания параванов на заданном курсе; 2 – сейсмокосы для регистрации подводных возбуждений; 3 – шланго-кабели пневмопушек-источников возбуждения

Материалы сейсморазведки обрабатываются непосредственно на борту судов современными вычислительными средствами. При отсутствии такой возможности предусматривается передача информации в специализированный центр по спутниковой связи.

Широкое внедрение на современных сейсмических судах получает спутниковая система Seismic Star, обеспечивающая скоростную передачу информации через спутник. В основу этой системы положена принципиально новая концепция. Отличием Seismic Star от других систем является то, что она способна передавать большие объемы несжатой сейсмической информации в режиме on-line в процессе ее сбора.

Развитие сейсморазведочных судов характеризуется возрастанием их размеров, дедвейта, автономности плавания и технических параметров специального бортового оборудования, предназначенного для проведения комплексных сейсмических исследований 3D, 4D [49].

Архитектурно-конструктивный тип сейсморазведочных судов характеризуется высоким надводным бортом в сочетании со значительным развалом бортов в носовой оконечности, достаточно наклонным форштевнем с бульбовым образованием, транцевой кормой и наличием шельтердечной (shelterdeck – защитная, навесная палуба) палубы в кормовой оконечности судна, где размещаются лебедки для сейсмокос и шланго-кабелей пневмоизлучателей.

Бульб, представляющий собой дополнительный водоизмещающий подводный объем, конструктивно выполняется вытянутым вперед от носового перпендикуляра. Путем использования эффекта благоприятной интерференции волн, создаваемых корпусом и бульбом,

происходит нейтрализации волнового сопротивления, что в целом оказывает положительное влияние на ходкость судна. Эффективность действия бульба зависит от его геометрических элементов, положения по длине корпуса и осадке, а также от скорости судна.

Ключевым фактором, влияющим на формирование архитектурно-конструктивного облика судна, является количество сейсмокос, предполагаемых к установке на судне. На ряде судов для монтажа большого количества сейсмокос (до 20 ед.и более) предусматривается переменная по длине судна ширина корпуса, которая увеличивается в направлении кормы и может достигать 70 м в районе транца, что, отличает именно сейсморазведочные суда. Эти суда имеют развитую двух- или трехъярусную надстройку, в которой располагаются служебные, жилые и общественные помещения, а также лаборатории. Суда, как правило, оборудуются вертолетной площадкой, что является необходимым техническим решением в условиях повышенной автономности плавания (60 суток и более) и значительной отдаленности районов исследования от баз производственного обеспечения и материально-технического снабжения.

Месторасположение вертолетной площадки определяется расположением надстройки. При сдвинутой в нос надстройке она располагается в кормовой части судна. Правда, при резко сдвинутой в нос надстройке в результате действия встречного волнения наблюдается возрастание амплитуды продольной качки, которая ухудшает комфортность проживания экипажа. При расположении надстройки в средней части вертолетная площадка устанавливается в носовой части.

Для проведения площадных сейсмических наблюдений суда оборудуют многоканальными сейсмическими станциями.

Для создания наилучших условий приема сейсмических волн пьезосейсмографную косу погружают на глубину, равную примерно четверти длины регистрируемых волн. Сейсмические колебания регистрируют в процессе непрерывного движения судна. При буксировании пьезосейсмографной косы используются стабилизаторы глубины.

Большим парком современных специализированных сейсморазведочных судов класса 3D, 4D располагают всемирно известные фирмы WesternGeko (бывшие Geko Pracl и Western Geophysical), Petroleum Geo Services (PGS), Company General Geophysic (CGG) и др. К числу таких плавсредств можно отнести серию судов «Ramform», «UT-753» (Ulstein), «Western», «Geko Pracl» и т. д.

На рис. 6 показаны наиболее характерные суда, используемые в морской сейсморазведке.

Необычным архитектурным оформлением отличается одно из последних судов фирмы Geko Pracl (рис. 6, *а*). Оно имеет длину 95 м, переменную по длине ширину 24 м/37 м, при этом ее увеличение начинается с середины длины судна вплоть до транцевой кормы. Это обусловлено необходимостью размещения лебедок для буксировки 20 кос, при их сепарации (ширина развода кос) до 500 м. В результате общая площадь, которую судно способно исследовать, составляет 12 км^2, что примерно на 50% больше, чем у любого из существующих судов.

Увеличение площади исследования – ключевой фактор повышения эффективности морской сейсморазведки.

Суда пр. UT-753 (см. рис. 6, *б*) имеют самую мощную энергетическую установку (10 800 л. с.) среди сейсморазведочных судов, что делает их пригодными для проведения глубоководных сейсмических исследований по всему миру.

Впервые на этих судах были использованы жесткие косы, в которых в отличие от обычных, заполняемых специальной жидкостью – kerosene – для обеспечения нулевой плавучести (коса находится под поверхностью воды в полностью погруженном состоянии) имеют ряд преимуществ, используется желеобразная масса. Поэтому они экологически более безопасны, и кроме того отличаются улучшенными акустическими характеристиками, большей прочностью и легко восстанавливаются в процессе ремонта.

Управление сейсмокосами и пневмоисточниками обеспечивается автоматической системой, смонтированной в кормовой части судна – в районе расположения лебедок.

Western Patriot (рис. 6, *в*) – первое судно, оснащенное сверхскоростной спутниковой системой Seismic Star. Бортовая антенна слежения с обтекателем высотой 2,4 м обеспечивает устойчивость при наведении на спутник и в процессе передачи данных. Информация передается со скоростью 311 мегабайт в секунду. Объем памяти системы более 1 терабайта. В систему также входят сдвоенные серверы E450 и сдвоенные модемы со скоростью 155 мегабайт в секунду с соответствующим программным обеспечением.

Для вываливания за борт пневмоизлучателей судно оборудовано поворотными выносными бортовыми рамами, расположенными в кормовой части судна.

Одно из судов этой серии – «Western Legend» – провело, казалось бы, невыполнимую работу: используя малошумные жесткие косы Sentry, оно на индонезийском шельфе за 27 дней обследовало 1800 км^2 разведочной площади по 3-мерной технологии. При этом все данные сейсмических исследований были обработаны непосредственно на борту судна.

а)

б)

в)

г)

Рис. 6. ***Суда для проведения сейсморазведки: а – фирмы Geko Pracl; б – фирмы Western Neptune (пр.UT-753); в – фирмы Western Patriot; г – фирмы Ramform Challenger***

Французская компания CGG построила судно класса 4D, способное нести до 14 сейсмокос длиной сотни километров.

Гибкие, дистанционно управляемые и синхронизированные системы, расположенные в кормовой части судна, обеспечивают безопасный спуск и подъем забортного оборудования.

Современное бортовое информационно-вычислительное оборудование позволяет достигать высокой скорости и качества работ по сборке, обработке и передаче сейсмических данных, основанных на широких возможностях программы Geovecteur.

В 90-х гг. прошлого столетия норвежская компания PGS для реализации своей концепции, базирующейся на трех основных постулатах – безопасность, эффективность и высокая производительность морских сейсморазведочных работ – выдала судостроительной фирме Ramform большой заказ на строительство необычных судов, которые произвели настоящий фурор на рынке сейсморазведочных судов.

В эти годы была создана серия сейсморазведочных судов «Ramform Valiant», «Ramform Viking», «Ramform Challenger», «Ramform Sovereign» и др., принципиально новая архитектура которых напоминала стреловидную форму самолетного крыла. На рис. 3.14, *г* показано одно из таких судов «Ramform Challenger».

Футуристическая форма корпуса (L = 102 м, B = 40 м, T = 7,4 м), характеризующаяся V-образными шпангоутами, резко переходящими в направлении кормы в U-образные шпангоуты, способствовали значительному расширению корпуса судна. Расширенная кормовая часть позволяла размещать до 20 сейсмокосных лебедок и вести безопасную техническую эксплуатацию всего сейсморазведочного комплекса. Синусоидальная форма ватерлинии смягчает реакцию судна на качку.

Суда этой серии отличаются хорошей мореходностью. Бульбообразная форма форштевня способствует уменьшению амплитуды килевой качки и улучшает всхожесть судна на волну. В то же время необычная форма негативно сказывается на поворотливости – одной из составляющих управляемости судна. В частности, в ходе проведения сейсморазведочных работ при изменении направления движения радиус циркуляции может достигать нескольких километров.

Развитая система активных средств управления, включающая три винторулевые колонки (две – в корме, одна – в носу), обеспечивают этим судам необходимую маневренность и способность удерживаться лагом против ветра на малых скоростях движения.

Чтобы увеличить обзор и обеспечить удобства наблюдения с командного поста за работой с забортной научно-исследовательской аппаратурой, рулевая рубка оборудована мостиками, консольно разнесенными по бортам на всю ширину судна.

Суда этого поколения позволили операторам значительно сократить расходы на исследования, доведя месячную норму разведки до рекордного уровня – свыше 1500 км^2.

В частности, в 1997 г. в Западной Африке судно «Ramform Challenger», используя только восемь пьезосейсмографных кос и сдвоенных пневмоисточников, провело исследования 3D на площади в 6500 км^2, включая глубоководные блоки, в течение пяти месяцев. В 2014 г. судно «Ramform Sterling» успешно провело исследования 3D на площади около 70 000 км^2 в перспективной оффшорной зоне Центрального Мозамбикского пролива.

Продолжая укреплять свои позиции в быстро развивающемся сегменте сейсморазведки высокого разрешения, где требуются более длинные сейсмокосы, высокая эффективность их буксировки, а также большие площади охватывания исследуемых зон, компания Petroleum Geo Services (PGS) приступила к пополнению парка сейсморазведочных плавсредств судами типа «Ramform» нового поколения. В 2013–2014 гг. японская компания Mitsubishi Heavy Industries поставила компании PGS первые два судна нового поколения «Ramform Titan» и «Ramform Atlas» (рис. 7) из четырех судов серии. Поставка двух оставшихся ожидается в 2016–2017 гг.

Длина судна –104,2 м, ширина по кормовому транцу – 70 м, осадка – 6,4 м.

В кормовой части на всю ширину судна размещены 24 лебедки с сейсмокосами общей длиной 12 км.

а)

б)

в)

Рис. 7. ***Сейсморазведочное судно «Ramform Atlas»: а – общий вид; б – вид на корму; в – вид на носовую оконечность***

При мощности электростанции 18 МВт скорость хода может достигать 16 уз. Столь значительный запас мощности (избыточная энерговооруженность) при необычных главных размерениях обусловлен необходимостью буксировки 24 сейсмокос и 6 линий пневмоизлучателей, существенно повышающих достоверность и эффективность сейсморазведочных работ.

Автономность плавания судна составляет 120 сут. При этом вместимость топливных танков – 6000 т. Для безопасного и комфортного проживания 80 членов экипажа предусмотрены 60 одноместных и 10 двухместных кают.

Новое поколение судов типа «Ramform» отличается от предшествующей модификации не только увеличенными размерениями, но и новым, более цельным и динамичным дизайном. Впечатление динамичности достигнуто за счет внесения ряда конструктивных изменений и более совершенного дизайна надстройки. Конструктивные изменения в основном связаны с переносом машинного отделения из носовой части в сторону миделя; вертолетной площадки из кормовой части в носовую.

Перенос машинного отделения предопределил установку двух длинных труб по-бортно в зоне надстройки, что сделало более эстетичным архитектурный облик судна, а также позволило упростить конфигурацию газоводов и улучшить отвод отработанных газов в зону ламинарного потока воздуха, обтекающего судно, что способствует минимизации задымленности. Вследствии переноса дымовых труб из ДП судна значительно улучшилась зона обзора с надстройки. Более того, перенос машинного отделения в сторону миделя способствовал уменьшению протяженности валопровода, снижению вибрации и в целом позитивно отражается на стоимости строительства.

Новое расположение вертолетной площадки позитивно как для безопасности, ибо в случае возникновения аварийной ситуации исключается возможность повреждения ключевого сегмента сейсморазведочного судна – лебедочного отделения, так и для создания свободной зоны перед надстройкой.

Совершенство надстройки судна достигается использованием конструкции ступенчато-обтекаемой формы, имеющей некоторый уклон относительно ДП судна, в сочетании с наклоном фронтальной стенки надстройки назад (по направлению движения). Такой дизайн создает впечатление стройности и цельности всей конструкции и обеспечивает равномерное обтекание воздушных потоков и плавный, ступенчатый переход от одного яруса к другому. При этом значительная остекленность надстройки

и рулевой рубки в сочетании с вынесенными за габариты, на всю ширину судна, мостиками, обеспечивают хороший обзор рабочего участка, что позитивно отражается на управлении судном в режиме сейсморазведки.

Высокая производительность, сокращение сроков проведения сейсморазведочных работ на больших площадях – ключевые эксплуатационные показатели этих судов. К примеру, судно «Ramform Titan» при проведении сейсморазведочных работ в Бенгальском заливе в ноябре 2015 г. установило своеобразный рекорд: при использовании 18 сейсмокос, каждая длиной 7,05 км, с сепарацией (расстоянием между ними) 100 м, которые могли бы образовать полосу шириной 1,7 км, длиной 127 км (общая длина – 18 кос), судно выполнило исследования на площади 15,6 км^2.

Такая масштабная съемка с одного судна была проведена впервые в практике сейсморазведочных работ в море.

Борьба за заказчиков, стремление повысить инновационный рейтинг побуждают судостроительные компании создавать новые сейсморазведочные плавсредства, усиливающие конкуренцию в области сейсморазведочных исследований.

Несмотря на наличие широкого модельного ряда сейсморазведочных судов, отмечается непрерывная позитивная динамика их совершенствования и разработка новых.

Показательна разработка судов с необычными формообразованиями – широкими полными обводами в носовой оконечности – «X-BOBowW» (регистрационная марка компании Ulstein).

Инновационное формообразование носовой оконечности «X-BowOW» затронуло и группу сейсморазведочных судов (рис. 8).

Рис. 8. ***Сейсморазведочное судно «Oceanic Vega»***

Максимальная длина судна 106,5 м, ширина корпуса по длине судна переменная – 24 м/28 м, высота до главной палубы – 10 м. Максимальная осадка 8 м, при этом дедвейт – 6013 т. На судне обеспечена возможность проживания 70 людей.

Судно оборудовано системой динамического позиционирования, а также необходимыми сейсмическими двухбарабанными лебедками, позволяющими хранение и буксировку сейсмокос и шланго-кабелей пневмоизлучателей, двумя подруливающими устройствами туннельного типа, спутниковой связью Seismic Star.

Как видно из рис. 8, судно характеризуется прежде всего необычной креативной формой корпуса, инновационность которого заключается в наличии овальной носовой оконечности, представляющей собой цельную объемную конструкцию, соединяющую подводную и надводную части судна в единый блок.

Бассейновые испытания, проведенные компанией Ulstein, показали, что в отличие от судов с традиционными формами носовых оконечностей (резко выдвинутым вперед форштевнем), при котором судно, рассекая волну, отбрасывает ее вверх и в сторону от корпуса, конструкция «X-BOW» приводит к более сглаженному и плавному взаимодействию носовой части с встречным волнением. Сглаживающий, волногасящий эффект обусловлен способностью конструкции «X-BOW» обеспечивать плавное восхождение на волну, мерное протекание и обтекание ею бортовых конструкций, что приводит к уменьшению ударной силы волны об корпус. Такое поведение судов с «X-BOW»-формой носовой оконечности на взволнованной поверхности моря обусловлено рядом факторов.

В отличие от традиционных судовых конструкций основная масса носовой оконечности «X-BOW» расположена ниже, что улучшает противостояние встречной волне, делает плавным и постепенным выход носовой оконечности из волны в противовес обычным судам, у которых наблюдается быстрый выход, сопровождающийся рывками.

Кроме того, в отличие от обычных судов с высоко выступающей вперед (по направлению движения) носовой оконечностью, наклоненная назад (в противоположную сторону направления движения) овальная форма «X-BOW»обеспечивает хорошую обтекаемость как волновых, так и воздушных потоков, тем самым сглаживая (уменьшая) воздействие аэродинамической составляющей. В результате судно сохраняет устойчивый ход на взволнованной поверхности моря, что в целом позитивно сказывается на процессе буксировки на волнении большого числа сейсмографных кос и пневмоизлучателей при значительной их сепарации. Более того, высокий закрытый бак исключает заливаемость носовой части в штормовых условиях.

Инновационные разработки судов с нетрадиционными формообразованиями носовой оконечности «X-Bow», которые хорошо адаптированы к условиям эксплуатации на волнении, предопределили появление на рынке океанотехники не только сейсморазведочных судов, но и других плавсредств, предназначенных для обслуживания морских нефтегазовых месторождений, в частности, суда обеспечения, буровые суда и т. п. Не исключается внедрение «X-BOW» на транспортных судах большой тоннажности.

По проекту Ulstein X-BOW по заказу компании Polarkus для эксплуатации в арктических условиях была построена серия судов: «Polarkus Asima», «Polarkus Naila» (рис. 9), «Polarkus Alima», «Polarkus Selma» и др.

Рис. 9. ***Сейсморазведочное судно «Polarkus Naila» с бортовым расположением паравана***

Одно из судов серии «Polarkus Selma», построенное на верфи Drydocs World в Дубае (ОАЭ), после ввода в эксплуатацию было приобретено группой компаний «Совкомфлот» на условиях бербоут-чартера на пять лет, с правом переименования и замены флага, а также выкупа судна фрахтователем после трех лет эксплуатации.

16 сентября 2011 г. состоялась церемония поднятия Государственного флага России. В настоящее время сейсморазведочное судно – его назвали «Вячеслав Тихонов» – является флагманом сейсморазведочного флота нашей страны.

Оно относится к классу «X-BOW» 3D и предназначено для проведения геофизических исследований на континентальном шельфе в сложных климатических условиях арктических и субарктических морей.

Высокотехнологичное сейсморазведочное судно «Вячеслав Тихонов» (рис. 10) нового поколения «X-BOW» имеет длину 84,22 м, ширину 17,0 м, высоту борта 7,5 м, осадку 6,1 м. Скорость

хода – 18,5 уз обеспечивается четырьмя двигателями общей мощностью более 11 000 кВт (4×2850 кВт). Судно оснащено восемью сейсморазведочными косами длиной по 6000 м каждая.

Оптимизированные параметры дизель-электрической установки и пропульсивного комплекса позволяют судну, имеющему ледовый класс ICE 1A, вести бесперебойную работу в условиях низких температур.

а)

б)

Рис. 10. ***Сейсморазведочное судно «Вячеслав Тихонов»: а – общий вид; б – в процессе ведения сейсморазведочных работ***

Ввод в эксплуатацию «Вячеслава Тихонова», несомненно, значительно уменьшит технологический разрыв между российскими и ведущими мировыми компаниями, работающими в области морской сейсморазведки, и позволит расширить спектр услуг, предоставляемых нефтегазовым компаниям, работающим на российском континентальном шельфе и на международном рынке.

СУДА ДЛЯ ДОННОЙ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ

Донная сейсморазведка – одно из интенсивно развивающихся направлений в современной геофизике. Основными драйверами этого направления являются нефтяные компании BP и Statoil, под эгидой которых выполнены ряд работ, в частности, на Каспии, подтвердившие коммерческую целесообразность использования этого вида сейсморазведки при поиске углеводородов на шельфе [3].

Основными компаниями, оперирующими на рынке океанотехники, являются: RXT, Fairfield Nodal, Sea Bird Explaration, которые располагают значительным количеством специализированных судов, предназначенных для проведения комплексных донных сейсморабот.

Одно из таких судов класса Seabird – «Hugin Explorer» (рис. 11). Его главные размерения $L \times B$ = 85,65×19,74 м, дедвейт – 4047 т. При полной грузоподъемности 6328 т осадка – 6,4 м. Максимальная скорость хода – 10 уз.

Рис. 11. ***Общий вид сейсморазведочного судна «Hugin Explorer»***

Три носовых подруливающих устройства обеспечивают судну повышенную маневренность.

Судно характеризуется резко выдвинутой в нос надстройкой и вертолетной площадкой, которая выступает за габариты судна. За надстройкой в направлении кормы расположены технологические комплексы, в частности, специальная шахта, непосредственно связанная с опусканием и подъемом донных сейсмических станций (рис. 12).

а) *б*)

Рис. 12. ***Донные сейсмические станции: а – для глубоководных исследований; б – для исследований на мелководье***

Использование донной сейсморазведки весьма привлекательно в районах со сложной ледовой обстановкой. В этой связи весьма актуальным является создание специализированного судна ледокольного класса, способного осуществлять подводно-подледную сейсморазведку.

Резюмируя вышеизложенное, можно заключить, что основные направления перспективного развития судовых технических средств, предназначенных для проведения инженерно-геологических и сейсморазведочных работ, сводятся к следующему:

- создание специальных инженерно-геологических судов, способных выполнять работы по подводному геологическому картированию по концепции «X-BOW»;
- разработка технических средств для безопасного ведения инженерно-геологических исследований с ледового покрова Арктики;
- разработка принципиально новых методов и технических средств морских исследований, позволяющих автоматизировать процессы проведения морских изысканий с целью получения достоверных данных о строении и свойствах грунтов в условиях их естественного залегания;
- пополнение флота сейсморазведочных судов плавсредствами нового поколения «X-BOW»;
- применение эффективных подруливающих устройств и средств умерения качки для сокращения простоев судов из-за погодных условий;
- обеспечение хорошей защиты палубы от ветра и заливания;
- улучшение обзора с командного поста за работой с опускной аппаратурой;
- установка на судне лабораторий-контейнеров, которые могут заменяться в зависимости от задач рейса;
- разработка эффективных и надежных пробоотборных устройств различного назначения и конструкций, обеспечивающих минимальное нарушение структуры и стратификации донных осадков;
- широкое внедрение в практику инженерно-геологических исследований подводных дистанционно-управляемых аппаратов различного назначения и глубин погружения;
- использование современных высокоэффективных источников для возбуждения сейсмических колебаний повышенной мощности;
- увеличение количества и длины многоканальных буксируемых приемных пьезосейсмографных кос, что обеспечивает расширение обследуемой площади и объема контролируемых параметров;
- оснащение судов высокопроизводительными бортовыми информационно-вычислительными средствами для приема, обработки и передачи трех, четырех мерной (3D и 4D) пространственной сейсмической информации.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Караев Р.Н.* Плавучие сооружения морской нефтегазовой идустрии. – Баку: ЭЛМ, 2006. – 370 с.
2. *Караев Р.Н.* Морские сооружения для бурения и эксплуатации нефтегазовых скважин. – СПб.: Изд-во СПбГМТУ, 2014. – 388 с.
3. *Детков В.И. и др.* Подводная сейсморазведка на арктическом шельфе // Oil & Gas Journal (Russia). – 2014. – № 1–2 (январь-февраль). ■

ПРОФЕССОР С.И. ЛОГАЧЁВ

(14.07.1933 – 04.02.2017)

14 июля бессменному члену редакционной коллегии нашего журнала, главному научному сотруднику 5-го отделения ФГУП «Крыловский государственный научный центр», доктору технических наук, профессору, действительному члену Российской академии транспорта, Почетному судостроителю Станиславу Ивановичу Логачёву исполнилось бы 84 года.

В информационно-издательском центре «Крыловского государственного научного центра» был опубликован девятый выпуск сборника аналитических и справочных материалов «Мировое судостроение». Идейным вдохновителем этого уникального издания, посвященного исследованиям и анализу судоходного и судостроительного рынков, был С. И. Логачёв, крупнейший отечественный специалист в области гражданского судостроения. К сожалению, этот очередной выпуск сборника стал для него последним – 4 февраля Станислав Иванович ушел из жизни.

Его друзья и коллеги ценили Станислава Ивановича не только за высокий профессионализм и энциклопедические знания, но и за творческую активность, жизнерадостность и широкий круг интересов. При этом сложно переоценить научные заслуги доктора технических наук, профессора С. И. Логачёва.

Практически вся его трудовая жизнь была связана с «Крыловским государственным научным центром». Здесь он работал более 50 лет, возглавляя отдел перспективного проектирования гражданских судов, впоследствии – самостоятельный сектор исследования мирового судостроительного рынка, прогнозирования развития отечественного гражданского судостроения. Многие годы был заместителем начальника научного отделения.

С. И. Логачёв – автор монографий, учебных пособий, многочисленных научных публикаций, один из разработчиков федеральных целевых программ, активный участник подготовки специалистов-корабелов – и это далеко не полный перечень его достижений. Результаты работ, выполненных им лично и под его руководством, реализованы при создании крупнотоннажных танкеров типов «Крым» и «Победа», арктических снабженцев типа «Витус Беринг», атомного лихтеровоза «Севморпуть», судов с горизонтальной грузообработкой и др.

Много лет С. И. Логачёв возглавлял бюро секции «Проектирование судов» Центрального правления НТО им. акад. А. Н. Крылова, организовал проведение нескольких всесоюзных конференций по основным направлениям развития отечественного гражданского судостроения. До 2009 г. он являлся постоянным председателем программного Комитета международных конференций по судоходству и судостроению «Нева». Глубокое понимание сложных процессов, сопровождающих развитие гражданского судостроения, и особенностей проектирования судов различных типов снискали ему высокий авторитет как у российских, так и у зарубежных специалистов.

Станислав Иванович считался непревзойденным экспертом в области судостроения и экономики водного транспорта, а его имя широко известно в кругах судостроителей не только в нашей стране, но и за рубежом: в течение 20 лет он работал в секции «Судостроение» Комитета СЭВ по промышленности, продолжительное время участвовал в работе Подкомитета по проектированию и оборудованию судов в Комитете по безопасности ИМО.

Он – автор более 200 научных работ, посвященных созданию научных основ проектирования судов, по разработке методологии прогнозирования основных параметров судов многих типов и исследованию конъюнктуры рынка судов с позиций судостроительного производства. Его монографии, среди которых есть и зарубежные публикации, всегда касались наиболее актуальных вопросов развития судостроения. В «Крыловском государственном научном центре» и на кафедре проектирования судов в Санкт-Петербургском государственном морском техническом университете им подготовлена плеяда высококлассных специалистов.

Огромный личный вклад внес С. И. Логачёв в разработку Стратегии развития судостроительной промышленности до 2020 г. и конверсионной программы «Российские верфи» – основы формирования ФЦП «Развитие гражданской морской техники», оказавшей существенную поддержку развитию предприятия и всей отраслевой науки.

Не стало замечательного человека, которого отличали широкая эрудиция, принципиальность, любовь к своему делу, лидерские качества, дружелюбие и веселый нрав. С. И. Логачёв прожил большую, насыщенную и очень непростую жизнь, сделал много добрых дел. Память о нем останется в сердцах его близких и друзей, идеях и книгах. ■

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДВУХ ПОДХОДОВ К РАЗРАБОТКЕ АЭРОГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ КОМПОНОВКИ СКОРОСТНОГО АМФИБИЙНОГО СУДНА

П.С. Кальясов, *канд. техн. наук, инженер-конструктор ООО «Судостроительная компания «Аэроход»,*
М.П. Лобачев, *канд. техн. наук, нач. отделения ФГУП «Крыловский государственный научный центр»,*
А.И. Лукьянов, *гл. конструктор проекта, ООО «Судостроительная компания «Аэроход»,*
А.В. Февральских, *аспирант Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева,*
В.В. Шабаров, *канд. техн. наук, руководитель исследовательского отдела, ООО «Судостроительная компания «Аэроход»,*
контакт. тел. +7 (831) 282 6500, (812) 415 4599

ВВЕДЕНИЕ

В Государственной программе Российской Федерации «Развитие судостроения на 2013–2030 гг.» [1] в качестве одной из базовых конструктивно-технологических платформ рассматривается скоростное пассажирское (грузопассажирское) судно (на основе применения методов динамического поддержания: судно на подводных крыльях, судно на воздушной подушке (СВП), экраноплан) для внутренних водных путей и морских прибрежных перевозок. Разработка методологических основ выбора и исследования аэрогидродинамических компоновок таких судов с применением современных вычислительных технологий является одним из возможных путей повышения эффективности проектирования.

В настоящий момент скоростные амфибийные суда на воздушной подушке (АСВП) с ограждением баллонетного типа эксплуатируются на маршрутах всесезонных пассажирских и грузовых перевозок на региональном уровне по руслам боковых и магистральных рек. Это переправы в Сибири (Мотыгино–Лесосибирск), на Дальнем Востоке (Благовещенск–Хэйхэ), Чукотке (Анадырь–Угольные копи), маршруты в центральной части России (Самара–Рождественно, Камышин–Николаевск, Казань–Верхний Услон) и другие. Возможности баллонетных СВП для переходов на большие расстояния демонстрировались неоднократно. В 2012 г. группой СВП был совершен переход по маршруту Нижний Новгород – Новгород Великий–Нижний Новгород, в 2013 г. – Игарка–Хатанга–мыс Челюскин–Хатанга (по материку, Таймыру, морю Лаптевых); в 2014 г. – Нижний Новгород–Ступино–Нижний Новгород, в 2016 и 2017 гг. – Нижний Новгород–Санкт-Петербург–Нижний Новгород, в 2017 г. – Архангельск–Чёшская Губа–Архангельск.

В целом перспективы этого вида транспорта для России интересны. Существует концепция организации инфраструктуры отдаленных районов Севера и Сибири, в рамках которой эксплуатация амфибийных судов рассматривается как скорейшее и рациональное приближение жителей труднодоступных регионов к транспортным развязкам и социальным центрам [2].

Вместе с тем реализация транспортной задачи скоростными амфибийными судами требует решения целого комплекса технико-экономических проблем. На сегодняшний день недостатками существующих амфибийных судов являются:

- относительно низкие (для сибирских, северных масштабов) ходовые скорости (крейсерские скорости составляют 50–60 км/ч);
- недостаточные надежность и ресурс, в первую очередь, специфических элементов амфибийных судов – гибких ограждений;
- низкая в длительных переходах комфортабельность, связанная с достаточно высоким уровнем (порядка 0,5) перегрузок при ходе на волне и ледовым торосам.

Анализ перечисленных недостатков привел к идее создания судов нового вида: АСВП с аэродинамической разгрузкой (с АР). В отличие от других видов скоростных амфибийных судов АСВП с АР имеет два крейсерских режима движения: режим хода на статической воздушной подушке со скоростями 30–90 км/ч и режим хода на динамической воздушной подушке – экранный полет со скоростями 120–200 км/ч.

АСВП с АР использует положительные качества АСВП: возможность движения на воздушной подушке на малых скоростях, маневренность, экономичность, безопасность, понижженные в сравнении с авиацией и традиционным скоростным флотом (судам на подводных крыльях) требования к техническому обслуживанию и условиям базирования. В то же время АСВП с АР способны проходить за 6–12 часов расстояния до 1000 км с погрузкой-выгрузкой пассажиров в промежуточных пунктах. Условия обитаемости по действующим перегрузкам на режиме экранного полета аналогичны самолетным, и этот режим может с умеренной физиологической нагрузкой длительно переносится пассажирами. АСВП с АР могут использоваться для пассажирских перевозок в бассейнах Печоры, Оби, Енисея, Лены, Амура, Колымы, Хатанги. Для решения специальных задач эти суда могут эффективно эксплуатироваться в Арктике.

Однако для создания этого нового типа судов необходимо предварительно решить ряд задач и, в первую очередь, разработать аэрогидродинамическую компоновку. Следует иметь в виду, что разработка аэрогидродинамической компоновки конкретного скоростного амфибийного судна складывается из разработки компоновки первого приближения (базовой компоновки) и ее дальнейшей коррекцией по результатам моделирования динамики движения, устойчивости, управляемости, внешних нагрузок. В некоторых случаях базовая аэрогидродинамическая компоновка может создаваться по прототипу, что очевидно сокращает поисковые исследования.

В настоящей работе рассматриваются два подхода к решению задачи выбора и обоснования базовой аэрогидродинамической компоновки АСВП с АР: традиционный, базирующийся на технологиях физического модельного эксперимента, и подход, использующий вычислительные технологии CFD (Computational Fluid Dynamics – вычислительная динамика жидкости). В качестве критериев для анализа выбраны:

- согласованность результатов исследования аэрогидродинамических характеристик компоновки судна двумя различными подходами;
- оценка затрат производственных ресурсов – стоимости работ и оборудования, затраченного времени и количества задействованного персонала.

Анализ выполнен на базе опыта проектирования аэрогидродинамической компоновки самоходной модели скоростного АСВП с АР проекта «Тунгус» (ООО «Судостроительная компания «Аэроход», Нижний Новгород) и экраноплана «Стриж» (главный конструктор А. И. Лукьянов).

ПРИМЕНЕНИЕ ФИЗИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Традиционно аэрогидродинамические характеристики компоновочных вариантов проектируемого судна получают по результатам физических экспериментов с моделями судна

и его отдельных элементов в аэродинамических трубах, опытовых бассейнах, на открытой воде и испытательных стендах. Этот подход является общепризнанным и, как правило, позволяет получать результаты, удовлетворяющие нужды проектирования с достаточной степенью достоверности. В то же время он не свободен от ряда недостатков. Некоторые вопросы соотношения модельного и численного эксперимента в теории корабля были рассмотрены еще в 2001 г. [3]. Как указывалось, одним из основных факторов, снижающих научную ценность эксперимента в обеспечение практического проектирования, является подмена объекта исследования. Испытывается не сам объект – реальный корпус судна, а его уменьшенная во много раз модель. В результате возникает необходимость дополнять эксперимент теоретическими построениями, зачастую не имеющими достаточного экспериментального подтверждения (проблема масштабного эффекта).

На результаты эксперимента в аэродинамической трубе влияют эффекты взаимодействия потока, обтекающего модель, со стенками трубы или с внешними воздушными массами – в трубе с открытой рабочей частью. Наглядно это показано в работе [4], где для согласования расчетных и экспериментальных результатов пришлось проводить численное моделирование с подробной геометрией экспериментальной установки, включая систему крепления и аэродинамическую трубу. Подобного рода эффекты в наибольшей степени важны именно для испытаний моделей скоростных судов. Кроме того, в натурных условиях эксплуатации судна существуют процессы, не поддающиеся моделированию в лабораториях. К таким процессам относится моделирование в аэродинамической трубе закрутки струи воздушного винта, моделирование воздушной подушки СВП с учетом масштаба давления окружающей воздушной среды, моделирование аэрогидроупругости конструкций судна (с учетом одновременного выполнения масштабных критериев по числам Рейнольдса и Коши).

Сравнительно успешным примером реализации скоростного экранного судна на базе результатов физического моделирования является учебно-тренировочный экраноплан «Стриж», созданный в начале 1990-х гг. по прототипу экраноплана «Орленок».

В табл. 1 приведены перечень работ по физическому моделированию, выполненных в процессе проектирования учебно-тренировочного экраноплана «Стриж» (масса – 1,6 т), и их стоимость в пересчете на ориентировочную стоимость в ценах 2017 г. (с учетом индекс-дефляторов).

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ CFD

Развитие вычислительных технологий способствует внедрению методов CFD в проектирование аэрогидродинамической компоновки судна. Примерами программных пакетов, реализующих CFD-технологии, являются ANSYS CFD (CFX и Fluent), STAR-CCM+, Open FOAM и др. В основе технологий CFD – вычисление характеристик движения жидкости, в частности, прямое решение нестационарных уравнений Навье–Стокса, осредненных по Рейнольдсу с привлечением полуэмпирических моделей турбулентности (URANS методы). Используется сеточное разбиение моделируемого пространства, с учетом законов сохранения массы, энергии и количества движения. Решение дифференциальных уравнений сводится к решению систем линейных алгебраических уравнений, число которых пропорционально числу элементов сетки, а время решения задачи во многом определяется характеристиками сеточной модели. Построение сеточной модели осуществляется на основе 3D геометрии, созданной либо в используемом программном пакете семейства CFD, либо в другой системе автоматического проектирования с дружественным интерфейсом. Ряд примеров использования численных методов для решения задач, характерных для корабельной гидродинамики, приведены в работе [5].

Обтекание АСВП с АР набегающим аэродинамическим потоком на крейсерском режиме экранного полета моделируется в параллелепипеде размерами, в 5–10 раз большими размерений судна (рис. 1). На границе обтекаемого судна *1* выбираются граничные условия непротекания и прилипания ($V_x = V_y = V_z = 0$). На входной границе параллелепипеда *2* граничным условием является величина и направление скорости обтекания; на верхней и боковых границах *3*, *4* – равенство нулю избыточного давления (через эти грани допускается вход-

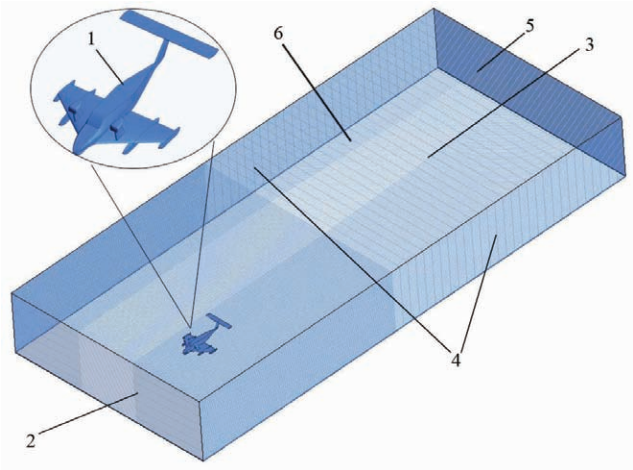


Рис. 1. ***Область CFD-моделирования экранной аэродинамики АСВП с А***

Таблица 1

Перечень, назначение и стоимость (в ценах 2017 г.) работ физического моделирования экраноплана «Стриж»

№	Наименование модели	Назначение
1	«Зеркальные» модели (2шт)	Испытания в аэродинамической трубе, моделирование экранного эффекта
2	Аэродинамическая модель без силовой установки	Испытания в аэродинамической трубе над твердым экраном, моделирование взаимодействия воздушного потока и движительно-силовой установки
3	Аэродинамическая модель с силовой установкой	
4	Буксируемая модель с силовой установкой	Испытания в бассейне, моделирование крейсерских режимов движения на воде, взлета и посадки
5	Буксируемая модель без силовой установки	
6	Аэродинамическая модель для выбора формы и положения горизонтального оперения	Испытания в аэродинамической трубе с вариантами оперения
7	Модель для испытаний на открытой воде без силовой установки	Анализ движения с учетом волнения и ветра
8	Модель для испытаний на открытой воде с силовой установкой	
Общая продолжительность работ, включая изготовление моделей и проведение испытаний, составила 2 года		
Стоимость одного цикла испытаний каждого вида – около 3 млн. руб.		
Стоимость изготовления одной модели – около 900 тыс. руб.		
Суммарная стоимость работ – около 32,1 млн. руб.		

выход воздуха в расчетную область). Аналогичное условие устанавливается на выходной границе *5*, но без возможности проникновения воздуха в расчетную область через эту грань. На нижней границе *6* ставится условие подвижного экрана со скоростью, равной скорости набегающего потока. С учетом этих условий влиянием границ параллелепипеда при моделировании можно пренебречь.

Аналогично выполняется моделирования движения судна на статической воздушной подушке в контакте с водой с той разницей, что в нижней части параллелепипеда вместо подвижного экрана задан слой жидкости. В процессе решения количество вещества газовой фазы (воздуха) и жидкой фазы (воды) в каждой ячейке пространства характеризуется значением параметров Volume Fraction, благодаря чему в результате моделирования получена картина замыва и брызгообразования ограждения воздушной подушки (рис. 2).

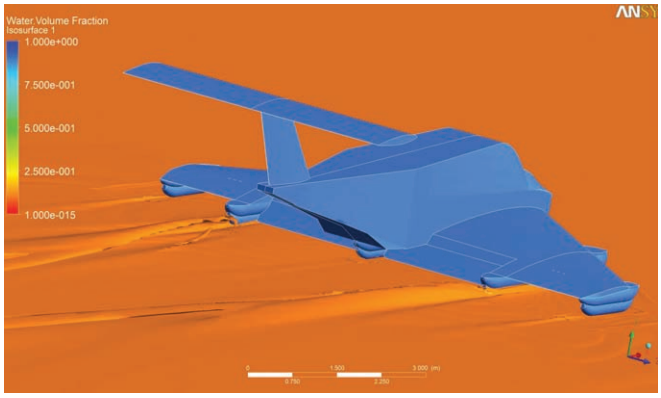


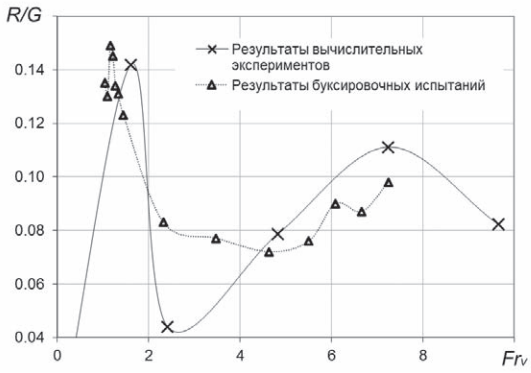
Рис. 2. ***Результат CFD-моделирования аэрогидродинамики АСВП с АР на режиме хода на воздушной подушке (оранжевым цветом показана поверхность воды)***

Программные пакеты семейства CFD обладают широким рядом возможностей для анализа результатов моделирования в числовой и графической форме, включая раздельное определение нагрузок на элементы компоновки судна, построение полей скоростей, давлений, визуализацию линий тока, что превосходит по наглядности и детальности возможности гидроаэродинамических лабораторий.

В то же время существуют основания для критики технологий CFD:

– программный код большинства CFD-пакетов закрыт для пользователей;
– результат моделирования зависит от структуры сеточного разбиения пространства;

а)



б)

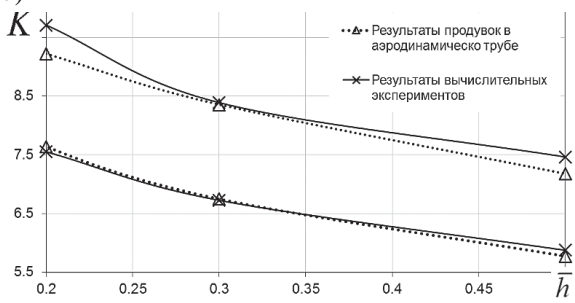


Рис. 3. ***Верификация CFD-моделирования аэрогидродинамики самоходной модели АСВП с АР «Тунгус»: а – отношение силы сопротивления к весовому водоизмещению в зависимости от числа Фруда; б – аэродинамическое качество в зависимости от высоты судна над экраном на разных углах тангажа***

– разные вычислительные пакеты дают достаточно близкие, но не одинаковые результаты моделирования;
– при решении уравнений Рейнольдса используются полуэмпирические модели турбулентности.

ВЕРИФИКАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ CFD-МОДЕЛИРОВАНИЯ АЭРОГИДРОДИНАМИКИ АСВП С АР «ТУНГУС»

Опыт использования программного пакета ANSYS CFD для моделирования экранной аэрогидродинамики и верификации результатов CFD-моделирования самоходной модели АСВП с АР «Тунгус» [6–8] демонстрирует приемлемую для проектирования согласованность данных (рис. 3), полученных в результате вычислительных экспериментов, с резуль-

Таблица 2

Оценка ресурсов для разработки компоновки АСВП с АР «Тунгус»

CFD-моделирование		Традиционный подход	
Вид моделей и назначение			
Гидродинамическая CFD-модель для определения гидродинамического сопротивления		Буксируемая модель для испытаний в бассейне	
		Буксируемая модель для отработки ограждения воздушной подушки	
Аэродинамическая CFD-модель для определения крейсерских характеристик		Аэродинамическая модель для испытаний в трубе над твердым экраном	
Аэродинамическая CFD-модель с взлетно-посадочной механизацией, переложенными органами управления		Аэродинамическая модель для определения характеристик органов управления, выбора оперения	
Продолжительность работ, кол-во месяцев			
6		24	
Задействовано специалистов, чел.			
4		10	
Стоимость работ, млн. руб.			
9,45		15,6	
В том числе: – стоимость вычислительного оборудования – стоимость лицензий Ansys CFD – заработная плата сотрудников (с учетом налоговых отчислений)	 1,7 5,6 2,15	В том числе: – изготовление одной модели – один цикл испытаний каждого вида	 0,9 3

татами физических модельных исследований, выполненных в лабораторных условиях «Крыловского государственного научного центра».

АНАЛИЗ РЕСУРСОЕМКОСТИ РАЗРАБОТКИ АСВП С АР «ТУНГУС»

В табл. 2 и на рис. 4 приведены результаты оценки затраченных ресурсов на получение аэрогидродинамических характеристик компоновки самоходной модели АСВП с АР «Тунгус» с использованием пакета ANSYS CFD и методами традиционного подхода на базе физического моделирования. Сопоставление затрат показывает преимущество CFD-подхода по объему потребных ресурсов, как финансовых, так и временных.

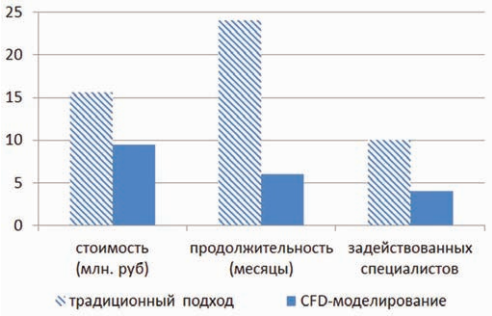


Рис. 4. ***Ресурсоемкость двух подходов к разработке компоновки АСВП с АР «Тунгус»***

Следует отметить, что перечень работ, приведенный в табл. 2, не в полной мере соответствует перечню работ, выполнявшихся в процессе разработки экраноплана «Стриж» (см. табл. 1). Для оценки ресурсоемкости разработки экраноплана «Стриж» методами CFD необходимо выполнить численное моделирования всех приведенных в табл. 1 экспериментов. Однако ряд работ из табл. 1, например, эксперименты с «зеркальными» моделями и аэродинамической моделью без силовой установки, аналогичны по своей информативности результатам CFD-моделирования экранной аэродинамики.

Существенно и то, что полученный в процессе проектирования АСВП с АР «Тунгус» опыт был использован судостроительной компанией «Аэроход» в последующих разработках проектов СВП А-25 и СВП А-20 (рис. 5). С использованием отработанных CFD-методик головные суда этих проектов были спроектированы, построены и введены в эксплуатацию без проведения физических модельных экспериментов. В настоящее время осуществляется серийный выпуск этих судов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Применение технологий CFD для определения аэрогидродинамических характеристик скоростных амфибийных судов позволяет получать надежные для проектирования результаты.

2. Использование технологий CFD позволяет снизить финансовые и временные затраты на отработку аэрогидродинамической компоновки скоростного амфибийного судна.

3. Внедрение технологий CFD в проектирование реализовано судостроительной компанией «Аэроход». Прогнозируемые CFD-моделированием характеристики близки к результатам натурных испытаний скоростных амфибийных судов проектов «Тунгус», А-25, А-20. Применение технологий CFD явилось одним из основных факторов, позволивших создать в течение трех лет как самоходную модель АСВП с АР «Тунгус», так и натурные СВП проектов А-25 и А-20.

а)

б)

в)

Рис. 5. ***Суда, спроектированные с использованием CFD-технологий: а – АСВП с АР «Тунгус»; б – СВП А-25; в – СВП А-20***

ЛИТЕРАТУРА

1. Государственная программа Российской Федерации «Развитие судостроения на 2013–2030 годы», adm44.ru/i/u/sudostroenie.doc.
2. Роль перспективных воздушных амфибий в развитии транспортной системы России, включая приморские регионы страны. Теория и практика морской деятельности // Инновационные транспортные подсистемы. – 2013. – Вып. 24. – С. 42–60.
3. *Лобачев М.П., Сазонов К.Е., Чичерин И.А.* Модельный и численный эксперимент в теории корабля. Проблемы масштабного эффекта в экспериментальной гидродинамике. – Сб. статей к 100-летию со дня рождения Ю.В. Кривцова, СПб., 2001, с. 33–45.
4. *Егоров С.В., Корнилов Д.В.* Применение метода отсоединенных вихрей для расчета течения в зазоре между крылом и твердой стенкой: Осредненные характеристики потока // Тр. «Крыловского государственного научного центра». – 2013. Вып. 78 (362). – С. 43–46.
5. *Лобачев М.П., Овчинников Н.А., Пустошный А.В.* Опыт использования современных методов численной гидродинамики // Академик А.Н. Крылов: К 150-летию со дня рождения. – СПб., 2013, с. 15–32.
6. *Кальясов П.С., Февральских А.В., Шабаров В.В.* Математическое моделирование аэрогидродинамики амфибийного судна на воздушной подушке с аэродинамической разгрузкой на режиме хода на воздушной подушке // Проблемы прочности и пластичности. – 2014. – Вып. 76 (3). – С. 263–268.
7. *Кальясов П.С., Февральских А.В., Шабаров В.В.* Верификация результатов численного моделирования экранной аэродинамики амфибийного судна на воздушной подушке с аэродинамической разгрузкой. – Сб. докл. XI Международ. науч. конфер. по амфибийной и безаэродромной авиации «Гидроавиасалон–2016». – М.: ЦАГИ им. Жуковского, 2016. – Ч. I. – С. 233–238.
8. *Кальясов П.С., Лукьянов А.И., Февральских А.В., Шабаров В.В.* Применение механизации крыла в виде закрылка и предкрылка на взлетных режимах экранопланов со статической воздушной подушкой // Морские интеллектуальные технологии. – 2017. – № 2 (36). – Т. 2. – С. 9–15. ■

ЗАКЛАДКА ПОДВОДНЫХ ЛОДОК «ПЕТРОПАВЛОВСК-КАМЧАТСКИЙ» И «ВОЛХОВ»

АО «Адмиралтейские верфи»,
контакт. тел. (812) 495 2544

28 июля 2017 г. в АО «Адмиралтейские верфи» (входит в Объединенную судостроительную корпорацию) состоялась церемония закладки двух больших дизель-электрических подводных лодок «Петропавловск-Камчатский» и «Волхов» пр. 636.3 для Тихоокеанского флота России. В торжественном мероприятии приняли участие заместитель министра обороны РФ Ю.И. Борисов, начальник Управления кораблестроения Главного командования ВМФ РФ контр-адмирал В.А. Тряпичников, губернатор Ленинградской области А.Ю. Дрозденко, генеральный директор АО «Адмиралтейские верфи» А. Бузаков.

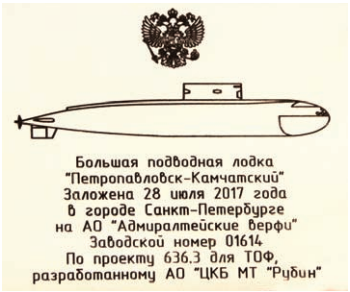
Сегодня у нас двойной праздник, мы закладываем сразу две подводные лодки, – подчеркнул Александр Сергеевич Бузаков. – Наши верфи всегда были сильны своими традициями, одна из которых – трудовые подарки к знаменательным датам. Закладка двух новых кораблей для Тихоокеанского флота стала достойным трудовым подарком к нашему общему профессиональному празднику – Дню Военно-Морского Флота России!

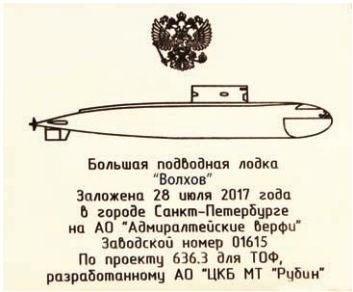
Важным шагом на пути укрепления обороноспособности России назвал это событие заместитель министра обороны России Юрий Иванович Борисов: «Адмиралтейские верфи,– сказал он,– являются стабильным поставщиком вооружения для военно-морского флота. За последние несколько лет в кратчайшие сроки предприятие построило шесть подводных лодок для Черноморского флота, усилиями верфей мы укрепили этот регион, внеся стабильность и показав всем, что он надежно защищен. Теперь перед заводчанами стоит задача укрепить наши восточные рубежи – Тихоокеанский флот. И я уверен, что коллектив, стабильно, ритмично и качественно строящий корабли, удержит эту высокую планку».

В первом ряду (слева направо): А.Ю. Дрозденко, А.С. Бузаков, Ю.И. Борисов, В.В. Чирков, И.В. Вильнит

Контракт на постройку серии из шести подводных лодок пр. 636.3 для Тихоокеанского флота России между Министерством обороны РФ и АО «Адмиралтейские верфи» был подписан в сентябре 2016 г. в рамках Международного военно-технического форума «Армия–2016». По условиям контракта первый корабль будет передан заказчику в 2019 г., строительство всей серии планируется завершить в 2022 г.

Подводные лодки модифицированного 636-го проекта имеют более высокую по сравнению с предыдущими проектами боевую эффективность.





Основные технические характеристики подводных лодок пр. 636.3

Длина, м	73,8
Ширина, м	9,9
Осадка, м	6,6
Водоизмещение полное, т	3120
Скорость, уз:	
надводная	11
подводная	20
Дальность плавания, мор. мили:	
в надводном положении	7500
в подводном положении	400
Глубина погружения, м	300
Автономность, сут	45
Экипаж, чел.	54

Перед началом закладки подводных лодок «Петропавловск-Камчатский» и «Волхов»

Мировой приоритет кораблей этого класса в области неатомного подводного кораблестроения обеспечивают оптимальное сочетание акустической скрытности и дальности обнаружения целей; новейший инерциальный навигационный комплекс; современная автоматизированная информационно-управляющая система; мощное быстродействующее торпедно-ракетное вооружение.

«Адмиралтейские верфи» – безусловный лидер в строительстве субмарин такого класса и с 1983 г. успешно поставляет их на экспорт. С 1932 г. на предприятии построено более 400 подводных лодок и глубоководных аппаратов различных проектов. ■

«СЕВЕРНАЯ ВЕРФЬ» СПУСТИЛА НА ВОДУ КОРАБЛЬ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ И КОРВЕТ

ПАО СЗ «Северная верфь»,
контакт. тел. (812) 324 2985

На Северной верфи (входит в Объединенную судостроительную корпорацию) 30 июня 2017 г. состоялся спуск на воду корвета «Гремящий» пр. 20385.

После перевода к достроечной набережной корвет получил питание с берега на свой главный распределительный щит. В августе на «Гремящем» начались швартовные испытания. Во время испытаний корабелам необходимо «закрыть» более ста швартовных удостоверений на устанавливаемые системы и приборы. Параллельно будут продолжены достроечные работы, в том числе оборудование и зашивка жилых, санитарно-бытовых помещений и камбузов, устройство изоляции и т.д. Также сейчас на корвете устанавливается штатное вооружение – ракетный, артиллерийский и зенитный комплексы.

Корвет «Гремящий» перед спуском

Основные характеристики корвета пр. 20385

Длина, м	106
Ширина, м	13
Скорость, уз	27
Водоизмещение, т	2500
Дальность плавания, мор. мили	4000
Экипаж, чел.	100

В строительстве «Гремящего» принимает участие более ста основных поставщиков, локализованных по России от Хабаровска до Махачкалы, всего – более трех тысяч контрагентов.

Генеральный директор Северной верфи Игорь Борисович Пономарев отметил, что корвет пр. 20385, разработанный ЦМКБ «Алмаз», имеет значительные преимущества по сравнению с корветами предыдущих проектов. «Улучшены его ходовые характеристики, используется самое современное вооружение, для уменьшения заметности применяется радиопоглощающее покрытие. На «Гремящий» будет установлен новейший многофункциональный радиолокационный комплекс, который позволит кораблю хорошо ориентироваться в море и получать точные данные о противнике»,– рассказал он. Осенью планируется заселение экипажа, а весной следующего года корвет отправится на ходовые испытания. Передать заказ Министерству обороны РФ следует до конца 2018 г.

Многоцелевые корветы пр. 20385 предназначены для обнаружения и уничтожения подводных лодок и надводных кораблей противника, обеспечения высадки десанта, а также решения разнообразных задач в ближней морской зоне.

«Гремящий» – четвертый корабль с этим именем, построенный на верфи и десятый – в истории отечественного флота. Первый фрегат «Гремящий» был построен еще в 1762 г. в Архангельске.

Ранее, 16 мая 2017 г. на Северной верфи состоялся спуск на воду судна связи пр.18280 «Иван Хурс» (проектант — ПАО «ЦКБ «Айсберг»). В конце мая на судне начались швартовные испытания, во время которых судостроители подключили главный распределительный щит корабля к постоянному источнику питания, проведут пусконаладку всех корабельных систем – систем пожаротушения, вентиляции, подачи топлива, водоочистки и других. В конце августа на корабль вселится экипаж. Одним из ключевых этапов испытаний станет проверка работы главной энергетической установки. За период швартовных испытаний корабелам нужно закрыть около 170 швартовных удостоверений.

Заводские ходовые испытания намечены на сентябрь. До конца года «Иван Хурс» должен быть передан заказчику.

Судно связи, названное в честь вице-адмирала Ивана Кузьмича Хурса, внесшего выдающийся вклад в создание и развитие постоянно действующей разведки ВМФ СССР, предназначено для обеспечения связи, управления флотом, решения специальных задач и строится для замены выслуживших срок аналогов предыдущих поколений. У судна связи значительно улучшены экономичность и эксплуатационные характеристики корабельной энергетики, внедрена широкая автоматизация управления техническими средствами и вооружением. «Иван Хурс» имеет отличные мореходные качества. Флагман этой серии – «Юрий Иванов» – передан заказчику в 2014 г. ■

«Иван Хурс» в спусковом доке завода

Основные характеристики судна связи пр. 18280

Длина, м	95
Ширина, м	16
Скорость, уз	16
Водоизмещение, т	4 000
Дальность плавания, мор. мили	8 000
Экипаж, чел.	131

«Гремящий» и «Иван Хурс» у достроечной стенки Северной верфи

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ФОРМИРОВАНИЯ СТОИМОСТИ ПОСТРОЙКИ ГРАЖДАНСКИХ СУДОВ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ. ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ РОССИЙСКИХ ВЕРФЕЙ НА ОТЕЧЕСТВЕННОМ И МЕЖДУНАРОДНОМ СУДОСТРОИТЕЛЬНОМ РЫНКАХ

Н.В. Ворошилов, *начальник отдела маркетинга ПАО «Выборгский судостроительный завод», контакт. тел. +7 (921) 858 5808*

Данная статья посвящена анализу развития рынка гражданского судостроения в Российской Федерации и актуальна только для верфей, специализирующихся исключительно на производстве гражданской продукции. По ряду исторически сложившихся причин верфи, выпускающие продукцию по гособоронзаказу (ГОЗ), имеют существенные отличия от гражданских верфей как в общей структуре предприятий, так и в управлении производством, проектировании, закупках, и, как следствие, в формировании стоимости и сроков изготовления судов гражданского назначения. При этом графики загрузки производственных мощностей верфей, участвующих в ГОЗ, могут крайне резко корректироваться в зависимости от изменений планов по исполнению ГОЗ, что напрямую влияет на потенциальные гражданские заказы, размещенные или планируемые к размещению на такой верфи. Поэтому верфи, участвующие в ГОЗ, при всем желании не могут и в обозримом будущем не смогут конкурировать на рынке гражданского судостроения с полностью гражданскими верфями, что прекрасно понимают ключевые заказчики судов гражданского назначения.

Рынок гражданского судостроения в РФ отличается крайней нестабильностью и непредсказуемостью. Основными заказчиками на отечественном рынке исторически является государство в лице различных ведомственных организаций и крупнейшие государственные корпорации или связанные с ними предприятия, развивающие различные транспортные и инфраструктурные проекты, а также проекты по добыче полезных ископаемых. В последнее время к ним добавляются иные коммерческие организации, что связано с разработкой или вступлением в силу законопроектов, стимулирующих заказ судов на верфях РФ. Примером таких законопроектов может стать законопроект о так называемых инвестиционных квотах, что вызвало резкий всплеск заказов рыбопромысловых судов на отечественных верфях, о чем будет подробнее рассказано далее.

Однако, несмотря на наличие государственных планов, программ и законопроектов по развитию как гражданского судостроения в целом, так и конкретных типов судов и плавучих сооружений, данные программы и планы обычно остаются на бумаге или претерпевают капитальные изменения количественных, и временных показателей. Это связано в основном с постоянно меняющейся экономической ситуацией в стране и внешнеполитическими факторами. Следствием отсутствия ясной и внятной перспективы хотя бы на пять лет является ситуация, при которой верфи не имеют возможности формировать долгосрочные планы развития, модернизации и оптимизации производственных мощностей под конкретные типы продукции, привлечения или переобучения рабочего персонала и в целом адаптации собственных производственных процессов под конкретные, четко сформулированные цели и задачи.

Примером влияния такой неопределенности на модернизацию мощностей и развитие верфи может служить Выборгский судостроительный завод (ВСЗ). С начала 2000-х и по 2007 г. верфь успешно сотрудничала с норвежскими за-

казчиками, поставляя им высоконасыщенные и окрашенные корпуса судов снабжения, судов специального назначения, судов рыбопромыслового флота. При уходе заказа с верфи его готовность составляла от 65% до 80%, большая часть оборудования была загружена и установлена на фундаменты попоходному, была проведена его обвязка трубопроводами и системами, корпус был полностью сформирован и окрашен. Следствием такой ритмичной и в целом серийной работы явилось серьезное снижение удельной трудоемкости на тонну готовой продукции, сокращение сроков ее изготовления и повышение общего качества работ верфи для соответствия предъявляемым норвежской стороной стандартам.

Однако с 2007 г. верфь была куплена новыми собственниками и получила заказ на две плавучие полупогружные платформы нового поколения для освоения Штокмановского месторождения. Характерной особенностью данного заказа являлось то, что платформы заявлялись лишь как первые из серии в десятки единиц, проект освоения Штокмана позиционировался как приоритетный для государства, и завод был назначен одним из головных исполнителей для его реализации. Ориентируясь на подобные планы, верфь начала масштабную модернизацию и наращивание численности рабочего персонала, направленные на массовое изготовление относительно простых крупногабаритных пространственных металлоконструкций, которые составляют значительную часть конструкции ППБУ. Однако наступил кризис 2008 г. и все заявленные планы были свернуты, оставив верфь лишь с двумя головными заказами, избыточными мощностями по работе с металлом и его окраске, а также числом рабочих, превышающих потребности. После кризисных 2008 и 2009 гг. количество потенциальных заказов по другим планировавшимся проектом сократилось почти до нуля, и собственники верфи также потеряли интерес к ее развитию, что привело к серьезнейшей недозагрузке и практически простою верфи в 2010–2011 гг., оттоку и потере ценных кадров и, как следствие, значительному снижению потенциала по работе над серьезными технически сложными заказами, чем всегда славился ВСЗ.

Аномально снежная и морозная зима 2010 г. привела к транспортному коллапсу в акватории Балтийского моря, множество судов были зажаты льдом, и имеющегося парка ледоколов не хватало для их своевременного освобождения. Данная ситуация послужила толчком для государства по ускорению программы обновления ледокольного флота, вследствие чего было принято решение о выкупе ВСЗ государственной Объединенной судостроительной корпорацией и размещению на его мощностях трех дизель-электрических ледоколов пр. 21900 М. Таким образом, находившийся на грани закрытия завод, потерявший значительную часть наиболее ценных кадров и едва сохранивший свои производственные мощности, столкнулся с необходимостью в срочном порядке восстанавливать численность квалифицированного рабочего персонала, снова модернизировать собственные производственные мощности, на этот раз для работы с толстолистовой хладостойкой сталью. Кроме того, ширина ледоколов более 26 м не позволяла спускать их на воду традиционным для верфи способом через наливную докамеру с шириной ворот 18 м. В результате завод за собственные средства спроектировал и построил в кратчайший срок, за 10 месяцев, полупогружную баржу/док «Атлант», позволяющую строить и спускать на воду суда размерениями до 130 м в длину и до 29 м в ширину. Два ледокола пр. 21900М были успешно сданы в 2015 г. и последнее судно серии было передано заказчику в декабре 2016 г. Успешная работа над строительством ледоколов привела к тому, что в 2015 г. ВСЗ получил заказы на два еще более мощных ледокола Aker Arc130A мощностью 22 МВт и портовый ледокол Aker Arc124 мощностью 12 МВт. Однако резкое падение цен на нефтегазовое сырье привело к заморозке большинства оффшорных проектов, большая часть которых планировалась в арктических водах и, как следствие, были свернуты или отложены практически все перспективные для верфи проекты по строительству ледокольного флота или судов усиленных ледовых классов. В результате верфь снова столкнулась с необходимостью поиска новых заказов.

Для ориентированной на оффшорное и ледокольное судостроение и, как следствие, достаточно дорогой верфи, какой является ВСЗ, логичным путем дальнейшего развития стало активное участие в принятой государством после более чем 15 лет обсуждений уже упомянутой программы обновления судов рыбопромыслового флота на отечественных верфях. Суть программы состоит в том, что ранее предпочитавшие зарубежные верфи или покупку б/у иностранных судов (ввиду отсутствия каких-либо ограничений от надзорных органов или профильных министерств и ведомств) рыбопромысловые компании при заказе постройки судов на верфях получали дополнительные – «инвестиционные» квоты на вылов рыбы, что резко повышало экономическую привлекательность таких проектов. ВСЗ, являясь по сути практически единственной гражданской верфью, специализирующейся на технически сложных судах, выступил локомотивом среди прочих верфей и на начало лета 2017 г. подписал уже 14 контрактов на постройку новых рыбопромысловых судов. Однако очередная резкая переориентация с крупных, тяжелых и специализированных ледоколов на серийную постройку однотипных и крайне насыщенных оборудованием рыбопромысловых судов вызывает в который раз необходимость в переориентации и модернизации мощностей, а также изменения численности и специализаций рабочего персонала. Важно отметить, что субсидирование модернизации мощностей, как и господдержка в целом в РФ осуществляется по факту только для верфей, занятых ГОЗ. Таким образом, становится понятно, что все упомянутые выше мероприятия по модернизации, оптимизации и расширению мощностей ВСЗ проводил за свой счет.

Отсутствие внятной перспективы развития и, как следствие, постоянная адаптация к меняющимся условиям являются лишь одной из причин низкой конкурентоспособности отечественных верфей. Вторая причина кроется в исторически сложившихся высоких расходах верфей на социальные обязательства и часто ненужную им инфраструктуру социальной направленности, достаточно жестких требованиях Трудового Кодекса РФ, не позволяющих достаточно оперативно балансировать численность предприятия под конкретные показатели загрузки, высокие налоговые отчисления и отсутствие внятно работающих специализированных налоговых льгот (по сравнению с другими странами.

Третья основная причина – отсутствие выраженной государственной поддержки отрасли гражданского судостроения, что особенно явно проявляется в сравнении с другими странами. К примеру, в мире основной формой господдержки судостроения являются правительственные гарантии по выданным кредитам. Это обеспечивает национальным верфям приемлемую стоимость заемного капитала и позволяет успешно конкурировать на международном рынке.

Среди других форм прямой поддержки используются:

- прямые субсидии на постройку судов;
- дешевые кредиты государственных банков;
- налоговые льготы, возможность использования безналоговых резервных фондов;
- таможенные льготы на импорт судового оборудования и комплектующих;
- льготы судовладельцам в случае постройки ими судов на национальных верфях;
- правительственные заказы на постройку судов;
- списание убытков, финансовая помощь в реконструкции верфей;
- содействие реструктуризации отрасли;
- финансирование научно-исследовательских организаций в области судостроения;

- планирование сдачи на слом и строительства новых судов;
- льготный период возмещения кредитов для судовладельцев;
- требования «локального содержания» при закупке иностранных судов;
- инвестиции в модернизацию;
- создание объектов научной инфраструктуры;
- субсидии на развитие НИОКР, техперевооружение и обучение персонала.

Важны также косвенные формы поддержки: введение охранительных квот для национального торгового флота, составление расписаний приоритетных грузов, принятие особых условий для плавания судов в каботаже, субсидирование субподрядных и обслуживающих отраслей промышленности.

Так как территориально основные верфи РФ находятся в европейской части страны, сравнение с Европой представляется наиболее очевидным. В настоящее время Европа – лидер в постройке особо сложных судов. При этом из-за жестких норм Евросоюза по свободе конкуренции, входящим в него странам крайне тяжело оказывать прямую государственную поддержку национальным верфям. Наиболее популярным ответом в Европе на кризис в мировом судостроении стала национализация промышленности, которая была проведена в Великобритании, Италии, Испании, Нидерландах и Швеции. Созданные под эгидой государства отраслевые объединения получали обширные пакеты субсидий и других форм помощи. Это, однако, не помогло европейцам в конкурентной борьбе с более эффективными азиатскими верфями. С 1980-х гг. в европейских странах опять началась приватизация судостроения. В настоящий момент среди стран–членов ЕС значительное госучастие в судостроении сохраняется только в Италии (государственный холдинг Fincantieri) и Испании (холдинг Navantia). Тем не менее прямое дотирование судостроения продолжает широко практиковаться в Европе, особенно в виде финансирования программ консолидации и реструктуризации отрасли. Европа отличается наиболее давними традициями прямого дотирования судостроения. Более того, вступление в ЕС постсоциалистических государств с сохраняющимися многообразными формами поддержки отрасли делает неизбежным столкновение сложившихся экономических реалий с либеральными законами Евросоюза. Так, в Германии национальным верфям фактически предоставлялись субсидии в размере до 30% от стоимости строительства, в Испании – до 19%, в Италии – до 13%.8 В Испании выдавались кредиты в размере 85% цены судна, что противоречит нормам ОЭСР. Широко распространенной практикой являлось и является уменьшение таможенных пошлин на импорт судового оборудования и комплектующих.

Среди стран вне европейского континента для России наиболее полезным могут быть опыт Бразилии и США:

Политика поддержки национального судостроения в США выражается в крайне жестких требованиях к локализации постройки судна на национальных верфях. Закон о «Национальной судостроительной инициативе» дает возможность американским судовладельцам получать при постройке судов на верфях США правительственные гарантии кредита в размере 87,5% стоимости судна с рассрочкой на 25 лет. Кроме того, возможно предоставление правительственных гарантий на кредиты поставщикам оборудования. При этом в Америке до сих пор действует ряд протекционистских законодательных актов в области мореплавания. Основными из них являются закон Джоунса 1920 г., согласно которому каботажное и внутреннее судоходство в США может осуществляться лишь на судах, построенных на американских верфях и плавающих под флагом США, а также закон о судоходстве 1936 г., предоставляющий льготы судовладельцам, эксплуатирующим суда американской постройки. Все эти законы или акты так или иначе предполагают дотации на строительство судов, помощь при модернизации предприятий, льготное кредитование, помощь в проведении НИОКР, субсидирование затрат.

В Бразилии в минувшее десятилетие практически с нуля была создана масштабная гражданская судостроительная промышленность. Эта страна, как и Россия, обладает собственной обширной ресурсной и грузовой базой. В конце 1990-х гг. бразильское правительство запретило национальным компаниям, в первую очередь добывающим и транспортирующим нефть, заказывать строительство судов в других странах, если можно строить их на отечественных предприятиях. Бразильское законодательство требует, чтобы при постройке судов или изготовлении комплектующего оборудования до 70% объема работ было выполнено местными компаниями. Для Бразилии характерна четко отрегулированная правовая система финансирования судостроения с одними из самых низких процентных ставок в мире (2,5–5% со сроком погашения от 10 до 20 лет) и с использованием налоговых и других льгот. Успех в развитии судостроения в стране в итоге определили: большой объем заказов от национальных компаний, четкая координация спроса и предложения со стороны правительства, жесткие требования к локализации производства для иностранных компаний, длинные дешевые банковские кредиты. При этом текущий кризис в судостроении Бразилии (как и страны в целом) вызван, в первую очередь, вскрывшимися фактами коррупции в государственных структурах и ключевых отраслях экономики, включая судостроение.

Что касается России, то, как уже было сказано выше, в стране не существует внятной стратегии развития, защиты и поддержки верфей гражданской направленности. Несмотря на частые публичные заявления, в РФ до сих пор законодательно не ограничен заказ судов на иностранных верфях государственными компаниями и ведомствами. Кроме того, часть принимаемых законов не только не помогает верфям, как было задумано при их разработке, а наоборот, прямо мешает им. В частности, принятый закон о Международном морском реестре (ММЕ) помог судовладельцам снизить часть затрат при регистрации в нем, однако он же и существенно ограничил конкурентоспособность российских верфей. Согласно данному закону, при постройке российским судовладельцем судна на зарубежных верфях и дальнейшем ввозе его в страну с регистрацией в ММЕ судовладелец освобождается от необходимости платить таможенную пошлину на судно, а также НДС. При этом, разумеется, сохраняются все льготы и дотации других государств, где было построено судно, указанные выше. При постройке аналогичного судна внутри страны с регистрацией его в ММЕ единственной льготой для судовладельца по сути является лишь обнуление НДС. Отечественная верфь вынуждена дополнительно закладывать в стоимость судна определенные средства под выплаты и последующий возврат НДС с оборудования, материалов и услуг отечественных поставщиков, а также таможенные пошлины на значительный объем импортного оборудования, что может составлять до 2% от стоимости судна. Стоимость заемных денег при получении кредитов в банках также в разы выше, чем за рубежом, что напрямую влияет на стоимость конечной продукции.

Как мы видим, причиной низкой конкурентоспособности отечественных верфей гражданской направленности по большой части являются факторы, не зависящие от самой верфи напрямую. Заказчики судов гражданского назначения, не стесненные по сути никакими законодательными ограничениями, вполне справедливо требуют от верфей конкурентных с зарубежными верфями по стоимости и срокам предложений. Однако в данном случае конкуренция получается крайне неравной, и верфи РФ для соответствия требованиям заказчиков и загрузки собственных производственных мощностей зачастую вынуждены брать заказы с нулевой или отрицательной рентабельностью, в противном случае им может грозить риск простоя и, как следствие, сокращения штата и/или консервации или закрытия части производственных мощностей. Вполне очевидно, что при таких условиях у большей части верфей просто не остается средств не то что на модерниза-

цию и развитие собственных мощностей, но и на банальное содержание имеющихся.

Как итог, для повышения конкурентоспособности и общего положения российский верфей на отечественных и международных рынках необходимы следующие шаги:

– определение приоритетных направлений продукции, выпускаемой отечественными верфями и отказ от тех направлений, конкуренция по которым невозможна по экономическим, климатическим или историческим причинам;
– определение слабых мест в государственной политике, направленной на поддержку гражданского судостроения, сравнения ее эффективности с лучшими примерами мировой практики и принятие их за основу;
– усиление координации работы ответственных за судостроение и смежных отраслей министерств и ведомств для точечной поддержки отрасли без вреда для отдельных ее сегментов;
– введение обязательных законодательных ограничений на заказ судов на зарубежных верфях для государственных ведомств, крупнейших государственных корпораций и их дочек, а также крупнейших компаний, так или иначе ведущих бизнес с принадлежащими государству ресурсами. При этом такие ограничения не должны быть общими и размытыми в формулировках. Для каждого типа судов необходимо провести тщательный анализ и разработать конкретные узкоспециализированные протекционистские меры;
– введение законов, поощряющих размещение заказов на отечественных верфях по примеру успешного начала реализации законопроекта об «инвестиционных квотах»;
– введение льготной кредитной ставки для верфей гражданской направленности.

Вышеуказанные меры помогут верфям РФ видеть перспективу развития, принимать соответствующие меры по модернизации мощностей, снижения издержек, а значит, предлагать заказчикам наиболее конкурентоспособные предложения. ■

АНАЛИЗ ВЕСОВОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СУДОВЫХ ПЕРЕБОРОЧНЫХ ПЕРЕКРЫТИЙ РАЗЛИЧНЫХ АРХИТЕКТУРНЫХ ТИПОВ И МАТЕРИАЛОВ

Д.А. Бардадим, *канд. техн. наук, начальник научно-исследовательского отдела НИИ спасания и подводных технологий ВУНЦ ВМФ «ВМА»,*
А.Е. Калиничев, *зам. начальника кафедры кораблестроения ВМПИ ВУНЦ ВМФ «ВМА»,*
В.С. Яковлев, *д-р техн. наук, проф., заслуженный деятель науки РФ, Институт проблем машиноведения РАН,*
контакт. тел. +7 (964) 320 4963, (812) 431 9462, +7(906) 241 5237

Применение полимерных композитных материалов (ПКМ) в конструкциях требует новых конструктивных решений с учетом технологических особенностей изготовления и обоснования их эффективности по сравнению с традиционными. В судостроительной практике в последние годы привлекают внимание конструкции различного архитектурного вида, выполненные из многослойных композитных и пакетных пластин. Такой тип конструкций оправдан тем, что он позволяет избежать появления значительных остаточных технологических напряжений, являющихся причиной возникновения дефектов типа свилеватости и отслоения в процессе их изготовления и эксплуатации [1]. Помимо этого, на интуитивном уровне ожидается, что такие конструкции при относительно низкой материалоемкости должны обладать высокой несущей способностью. Однако следует заметить, что сегодня число исследований в области сопоставительной оценки их преимуществ весьма ограничен, хотя и имеются надежные как аналитические, так и численные методы расчета их прочности и устойчивости, базирующиеся на научных основах механики деформируемого тела [2–4]. Ниже на примере межотсечных переборочных перекрытий подводных объектов, находящихся в аварийных условиях, дан анализ весовой эффективности в зависимости от конструктивно-технологических проектов.

Для сравнительного анализа отобраны переборки классической архитектуры (плоские, подкрепленные набором), неподкрепленные монолитные переборки и пакетной структуры, собранные из листов мембран, допускающих проскальзывание при аварийной нагрузке. Конструкции узла соединения переборок с корпусом не принимались во внимание.

За критерий эффективности Э принят вес перекрытия, отнесенный к показателю ее несущей способности:

$$Э = \frac{mg}{Q_{пр}} = \frac{mg}{\pi r^2 p}, \qquad (1)$$

где mg – вес переборки; $Q_{пр}$ – предельная нагрузка, при которой конструкция перестает удовлетворять эксплуатационным требованиям; r – радиус переборки; p – интенсивность равномерно распределенной расчетной нагрузки, действующей на переборку в аварийных условиях.

Чем меньше значение критерия, тем рациональнее конструкция и выше ее эффективность.

Несущая способность конструкции считается исчерпанной, когда ее слабое звено (элемент) достигает предельного состояния $П_с$, которое определяется либо предельным изгибающим моментом $M_{пр}$, либо пределом текучести $\sigma_т$ (металл) или пределом прочности $\sigma_в$ (ПКМ) материала, т.е.

$$П_с = \{M_{пр} V\sigma_т V\sigma_в\}.$$

Рассмотрим переборку классической архитектуры, выполненную из металла и состоящую из полотнища, представляющего круглую пластину, и набора в виде вертикальных стоек и шельфов. В основу исследований ее массовых характеристик положены общепринятые методики расчета прочности и устойчивости корабельных перекрытий.

При расчете прочности полотнища круглой переборки, как это принято на практике, рассматривается ее фрагмент, ограниченный вертикальными стойками и шельфами. В таком случае он представляет собой удлиненную тонкую жесткую пластину со сторонами a и b ($a > b$), загруженную равномерным давлением интенсивности p. Здесь a – расстояние между шельфами и b – расстояние между вертикальными стойками. Края пластины считаются жестко заделанными по всему периметру в силу симметрии опирания на стойках и шельфах. В предельном состоянии на длинных кромках пластины образуются упругопластические шарниры с моментом [2]

$$M_0 = \frac{1}{2}\left(M_{пл} + M_{уп}\right) = \frac{1}{2}\left(\frac{\delta^2\sigma_т}{4} + \frac{\delta^2\sigma_т}{6}\right) = \frac{5}{4}\frac{\delta^2\sigma_т}{6} = 1{,}25M_{уп}. \qquad (2)$$

При этом максимальный изгибающий момент посредине пластины составит

$$M_c = -\frac{pb^2}{8} + M_0 = -\frac{pb^2}{8} + 1{,}25M_{уп}.$$

Разрушение пластины наступит, когда M_c достигнет значения $M_{пр}=M_{уп}$ Из этого условия с учетом (2) найдем

$$-\frac{pb^2}{8} = -0{,}25M_{уп} = -\frac{1}{4}\frac{\delta^2\sigma_т}{6} \Rightarrow \frac{\delta}{b} = \sqrt{3\frac{p}{\sigma_т}}. \qquad (3)$$

Масса полотнища переборки

$$m_1 = \rho\pi r^2\delta = \rho\pi r^2 b\sqrt{3\frac{p}{\sigma_т}}.$$

Вертикальные стойки выполняют роль балок главного направления (БГН) и шельф – перекрестной связи (ПС), следовательно, для расчета несущей способности переборки применим аппарат расчета корабельных перекрытий [3, 4].

ПС рассматривается как балка, лежащая на сплошном упругом основании, концы которой шарнирно закреплены на жестком опорном контуре. ПС загружена равномерно распределенной нагрузкой интенсивности

$$q_п = \frac{\eta}{\gamma}\frac{Q_б}{b} = \frac{\eta}{\gamma}2ap.$$

Жесткость упругого основания, обусловленная БГН, вычисляется по формуле

$$k = \frac{Ei}{\gamma b(2a)^3}.$$

Несущая способность шельфа в таком случае оценивается максимальным изгибающим моментом посредине пролета ПС или максимальной перерезывающей силой на опоре, равными соответственно [4]:

$$M_п = -\frac{q_п(2r)^2}{8}\chi_0(u) = -\frac{\eta}{\gamma}\frac{2a(2r)^2 p}{8}\chi_0(u),\ N_п = 0; \qquad (4)$$

$$M_п = 0,\ N_п = -\frac{q_п 2r}{2}\mu_0(u) = -\frac{\eta}{\gamma}\frac{2a2rp}{2}\mu_0(u). \qquad (4а)$$

Приравнивая момент (4) и перерезывающую силу (4а) их предельным значениям, которые в нашем случае равны $M_{пр} = \sigma_т W_{ш\min}$, $N_{пр} = \tau_т\omega_ш$, найдем

$$W_{ш\min} = \frac{\eta}{\gamma}\frac{2a(2r)^2 p}{8\sigma_т}\chi_0(u),\ \omega_ш = 2ar\mu_0(u)\frac{\eta}{\gamma}\frac{p}{\tau_т}. \qquad (5)$$

Здесь и выше: δ – толщина полотнища; M – изгибающий момент, индекс при нем указывает на его физическую суть (пл – пластический, уп – упругий, пр – предельный, о – на опоре, с – посреди пластины, п – в ПС, б – в БГН); $\sigma_т$, $\tau_т$– пределы текучести нормальный и сдвиговой; E – модуль нормальной упругости; $Q_б$ – сила, действующая на БГН; i – момент инерции сечения БГН; $W_ш$ – момент сопротивления ПС; u – параметр Бубнова; η, γ – параметры, характеризующие узловые перемещения и в нашем случае принимающие значения η = 5/384, γ = 1/48.

БГН рассматривается как балка, свободно опертая на жесткие опоры и загруженная внешней распределенной нагрузкой $Q_б = 2abp$ и сосредоточенной реактивной силой от взаимодействия с ПС

$$R_б = \frac{\eta}{\gamma}Q_б\chi_0(u) = 2abp\frac{\eta}{\gamma}\chi_0(u).$$

Наиболее слабым звеном среди БГН является вертикальная стойка, расположенная в диаметральной плоскости. Максимальные значения изгибающего момента и перерезывающей силы, действующие в среднем сечении ее длины, равны

$$M_{б\max} = -\frac{ba^2 p}{2}\left[1 - 2\varphi_0(u)\frac{\eta}{\gamma}\right],\ N_б = 2abp\frac{\eta}{\gamma}\varphi_0(u). \qquad (6)$$

Перерезывающая сила достигает своего максимального значения в крайней БГН посредине ее длины

$$N_{б\max} = 2abp\frac{\eta}{\gamma}. \qquad (6а)$$

Приравнивая момент (6) и перерезывающую силу (6а) их предельным значениям $M_{пр} = \sigma_т W_б$, $N_{пр} = \tau_т\omega_б$, получаем

$$W_б = \frac{ba^2 p}{2\sigma_т}\left[1 - 2\varphi_0(u)\frac{\eta}{\gamma}\right],\ \omega_б = 2ab\varphi_0(u)\frac{\eta}{\gamma}\frac{p}{\tau_т}, \qquad (7)$$

где $W_б$– упругий момент сопротивления БГН; $\omega_б$ – площадь сечения стенки БГН, $\varphi_0(u)$ – параметр Папковича.

Минимальный момент сопротивления профиля с присоединенным пояском определяется по приближенной формуле Бубнова [3], преобразованной Папковичем [4] к виду

$$W = h\left[s + \frac{\omega}{6}(2-\beta)\right],\ \text{где } \beta = \frac{h_2}{h_1} = \frac{2s+\omega}{2s'+\omega}. \qquad (8)$$

Здесь h– высота профиля; h_1 и h_2 – отстояние центров тяжести площадей свободного и присоединенного поясков от нейтральной оси соответственно (h_1+h_2=h).

Учитывая приближенность оценочных расчетов, принимаются следующие рациональные соотношения между геометрическими параметрами набора и полотнища переборки, рекомендованные в [3, 4]:

– площади сечений стенок ω профилей набора равны трем площадям сечения их свободных поясков s: ω = 3s;

– площадь сечения присоединенных поясков s' равна трем площадям сечения профиля f: s' =3f, f = 4s.

Для принятых значений имеем

$$\beta = \frac{2s+3s}{2\cdot 12s+3s} = 0{,}185;$$
$$W = h\left[s + \frac{3s}{6}(2-0{,}185)\right] = 1{,}91hs = 0{,}64h\omega = 0{,}16hs'. \qquad (9)$$

Момент инерции профиля БГН определяется по известной из [4] формуле

$$i = h_1 W = \frac{h^2}{1+\beta}\left[s + \frac{\omega}{6}(2-\beta)\right].$$

Подставляя в нее принятые соотношения, получаем $i = 1{,}36h^2 f$.

Высоту профиля определим из условия боковой устойчивости стенки профиля. Для стенки БГН, которую можно рассматривать как пластину, находящуюся под совместным воздействием сдвига и изгиба, имеем [2, 4]

$$\frac{\sigma_т}{\sigma_э} + \frac{\tau_т}{\tau_э} = 1;$$
$$\sigma_э = \frac{\pi^2 E t_б^2}{12(1-\mu^2)h_б^2}\left[4 + 3{,}8\left(\frac{h_б}{h_ш}\right)^{2{,}33}\right]; \qquad (10)$$
$$\tau_э = 5{,}35\frac{\pi^2 E t_б^2}{12(1-\mu^2)h_б^2}.$$

Здесь $\sigma_э$ и $\tau_э$ – эйлеровы напряжения.

С учетом (8), (9) из (10) найдем

$$\frac{h_б}{t_б} = \sqrt{\frac{1{,}21\pi^2 E}{3(1-\mu^2)\sigma_т}} = 2{,}0\sqrt{\frac{E}{(1-\mu^2)\sigma_т}}. \qquad (11)$$

Стенка профиля ПС находится под воздействием в основном изгиба, в таком случае условие устойчивости имеет вид $\sigma_э \le \sigma_т$. Считая условие равенством, для ПС из второго равенства (10) получаем следующее соотношение:

$$\frac{h_ш}{t_ш} = \sqrt{\frac{2{,}49\pi^2 E}{3(1-\mu^2)\sigma_т}} = 2{,}86\sqrt{\frac{E}{(1-\mu^2)\sigma_т}}. \qquad (12)$$

Здесь $t_б$, $t_ш$ – толщины стенок профилей БГН и ПС соответственно. Значение параметра Бубнова, входящего в зависимости (5), (7), получим из соотношения

$$u=\sqrt[4]{\frac{k(2r)^4}{64EI}}=\sqrt[4]{\frac{(2r)^4Ei}{64\gamma b(2a)^3EI}}, \qquad (13)$$

где I – момент инерции шельфа, $2a$ – длина вертикальных стоек, $2r$ – длина шельфа.

Длину вертикальных стоек можно определить из геометрических соотношений

$$2a=l_{вс}=\frac{2r}{n+1}\sqrt{(n+1)^2-4(k-1)^2},$$

где k – номер стойки, отсчитываемый от диаметральной плоскости. Формула справедлива для нечетного количества стоек. При четном количестве следует в формуле член $(k-1)$ заменить на k.

Поскольку длины вертикальных стоек различны, примем за расчетную длину среднеарифметическую величину, равную

$$2a=l_{ср}=\frac{\pi r^2}{2r}=\frac{1}{2}\pi r.$$

Подставляя это значение в (13) и принимая во внимание выражения для моментов инерции БГН и ПС, получаем

$$u=\sqrt[4]{\frac{3{,}1ri}{bI}}=1{,}33\sqrt[4]{\frac{rh_б^2f_б}{bh_ш^2f_ш}}.$$

С учетом (11), (12) имеем

$$u=1{,}11\sqrt[4]{\frac{rt_б^2f_б}{bt_ш^2f_ш}}=1{,}02\sqrt{\frac{t_б}{t_ш}}. \qquad (14)$$

Поскольку, как правило, $t_б<t_ш$, значение u лежит в пределах 0,75...1,0. Примем для определенности u = 0,80, тогда μ_0 = 0,828, φ_0 = 0,731, χ_0 = 0,781. Подставляя эти значения в (5) и далее сопоставляя с (8), с учетом (9) найдем

$$W_{ш\min}=0{,}383r^3\frac{p}{\sigma_т}=0{,}64h_ш\omega_ш=0{,}64h_ш^2t_ш. \qquad (15)$$

После подстановки (12) в (15) и последующих преобразований окончательно получим определяющие зависимости для элементов шельфа из условия обеспечения прочности при изгибе

$$t_ш=0{,}418r\left[\frac{(1-\mu^2)p}{E}\right]^{1/3};\ h_ш=2{,}86t_ш\left[\frac{E}{(1-\mu^2)\sigma_т}\right]^{1/2};$$
$$\omega_ш=0{,}50r^2\left[\frac{(1-\mu^2)p}{E}\right]^{2/3}\left[\frac{E}{(1-\mu^2)\sigma_т}\right]^{1/2}; \qquad (16)$$
$$f_ш=\frac{4}{3}\omega_ш=\frac{2}{3}r^2\left[\frac{(1-\mu^2)p}{E}\right]^{2/3}\left[\frac{E}{(1-\mu^2)\sigma_т}\right]^{1/2}.$$

Преобразуя соотношения (7)–(9) и (11) аналогично выше рассмотренному, найдем зависимости для определения элементов профиля вертикальных стоек:

$$W_{б\min}=0{,}0863br^2\frac{p}{\sigma_т}=0{,}64h_б\omega_б=0{,}64h_б^2t_б;$$
$$t_б=0{,}323\sqrt[3]{br^2}\left[\frac{(1-\mu^2)p}{E}\right]^{1/3};\ h_б=2{,}0t_б\left[\frac{E}{(1-\mu^2)\sigma_т}\right]^{1/2};$$
$$\omega_б=0{,}21(br^2)^{2/3}\left[\frac{(1-\mu^2)p}{E}\right]^{2/3}\left[\frac{E}{(1-\mu^2)\sigma_т}\right]^{1/2}; \qquad (17)$$
$$f_б=\frac{4}{3}\omega_б=0{,}28(br^2)^{2/3}\left[\frac{(1-\mu^2)p}{E}\right]^{2/3}\left[\frac{E}{(1-\mu^2)\sigma_т}\right]^{1/2}.$$

Из условия обеспечения прочности БГН и ПС на сдвиг с учетом (4а) и (6а) следует

$$\omega_ш=2ar\mu_0(u)\frac{\eta}{\gamma}\frac{p}{\tau_т}=2\cdot0{,}828\frac{5\cdot48}{384}ar\frac{p}{0{,}577\sigma_т}=1{,}79ar\frac{p}{\sigma_т}; \qquad (18)$$

$$\omega_б=N_{б\max}=2ab\frac{\eta}{\gamma}\frac{p}{\tau_т}=2\cdot\frac{5\cdot48}{384}ab\frac{p}{0{,}577\sigma_т}=2{,}17ab\frac{p}{\sigma_т}. \qquad (19)$$

В формулах (18), (19) принято $\tau_т=0{,}577\sigma_т$. Сопоставляя зависимости второе в (16) с (18) и третье в (17) с (19) определяем пороговую нагрузку, начиная с которого превалирует условие по сдвигу:

$$0{,}50r^2\left[\frac{(1-\mu^2)p}{E}\right]^{2/3}\left[\frac{E}{(1-\mu^2)\sigma_т}\right]^{1/2}=1{,}79ar\frac{p}{\sigma_т}\Rightarrow$$
$$\Rightarrow p_ш^*=0{,}045\left[\frac{(1-\mu^2)\sigma_т}{E}\right]^{1/2}\sigma_т; \qquad (20)$$

$$0{,}21(br^2)^{2/3}\left[\frac{(1-\mu^2)p}{E}\right]^{2/3}\left[\frac{E}{(1-\mu^2)\sigma_т}\right]^{1/2}=2{,}17ab\frac{p}{\sigma_т}\Rightarrow$$
$$\Rightarrow p_б^*=9{,}35\cdot10^{-4}(n+1)\left(\frac{(1-\mu^2)\sigma_т}{E}\right)^{1/2}\sigma_т. \qquad (21)$$

Пороговые значения давления для различных материалов (см. ниже таблицу) представлены на диаграммах: рис. 1 для БГН и рис. 2 – для ПС. Из анализа результатов следует, что в случаях, интересующих практику, БГН должны рассчитываться по сдвиговому условию для всех рассматриваемых материалов, начиная с нагрузки в 1 МПа, исключая органопластик, для которого пороговое давление составляет более 2 МПа. Проектирование ПС (шельфа) при небольших нагрузках (менее 3 МПа) необходимо проводить по условиям изгиба и только начиная с пороговой нагрузки (для каждого типа материала – своя) – по сдвиговому условию.

Массу вертикальных стоек и шельфа определим из условия обеспечения прочности и устойчивости при изгибе с учетом (16) и (17) по следующим формулам:

$$m_б=\rho nl_бf_б=0{,}22\rho\pi r^3\frac{n}{\sqrt[3]{(n+1)^2}}\sqrt{\frac{p}{\sigma_т}}\left[\frac{(1-\mu^2)p}{E}\right]^{1/6}\ \text{при}\ p\le p_б^*;$$
$$m_ш=\rho l_шf_ш=\frac{4}{3}\rho r^3\sqrt{\frac{p}{\sigma_т}}\left[\frac{(1-\mu^2)p}{E}\right]^{1/6}\ \text{при}\ p\le p_ш^*. \qquad (22)$$

При нагрузке выше пороговой массу вертикальных стоек и шельфа следует вычислять из условия обеспечения прочности при сдвиге (срезе) по следующим выражениям, вытекающим из (18), (19)

$$m_б=\rho nl_бf_б=2{,}17\frac{4}{3}abnl_б\frac{p}{\sigma_т}\rho;\ m_б=7{,}14\frac{nr^3}{n+1}\frac{p}{\sigma_т}\rho;$$
$$m_ш=\rho l_шf_ш=1{,}79\frac{4}{3}arl_ш\frac{p}{\sigma_т}\rho;\ m_ш=1{,}87r^2\frac{p}{\sigma_т}\rho. \qquad (23)$$

Здесь $l_б$, $l_ш$ – длина вертикальных стоек и шельфа соответственно; n – число вертикальных стоек, принято $b=\frac{2r}{n+1}$.

Таким образом, общая масса переборки классической архитектуры, рационально спроектированной из условий обеспечения прочности и устойчивости при изгибе (БГН – на срез) составит

$$m_к=\rho\pi r^2\frac{2r}{n+1}\sqrt{3\frac{p}{\sigma_т}}\left\{1+0{,}656n\sqrt{\frac{p}{\sigma_т}}+0{,}123(n+1)\left[\frac{(1-\mu^2)p}{E}\right]^{1/6}\right\}. \qquad (24)$$

Показатель эффективности при этом найдется по зависимости (1)

$$Э_к=\frac{2\rho gr}{n+1}\sqrt{\frac{3}{p\sigma_т}}\left\{1+0{,}656n\sqrt{\frac{p}{\sigma_т}}+0{,}123(n+1)\left[\frac{(1-\mu^2)p}{E}\right]^{1/6}\right\}. \qquad (25)$$

Для перекрытий, рационально спроектированных по условиям обеспечения ПС и БГН на срез, масса и показатель эффективности найдутся по следующим зависимостям:

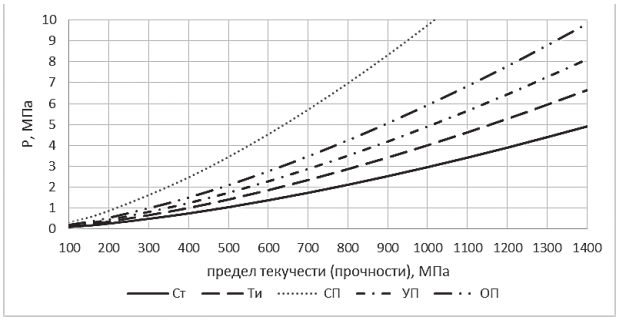


Рис. 1. ***Пороговые значения давления для перекрестных связей (ПС), изготовленных из различных материалов (сталь – Ст, титан – Ти, стеклопластик – Сп, углепластик – Уп, органопластик – Оп)***

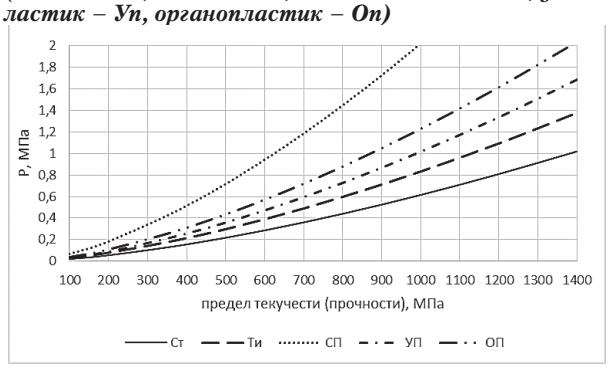


Рис. 2. ***Пороговые значения давления для балок главного направления (БГН), изготовленных из различных материалов (сталь – Ст, титан – Ти, стеклопластик – Сп, углепластик – Уп, органопластик – Оп)***

$$m_к = \rho\pi r^3 \frac{2\sqrt{3}}{n+1}\sqrt{\frac{p}{\sigma_т}}\left\{1+0{,}345(n+1)\left[1+1{,}901\frac{n}{n+1}\right]\sqrt{\frac{p}{\sigma_т}}\right\};$$
$$Э_к = \frac{2\rho g r}{n+1}\sqrt{\frac{3}{p\sigma_т}}\left\{1+0{,}345(n+1)\left[1+1{,}901\frac{n}{n+1}\right]\sqrt{\frac{p}{\sigma_т}}\right\}. \quad (26)$$

Изготовление переборок классической архитектуры из ПКМ наталкивается на ряд трудностей технологического характера, связанных с присоединением набора и его исполнением. С этих позиций целесообразнее их выполнять в виде неподкрепленной монолитной пластины. При оценке несущей способности такой переборки будем рассматривать ее, как круглую пластину толщиной $\delta_п$, шарнирно опертую (как наиболее неблагоприятный случай) на жесткий контур и загруженную равномерным по поверхности давлением интенсивности p. Напряженно-деформированное состояние ее является осесимметричным при трансверсальной изотропии свойств ПКМ. Нормальные изгибные напряжения достигают максимальных значений в центре пластины. Приведенное напряжение в этом сечении вычисляется по формуле [4]

$$\sigma_{пр} = \sigma_r - \mu\sigma_\theta = (1-\mu)(3+\mu)\frac{3}{8}\frac{pr^2}{\delta_п^2}. \quad (26)$$

Принимая за предельное состояние, когда в крайних фибрах пластины приведенное напряжение достигает значений предела текучести или прочности материала $П_с=\{\sigma_т \vee \sigma_в\}$, найдем

$$\frac{\delta_П}{r} = 0{,}612\sqrt{\frac{(1-\mu)(3+\mu)p}{П_с}}. \quad (27)$$

При этом значении относительной толщины критическая нагрузка при радиальном обжатии пластины составит [1]

$$P_{кр} = 4{,}2\frac{E}{12(1-\mu^2)}\left(\frac{\delta_П}{r}\right)^2 = 0{,}131\frac{(3+\mu)E}{(1+\mu)П_с}p \quad (28)$$

и максимальная стрелка прогиба будет равна [3]

$$w_р = \frac{3(1-\mu)(5+\mu)p}{16E}\left(\frac{r}{\delta_п}\right)^3 r = \sqrt{\frac{2}{3}}\frac{(5+\mu)}{(3+\mu)}\frac{1}{\sqrt{(1-\mu)(3+\mu)}}\frac{П_с}{E}\sqrt{\frac{П_с}{p}}. \quad (29)$$

Анализ зависимости (28) свидетельствует о том, что устойчивость переборки обеспечивается, когда ее толщина выбрана из условий изгибной прочности при воздействии аварийного давления p, так как $P_{кр} > p$.

Масса переборки определяется по формуле

$$m_м = \pi\rho r^2\delta_П = 0{,}612\pi\rho\sqrt{\frac{(1-\mu)(3+\mu)p}{П_с}}r^3. \quad (30)$$

Критерий эффективности (1) вычисляется по следующей зависимости:

$$Э_м = \sqrt{\frac{3(1-\mu)(3+\mu)}{8}}\frac{\rho g r}{\sqrt{pП_с}}. \quad (31)$$

Следует отметить, что ПКМ работают существенно эффективнее в условиях растяжения, чем при изгибе. Поэтому заслуживают рассмотрения переборки в виде пакета мембран, выполненных из трансверсально изотропного ПКМ и допускающих проскальзывание слоев относительно друг друга при изгибе [5]. Считая пакет мембран шарнирно закрепленным на недеформируемом опорном контуре, на основании полученного в [1] решения запишем зависимости:

— для наибольшего радиального напряжения в центре пакета мембран

$$\sigma_r = 0{,}423\sqrt[3]{Ep^2\left(\frac{r}{n_1\delta_м}\right)^2}; \quad (32)$$

— для наибольшего прогиба

$$w_м = 0{,}662r\sqrt[3]{\frac{pr}{n_1\delta_м E}}, \quad (33)$$

где n_1 – число мембран в пакете.

Удовлетворяя условиям прочности $\sigma_r = П_с$, найдем

$$\frac{n_1\delta_м}{r} = 0{,}275\frac{p}{П_с}\sqrt{\frac{E}{(1-\mu)П_с}}.$$

Критическая нагрузка при радиальном обжатии пакета мембран составит [1]

$$P_{кр} = 4{,}2\frac{E}{12(1-\mu^2)}\left(\frac{n_1\delta_м}{r}\right)^2 = 0{,}096\frac{E^2}{(1+\mu)(1-\mu)^2 П_с^2}p.$$

Из этой зависимости следует, что для конструкционных материалов, применяемых в подводном кораблестроении, $E/П_с \geq 100$ и, следовательно, $P_{кр}/p \geq 1$, т.е. устойчивость пакетной переборки всегда будет обеспечена при толщинах, выбранных по условиям прочности.

Масса такой пакетной переборки найдем из зависимости

$$m = \pi\rho r^2 n\delta_м = 0{,}275\pi\rho\frac{p}{П_с}\sqrt{\frac{E}{П_с}}r^3. \quad (34)$$

Критерий эффективности (1) вычисляется по формуле

$$Э_П = 0{,}275\rho g r\frac{1}{П_с}\sqrt{\frac{E}{П_с}}. \quad (35)$$

Такими образом, получены оценочные зависимости масс и показателя эффективности рационально спроектированных перекрытий различных архитектурных типов.

Ниже произведена сравнительная оценка эффективности по зависимостям (25), (31), (35) и масс по зависимостям (24), (30), (34) переборок из высокопрочного металла (сталь, титановый сплав) и трансверсально изотропного ПКМ для различных аварийных нагрузок. Численный эксперимент проводился для перекрытий со следующими геометрическими характеристиками: $2r$ = 5,0 м, b = 0,25 м, n = 19.

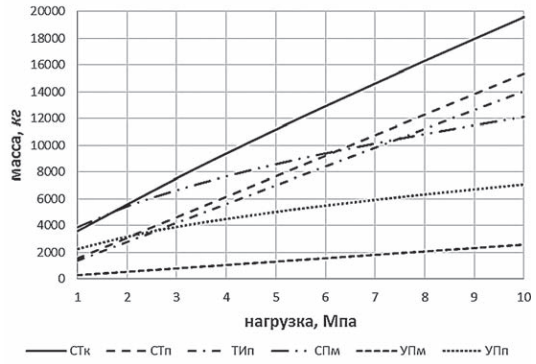


Рис. 3. ***Масса переборок монолитной (индекс м) и пакетной (индекс п) структуры, изготовленных из различных материалов (сталь – Ст, титан – Ти, стеклопластик – Сп, углепластик – Уп, органопластик – Оп)***

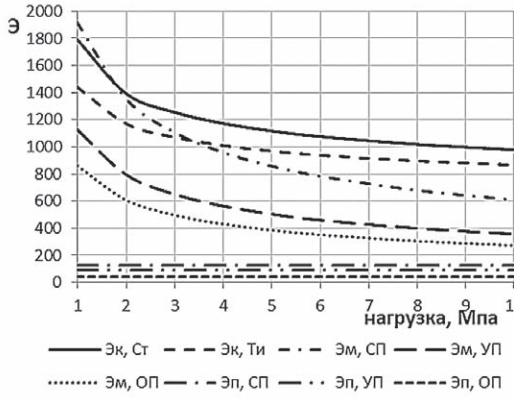


Рис. 4. ***Показатели эффективности переборок монолитной (индекс м) и пакетной (индекс п) структуры, изготовленных из различных материалов (сталь – Ст, титан – Ти, стеклопластик – Сп, углепластик – Уп, органопластик – Оп)***

Физико-механические характеристики материалов представлены ниже.

Таблица

Физико-механические характеристики материалов

Наименование материала	Плотность, ρ, кг/м³	Модуль упругости, *E*, МПа	Предел прочности (текучести), МПа	Коэффициент Пуассона, μ
Сталь	7850	$2\ 10^5$	1000	0,30
Титан	4500	$1{,}15\ 10^5$	600	0,30
Стеклопластик, СП	2000	$0{,}2\ 10^5$	600	0,25
Углепластик, УП	1500	$0{,}8\ 10^5$	1000	0,23
Органопластик, ОП	1350	$0{,}55\ 10^5$	1400	0,22

Результаты расчетов масс и показателя эффективности переборок различной архитектуры представлены на диаграммах рис. 3, рис. 4, а относительных масс (или эффективностей) монолитных и пакетных перекрытий – на диаграммах рис. 5 и рис. 6 соответственно. Под относительной массой здесь понимается отношение массы переборки иной архитектуры к массе классической стальной переборки. На диаграммах (см. рис. 3 и рис. 4) индексом обозначен тип архитектуры переборки: к – классический; м – монолитный; п – пакетный.

Из рис. 3 и рис. 5 следует, что перекрытия монолитной структуры, выполненные из современного СП имеют преимущество по массе перед металлическими классической архитектуры лишь начиная с нагрузок (1,5 – 2) МПа и выше, из УП и ОП – во всем диапазоне. Пакетные перекрытия из ПКМ (рис. 3 и рис. 6) обладают значительно меньшей массой (40% и более) как по сравнению с классическими, так и монолитными перекрытиями.

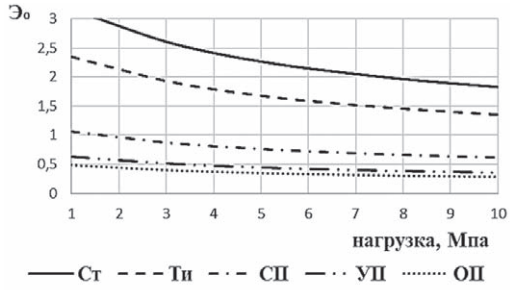


Рис. 5. ***Относительные массы переборок монолитной структуры, изготовленных из различных материалов (сталь – Ст, титан – Ти, стеклопластик – Сп, углепластик – Уп, органопластик – Оп)***

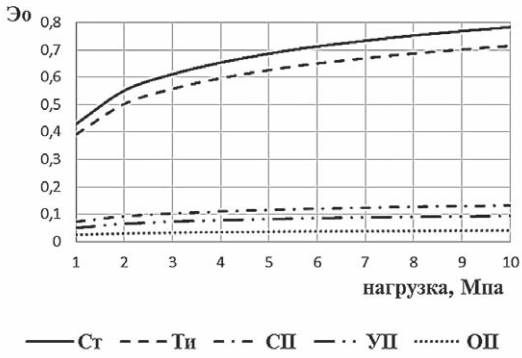


Рис. 6. ***Относительные массы переборок пакетной структуры, изготовленных из различных материалов (сталь – Ст, титан – Ти, стеклопластик – Сп, углепластик – Уп, органопластик – Оп)***

Из анализа результатов (см. рис. 4) видно, что эффективность переборок классической архитектуры и монолитной структуры возрастает с увеличением нагрузки, а эффективность пакетных переборок не зависит от нее. Переборки пакетного типа имеют существенно более высокий показатель эффективности (рис. 4 и рис. 6) по сравнению с традиционными и монолитными. При этом их относительная эффективность несколько снижается с увеличением нагрузки (см. рис 6).

Следует отметить, что столь обнадеживающие результаты получены без учета масс узлов соединения перекрытий с основным корпусом. Статистический анализ свидетельствует о том, что на организацию узла крепления перекрытий классической архитектуры и монолитной структуры на опорном контуре требуется материала до 10% от их общей массы. Для обеспечения эффективной работоспособности перекрытия пакетной структуры необходимо создание абсолютно жесткого контура. На его реализацию предположительно потребуется материала не более 30% от массы перекрытия. Как видим, даже с учетом этих добавок перекрытия монолитной и пакетной структур из ПКМ имеют весовое преимущество до 30% по сравнению с ныне применяемыми.

Таким образом, выполненный анализ убедительно показывает, что внедрение ПКМ в кораблестроение требует инновационных подходов к архитектурному оформлению судовых конструкций, учитывающих технологию и структуру этих материалов. Только в этом случае возможно реализация их положительных качеств.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Бардадим Д.А., Яковлев В.С.* Модель изгиба слоистой композитной круглой пластины // Тр. ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова. – 2012. – Вып. 67 (351). – С.29 – 35.
2. *Томашевский В.Т., Асташенко О.Г., Яковлев В.С.* Прочность подводной лодки. – СПб.: Изд.ВМА, 1994. – 660 с.
3. *Бубнов И.Г.* Избранные труды. / Под ред. акад. Ю.А. Шиманского. – Л.: Судпромгиз. 1956 – 440 с.
4. *Папкович П.Ф.* Труды по строительной механике корабля. – Т. 1. / Под общей ред. В.В. Екимова. –Л.: Судпром. 1962 – 640 с.
5. *Бардадим Д.А., Яковлев В.С.* Прочная межотсечная композитная переборка подводного объекта. Патент на изобретение № 2458813 // Бюл. – 2012. – №23.

ЗАЩИТА КОРПУСОВ СУДОВ И КОРАБЛЕЙ ИНОСТРАННОЙ ПОСТРОЙКИ

К.Л. Новиков, *инженер-конструктор 2-й категории АО «51 ЦКТИС», контакт. тел. +7 (904) 605 3710*

АО «51 ЦКТИС» является назначенным проектантом кораблей и судов ВМФ иностранной постройки. При их ремонте и модернизации наше предприятие сталкивается с отличием практики выполнения требований к проектированию (выбор типа системы защиты, расчет системы, размещение элементов на подводной части корпуса) и постройке этих судов и кораблей от нормативных документов РФ.

Основным способом защиты стальных корпусов кораблей и судов от коррозии является сочетание лакокрасочных покрытий с электрохимической защитой. В настоящее время оценка эффективности работы протекторной защиты остается сложной и трудоемкой задачей, поэтому АО «51 ЦКТИС» проводит дополнительные исследования по ее оптимизации.

Коррозия стальных корпусов судов – одна из главных причин их износа, снижения прочности и безопасности. Использование комплексных методов защиты от коррозии обеспечивает снижение общей скорости коррозии и предотвращает местные коррозионные, коррозионно-эрозионные и коррозионно-механические виды разрушений. Предупреждение преждевременного износа корпуса судна и разработка схем протекторной защиты – одна из многих задач, стоящих перед АО «51 ЦКТИС» по организации ремонта кораблей и судов ВМФ иностранной постройки.

Для подводной части корпуса применяется электрохимическая защита двух типов: катодная (защита наложенным током) и протекторная. Роль электрохимической защиты состоит в снижении коррозии на участках с местными повреждениями лакокрасочных покрытий, на которых при отсутствии электрохимической защиты развивается точечная и язвенная коррозия, что приводит к увеличению шероховатости обшивки и высоким скоростям местной коррозии. Оптимальным защитным потенциалом корпуса из низколегированных и углеродистых сталей является потенциал –0,8 В.

На судах и кораблях иностранной постройки, построенных в соответствии с требованиями РМРС, проектантом которых назначен АО «51 ЦКТИС, для защиты стальных корпусов от коррозии применяют общую протекторную защиту (ПЗ).

Согласно нормативным документам (НД) ВМФ, «короткозамкнутая ПЗ применяется только для местной защиты кормового подзора корабля от коррозии...». А при проектировании и строительстве судов иностранной постройки как раз была заложена короткозамкнутая ПЗ всей подводной части корпуса (рис. 1).

Основным документом по защите корпусов судов и кораблей ВМФ РФ является РЗК НК-2001. Согласно этому документу для кораблей, поступивших на флот с нетиповыми протекторами (в том числе для судов обеспечения с общей короткозамкнутой ПЗ или ПЗ с балластным сопротивлением), по заказу технических управлений флотов СКБ ВМФ разрабатывала схемы короткозамкнутых протекторов в кормовом подзоре. В настоящее время СКБ ВМФ не существует.

Цель данной статьи – обсуждение проблемы полноценной защиты корпусов кораблей иностранной постройки, разработка и внедрение предложений, которые позволят продлить срок их эксплуатации.

В условиях эксплуатации корабля эффективность примененных средств противокоррозионной защиты оценивается по показателям состояния каждого средства защиты и коррозионного состояния корпуса [4].

АО «51 ЦКТИС» за последние три года столкнулось с различными подходами к решению электрохимической защиты корпуса на флотах РФ (ТОФ, СФ, ЧФ и БФ). Институт провел корпусные исследования на основании актов докового осмотра, выполненных доковых работ и дефектации наружной обшивки. Более того, представители АО «51 ЦКТИС» принимают непосредственное участие в проведении работ по продлению сроков эксплуатации кораблей и судов ВМФ. Полученные данные позволили практически оценить эффективность примененных средств защиты корпуса и прийти к выводу, что ПЗ, установленной только в кормовом подзоре, как регламентировано НД ВМФ РФ, в частности РЗК-НК-2001, недостаточно для больших и средних кораблей. Исходя из современных требований к кораблям и судам ВМФ РФ, при их проектировании и постройке рекомендуется применять катодную отключаемую защиту подводной части корпуса, что по сути более технологично и надежно при эксплуатации. В случае с уже построенным кораблем, при проектировании и строительстве которого отключаемая катодная защита не была заложена, ее установка становится очень трудоемкой и неоправданной задачей. При ремонте и переоборудовании судов выбранный при проектировании тип электрохимической защиты предлагается сохранять.

В гражданском судостроении для защиты подводной части корпуса судов водоизмещением от 1000 до 50 000 т рекомендуется применять короткозамкнутую ПЗ. Короткозамкнутые системы протекторной защиты должны состоять из одиночных или групповых алюминиевых протекторов, не имеющих вводов внутрь корпуса судна, приваренных стальной арматурой к корпусу. Одиночные протекторы или группы протекторов следует размещать на подводной части корпуса в пределах скулового пояса по длине судна, в носовой и кормовой оконечностях и на пере руля. Допускается устанавливать протекторы на бортовых килях. Существуют действующие норматив-

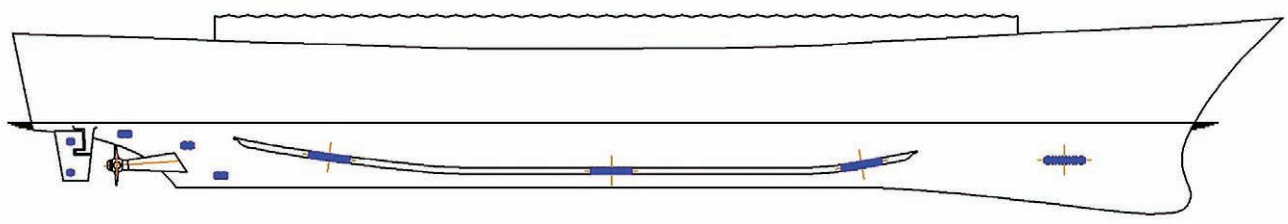


Рис. 1. ***Принципиальная схема общей протекторной защиты подводной части корпуса судна***

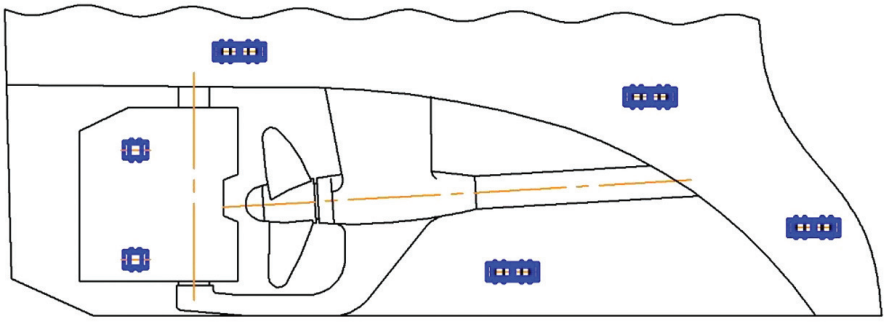


Рис. 2. ***Схема установки протекторов в кормовом подзоре***

ные документы с методиками и технологиями по проектированию схем короткозамкнутой защиты для всего корпуса (рис. 2).

В дополнение к нашим заключениям было получено экспертное мнение от ФГУП «ЦНИИ КМ «Прометей», являющейся головной организацией в РФ по разработке средств и систем электрохимической катодной и протекторной защиты судов от коррозии. Оно подтвердило, что «для предотвращения коррозии в морской воде все морские суда, в том числе и вспомогательные, если к ним не предъявляются особые требования, должны оборудоваться системами общей катодной и протекторной защиты подводной части корпуса».

Исходя из имеющихся данных о состоянии корпусов судов и экспертного заключения ведущей организации в РФ по электрохимической защите, АО «51 ЦКТИС» разрабатывает схемы ПЗ для всего корпуса корабля. Данные схемы основаны на методиках и расчетах, действующих в настоящее время. Значащиеся в проектной документации цинковые протекторы заменяются на алюминиевые, имеющие больший потенциал защитного тока и тем самым являющиеся более эффективными.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для продления срока службы судов и кораблей ВМФ РФ требуется сохранение проектной схемы общей протекторной защиты короткозамкнутыми протекторами. Для увеличения эффективности и уменьшению затрат на проведение работ предлагается применять алюминиевые протекторы согласно номенклатуре РЗК НК-2001 вместо цинковых.

В связи со значительным запасом надежности корпусов кораблей и судов, стоящих на вооружении ВМФ, возможностью их модернизации и эффективностью примененных на них схем общей протекторной защиты, подтвержденной практикой, предлагается внести дополнения в действующую нормативную документацию (РЗК НК-2001, стандарты ВМФ и т. д.), что позволяет применять короткозамкнутую протекторную защиту кораблей и судов ВМФ иностранной постройки согласно проектной документации.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 26501–83 «Корпуса морских судов. Общие требования к электрохимической защите».
2. РД5.9042–80 ЕСЗКС «Защита протекторная корпусов судов. Правила и нормы проектирования».
3. РД 31.28.10–97 «Комплексные методы защиты судовых конструкций от коррозии».
4. РЗК НК-2001 «Руководство по защите корпусов надводных кораблей ВМФ от коррозии и обрастания».

СТРАТЕГИИ ПРОШЛЫЕ И БУДУЩИЕ

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

В текущем 2017 г. исполняется десять лет с начала разработки и реализации масштабных отраслевых документов стратегического управления. В 2007 г. Указом Президента РФ от 21.03.2007 № 394 «Об открытом акционерном обществе «Объединенная судостроительная корпорация» была учреждена Объединенная судостроительная корпорация, приказом Минпромэнерго России от 6 сентября 2007 г. № 354 утверждена «Стратегия развития судостроительной промышленности на период до 2020 года и на дальнейшую перспективу» (далее – Стратегия 2020), Постановлением Правительства РФ от 21 февраля 2008 г. № 103 утверждена Федеральная целевая программа «Развитие гражданской морской техники» на 2009–2016 годы» (далее – РГМТ).

Таким образом, 2007 г. правомерно считать моментом начала отраслевого стратегического управления в постперестроечном российском судостроении. Вполне уместно проанализировать успехи, а главное – предложить направления и инструменты его дальнейшего развития.

Предпосылки и подходы к событиям 2007 г. сложились не одномоментно, а на протяжении полувекового периода развития отрасли. Таким образом, можно утверждать, что именно на основе судостроения формировалось отраслевое стратегическое управление.

В плановой экономике первоначально не было места отраслевым стратегиям. Административная вертикаль дополнялась жесткой вертикалью критериев, показателей, индикаторов. Стратегия формировалась на надотраслевом уровне и, будучи доведена до отраслей посредством решений ЦК партии и СМ СССР, оставляла за министерствами и главками лишь разверстывание и сверстывание показателей. Потенциал развивался строго под заданную программу производства. Его развитие понималось как строительство новых мощностей под новые объемы. Такая макроэкономическая система до сих пор успешно применяется в сырьевых отраслях и в отраслях «первого передела» – энергетике, металлургии и т. п. По сути, это не стратегия, а строго детерминированное долгосрочное планирование. Но в высокотехнологичных, особенно оборонных, отраслях ее подрывало стремительно нарастающее разнообразие требуемой продукции и удлинение циклов разработки и строительства. Острее всего этот недостаток чувствовался в сфере развития производственных мощностей. В судостроении финансирование капитального строительства открывалось Министерством финансов только по постановлениям о строительстве конкретных кораблей. Ввод новых мощностей отделяло от выхода постановления порой до десятка лет. А главное – за время строительства, например, построечных мест они устаревали, были малы для новых кораблей, которые быстро росли в размерах. Корабли приходилось проектировать под стапельные места. Именно тогда стало очевидным, что развитие построечных мест должно опережать представление об облике будущих судов и финансироваться по отдельным программам.

Сложилась четкая трактовка сущ-

ности понятия стратегии: управление развитием потенциала отрасли за пределами портфеля заказов, а заодно и убеждение, что такое управление оптимально осуществлять именно на мезоэкономическом уровне.

Первым успешным шагом к реализации такого подхода стала введенная впервые в стране практика разработки генеральных схем развития предприятий. До конца не была решена проблема финансирования, но любые инвестиции попадали в грамотно разработанный план.

Целенаправленная работа в отношении производственных мощностей привела к тому, что вплоть до настоящего времени отрасль располагает значительным избытком мощностей по отношению к объему производства.

Положение трех других составляющих потенциала отрасли не было столь благополучно, хотя до перестройки применительно к ним также сложились основы отраслевого стратегического управления.

Трудовой ресурс стал критичным со второй половины 1960-х гг. и до настоящего времени определяет «узкое место» потенциала отрасли. В системе рабочих кадров велась активная работа как по их количеству (привлечение, закрепление, обучение), так и по их качеству (квалификация, мотивация), а главное – по повышению производительности. Кроме того, функционировала информационная база, центр научной организации труда, которая впоследствии была утрачена.

Интеллектуальный потенциал был развит благодаря получению отраслевым органом управления научно-исследовательских институтов и конструкторских бюро (НИИ и КБ) статуса государственного комитета, более высокого, чем статус промышленных предприятий. В тот период удалось расширить инженерный состав, усилить экспериментальную базу. Это было сделано под нажимом жесткого внешнего целеполагания, заставлявшего вплоть до 1972–1975 гг. концентрировать усилия на самых актуальных проблемах развития. Именно в тот период был создан тот научный задел, который используется вплоть до настоящего времени. После снятия внешнего управления интеллектуальный потенциал НИИ и КБ превратился в самодовлеющую конвиксию, отстраненную от стратегических проблем развития потенциала отрасли и функционирующую в режиме выживания. Российское судостроение стало самой наукоемкой в мире отраслью по числу ученых и конструкторов на одного рабочего основного производства и, тем более, на одну компенсированную тонну продукции.

Наконец, важнейшая в современную эпоху составляющая – динамические организационные компетенции, носителями которых является управленческая элита (топ-менеджеры и линейные руководители), в 1975–1990 гг. поддерживаемая системой резерва, ротации, отбора и продвижения людей, поиска и кодификации удачных организационных решений, сейчас исчезает. Массив динамических организационных компетенций, среди которых много управленческих находок периода 1990– 2005 гг. (свободный рынок), в настоящее время существует лишь в памяти отдельных менеджеров. Прогресс советского отраслевого управления остановился перед решающим рубежом: не были сформированы государственные программы с жестким внешним целеполаганием, именно опережающим актуальные проблемы развития потенциала отрасли, концентрации ресурсов (прежде всего – финансовых) во власти руководителя программы. Дело ограничилось имитацией программного управления через создание неких оболочечных структур, охватывающих различные частные вопросы. Коренные особенности судостроения – длительный цикл создания продукции, инерционная устойчивость потенциала – сослужили добрую службу судостроителям, легче других отраслей переживших перестроечный период. Приватизированные верфи, полностью утратившие государственное отраслевое управление, выжили, продемонстрировав выдающуюся конкурентоспособность. Среднегодовой выпуск продукции в 1996–2010 гг. составил 147,6 тыс. cgt (32,2% от выпуска 1988–1989 гг.); 95% продукции реализовано на свободном рынке, в том числе 46,9% – экспортировано. На фоне некоторой стабилизации росли интеграционные настроения, вера в полезность реанимации отраслевых начал. Ведущей силой этого тренда стали руководители интеллектуального потенциала, сформировавшие у правительства представление о необходимости и достаточности для расцвета судостроения приоритетного развития научного задела. За утратой квалифицированного управленческого персонала они же взяли на себя разработку стратегии и программы, блестяще решив задачу лоббирования собственных корпоративных интересов.

Это предопределило характерные черты отраслевых документов первого поколения:

- концентрация всех бюджетных финансовых ресурсов на задаче выживания НИИ и КБ в фазе диапаузы;
- отсутствие фиксации и анализа исходного состояния потенциала судостроения на 2007 г.;
- полная самостоятельность научного сообщества в выборе направлений научного задела и критериев достижения цели;
- избегание, по возможности, количественных индикаторов и конкретных единиц измерения;
- отсутствие связи между результатами исследований и развитием потенциала;
- декларативность глобальной цели.

В части распределения ресурсов поставленные цели выполнены полностью:

- в программе РГМТ 75% денежных средств приходится на НИОКР, 20% на материально-техническую базу НИИ и КБ.
- в Стратегии 2020 выделено на развитие судостроительной и технологической науки 60,3%, на развитие производства мощностей 18,2% и 21,9% на льготы заказчикам.

Что же касается достижения глобальной цели, например Стратегии 2020, – «создать на базе государственно-частного партнерства новый конкурентоспособный облик судостроительной промышленности в составе крупных научных производств иных структур и принципиально улучшить ее положение на внутреннем и мировом рынке» [1], можно привести некоторые факты:

- в 2006 г. в Российской Федерации производилось 222,9 тыс. cgt/ecgt из 45 млн. cgt/ecgt (0,495%), а в 2016 г. 142,4 тыс. cgt/ecgt из 70 млн. cgt/ecgt (0,203%);
- в 2005 г. по проектам российских конструкторских бюро строилось 74,6% транспортных судов, а в 2016 г. – лишь 20%;
- в 2005 г. экспортировалось 74,4% таких судов, а в 2016 г. – ноль.

Объем проблем, встающих перед разработчиками и руководителями следующего поколения, слишком обширен. Ограничимся несколькими ключевыми вопросами:

- выделение проблем научно-технического развития в самостоятельную субстратегию;
- требование обязательной оценки текущей социально-экономической ситуации в отрасли и степени достижения целей;
- необходимость выбора и оценки основных направлений, мероприятий и механизмов реализации стратегии;
- содержание и структура документов стратегического планирования.

Некоторые из них уже получили законодательное решение в Федеральном законе от 28.06.2014 № 172-ФЗ (ред. от

3.07.2016) «О стратегическом планировании в Российской Федерации».

Тем не менее все это отсутствует в стратегических документах первого поколения, принятых в 2007–2014 гг. Выполнение новых требований невозможно без решения ряда методических задач, таких как:

- обоснование и принятие полного непротиворечивого набора показателей и индикаторов (преимущественно натуральных), неизбежно выходящих за рамки действующих форм статистической отчетности;
- разделение индикаторов на непрерывные (количественные) и дискретные (событийные);
- создание и ведение информационной базы отраслевого стратегического управления.

Однако эти проблемы не являются главными. За десятилетие стратегического управления обострились старые и возникли новые угрозы и вызовы. Среди них:

- обострение обстановки в Арктике. За это время ее проблемы из сферы потенциально-эффективного бизнеса перешли на уровень угрозы суверенитету РФ;
- давление санкций, режим которых может достигнуть, например, уровня «тоннажной блокады» или аналогичного ему;
- кризис гиперфинансирования, приведший к снижению конкурентоспособности отрасли, консервации неэффективности, а главное – показавший невозможность решения проблем исключительно дополнительными денежными средствами, неизбежность мобилизации всех ресурсов потенциала отрасли (трудового, интеллектуального и, особенно, организационно-управленческого).

Таким образом, обсуждение контуров стратегий следующего поколения и программ следовало бы начать с целеполагания. Налицо все быстрее растущий масштаб запросов со стороны многих ведомств и компаний на продукцию судостроения. Собрать, привести к единому измерению этот поток весьма сложно, поэтому целесообразно принять следующие допущения:

1. Потребность намного превосходит современные возможности отрасли и немедленно удовлетворена быть не может. Следовательно, основная задача следующей стратегии – преодолеть «узкое место», максимально возможно удовлетворяя спрос;

2. Считать целевые индикаторы удовлетворяющими минимально приемлемый уровень и рассмотреть возможность его достижения.

Для удобства рассуждений и компенсации ассортиментного сдвига (снижение удельной трудоемкости одной тонны массы порожнем с ростом размера судна) будем говорить о компенсированном тоннаже 600–650 тыс. cgt. Каковы возможности современного потенциала отрасли выполнить такой заказ?

Меньше всего опасений вызывают производственные мощности. В переводе на танкеры, на четырех верфях возможно ежегодно строить четыре судна класса VLCC, 2 SUEZMAX, по одному PANAMAX и AFRAMAX, что в сумме даст 250–280 тыс. т. водоизмещения порожнем, а с учетом ледового класса – свыше 300 тыс. т.

Не вызывает опасения и интеллектуальный потенциал, насчитывающий 23 000 работников НИИ и КБ, а также персонал, занятый в службах технической подготовки производства непосредственно на верфях.

Основная проблема возникает с трудовым ресурсом. Разница между задачами роста объема производства в 4,5 раза и производительности в 3,5 раза говорит о необходимости увеличения численности основных производственных рабочих в 1,3 раза. Если считать численность основных производственных рабочих, занятых гражданским судостроением, в 30–35 тыс. человек, то это соответствует дополнительному приему 9–11 тыс. человек. Но задача повысить производительность труда в 3,5 раза для работников отрасли, где она практически не росла с 1975 г. представляется очень непростой. При этом сам уровень целевой производительности не выглядит невероятным: он соответствует затратам в 60–70 чел.-часов на тонну компенсированного тоннажа. Но возникает вопрос, каким способом может быть достигнут подобный рост производительности труда?

Рассмотрим возможности извлечения резервов снижения трудоемкости, т. е. повышения производительности труда, на примере танкера, судна-представителя периода 2025–2035 гг.

В данном случае исключен фактор качества рабочей силы. Конечно, параметр качества персонала заслуживает включения в будущую стратегию как одно из важнейших направлений. Тем не менее даже в приведенном варианте 61,8% производительности находится в руках менеджеров – носителей динамических организационных компетенций. Об этой составляющей потенциала в документах первого поколения речи не идет.

Направление (инструмент) извлечение резервов роста производительности труда

Инструмент	Доля,%
Администрирование	8,5
Внутрифирменные экономические механизмы	16,6
Внутризаводское управление	29,2
Организация	16,0
Технология	15,6
Конструкция судов	5,8
Оборудование и оснастка	8,3
Итого	100,0

Найти эти решения, систематизировать и кодифицировать их – важнейшее направление новой стратегии. А вот методы достижения технологических, конструкционных и инвестиционных показателей должны быть подробно расписаны в стратегиях и программах для возможности отчитаться в их достижении организациями выпуском продукции и приростом производительности.

Здесь находится ключевой фактор успеха. Подвигнуть линейных и целевых руководителей (мастеров, экономистов, начальников цехов и отделов и т. д.) повысить производительность в 0,615×3,5 = 2,16 раза без нового оборудования и технологий можно только в режиме мобилизационно-распределительного рывка, сопровождающегося созданием полноценного органа отраслевого управления. Такой орган, безусловно, должен быть двухконтурным.

Парадоксально, но, похоже, именно нарастание угроз способно открыть «окно возможностей» для перехода отраслевой системы стратегического управления на качественно новый уровень.

ЛИТЕРАТУРА

1. «Стратегия развития судостроительной промышленности на период до 2020 года и на дальнейшую перспективу» (утв. Приказом Минпромэнерго РФ от 06.09.2007 № 354).
2. Федеральная целевая программа «Развитие гражданской морской техники на 2009–2016 г. » (утв. Постановлением Правительства РФ от 21 февраля 2008 г. № 103).
3. Федеральный закон от 28.06.2014 № 172-ФЗ (ред. от 03.07.2016) «О стратегическом планировании в Российской Федерации». ■

ПРОБЛЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ РУЛЕВЫХ МАШИН РОТОРНОГО ТИПА

Ю.А. Лебедев, *начальник сектора, зам. гл. конструктора по специализации,*
В.Ю. Ситников, *инженер-конструктор 2-й категории,*
ЗАО «ЦНИИ СМ»,
контакт. тел. +7 (904) 606 6631, +7 (904)331 6771

ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ РОТОРНЫХ РУЛЕВЫХ МАШИН

Рулевые машины роторного типа (РРМ) – относительно современные. В начале 50-х гг. прошлого века начались разработки рулевых машин данного типа, а в 60-х гг. приступили к их серийному производству. Пионерами в области разработки и изготовления этих машин были фирмы AEG Schiffbau (ФРГ) и FRYDENBØ (Норвегия). В СССР также проводились работы по созданию образцов РРМ, однако серийное производство так и не было освоено, а в выпущенных единичных экземплярах имелись проблемы с герметичностью рабочих камер и сложностью в изготовлении.

Развитие РРМ шло в основном в направлении совершенствования конструкций уплотнений лопаток ротора и статора. Изначально уплотнения выполнялись в виде подвижных металлических пластин, плотно пригнанных в пазах лопастей. Предварительное поджатие пластин к уплотняемым поверхностям осуществлялось резиновыми шнурами круглого сечения (рис. 1), а рабочее поджатие – давлением жидкости внутри цилиндра. Также с помощью шнуров обеспечивалась дополнительная герметизация пластин в пазах [1]. Такая конструкция уплотнений рабочих полостей машины активно применялась фирмой AEG Schiffbau и позволяла поддерживать номинальное давление 4 МПа. Дальнейшие работы по усовершенствованию конструкции позволили увеличить номинальное давление до 6,5 МПа, затем до 8 и 9,5 МПа, а максимальное – до 13,5 МПа. С повышением давления были значительно уменьшены масса и габариты лопастных приводов и рулевой машины в целом.

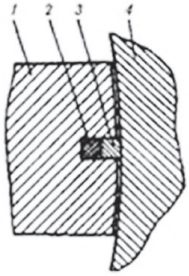


Рис. 1. ***Устройство уплотнений внутренних зазоров лопастного привода***
1 – подвижная лопасть; 2 – резиновый шнур; 3 – металлическая уплотняющая пластина; 4 – корпус (цилиндр) привода

Лопастной привод фирмы AEG Schiffbau монтируется на судовой фундамент с помощью вынесенных подшипниковых опор, соединенных двумя осями с проушинами на корпусе привода. В наше время аналогичные по конструкции приводы выпускает фирма Rolls-Royce (рис. 2).

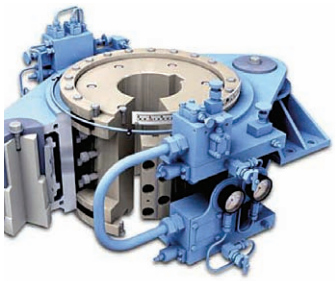


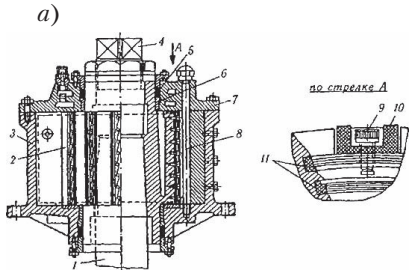
Рис. 2. ***Рулевая машина типа Brown Brothers фирмы Rolls-Royce***

Фирма FRYDENBØ пошла несколько иным путем, и поскольку их рулевая машина является прототипом большинства современных РРМ, ее конструкцию рассмотрим подробнее.

Изначально рулевой лопастный привод этой фирмы (рис. 3, *а– б*) имел следующие конструктивные особенности: ротор *2* с тремя лопастями *14* был насажен на конус баллера *1* и закреплен гайкой *4*. Цилиндр (корпус) *3* имел монолитную жесткую конструкцию с одной верхней крышкой *7*. Дно цилиндра, благодаря большой опорной площади, выполняло функцию опорного подшипника руля, что упрощало конструкцию рулевого устройства. Корпус своим фланцем был жестко прикреплен к судовому фундаменту. Внутри цилиндра размещались массивные неподвижные лопасти *13*, в теле которых проходили каналы для рабочей жидкости. Таким образом, внутренняя часть привода была разделена на шесть полостей, три из которых являлись нагнетательными, а три другие – сливными, и наоборот. Радиальные и торцевые зазоры в соединениях привода были герметизированы уплотнениями *10*, закрепленными винтами *9*, а также уплотнениями *11* и *12*, изготовленными из специальной масло- и износостойкой резины. Выходные концы ротора размещались во втулках *6* и герметизировались сальниками *5*. В лопастях *14* были установлены перепускные клапаны *15*. Другие обозначения: *8* – стяжной шток, *D* – диаметр цилиндра [1].

В более поздних версиях рулевых машин конструкция была видоизменена, а рабочее давление увеличено с 5 МПа до 8 МПа. В четырехлопастной машине HS 1120 был применен другой вариант резиновых уплотнений (рис. 4).

а)



б)

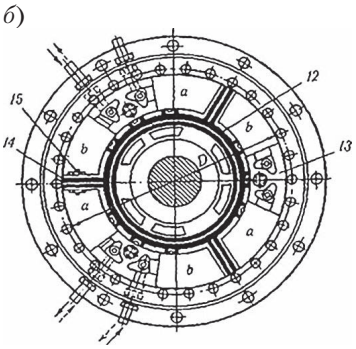


Рис. 3. ***Рулевой лопастный привод фирмы FRYDENBØ: а – разрез; б – вид сверху со снятой крышкой***

Из рис. 4 видно, что уплотнения лопаток выполнены в виде полос прямоугольного сечения из пластичного материала, уложенных в пазах и поджимаемых к уплотняемым поверхностям рабочим давлением жидкости, которая подводится по специальным каналам из цилиндра. Данная схема уплотнений применяется и в большинстве современных РРМ. Видоизменялись только форма сечения пластины и ее материал.

В гидросистеме РРМ FRYDENBØ (рис. 5) используются винтовые насосы постоянной подачи, поэтому направление потока рабочей жидкости к приводу изменяется с помощью направляющего гидрораспределителя. Рулевая машина оснащается двумя насосными агрегатами равной мощности с электроуправлением и одним пополнительным баком. Каждый насосный агрегат имеет свой независимый подвод к силовому приводу через блок тормозных клапанов, смонтированных на корпусе привода. Через тормозной клапан и каналы в неподвижной лопатке корпуса рабочая жидкость подается в рабочие полости РРМ. Коммутация рабочих полостей силового привода выполняется посредством кольцевых каналов в верхней и нижней крышках силового привода, благодаря чему каждая

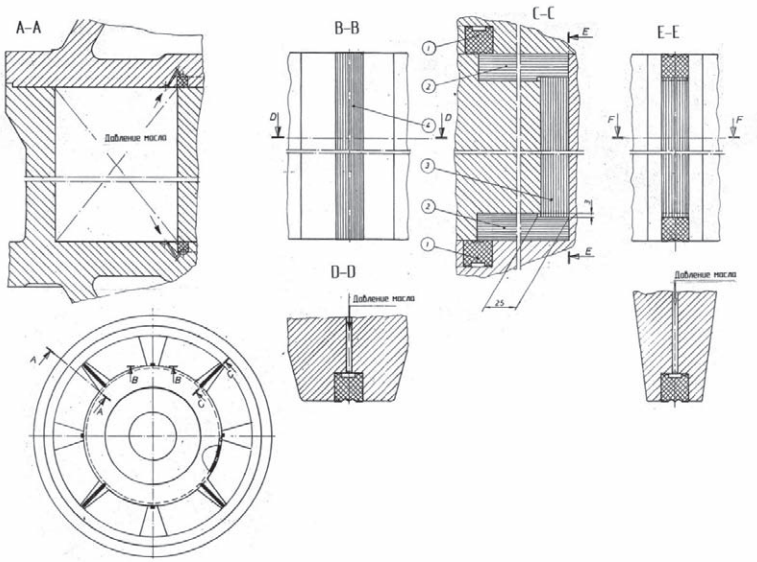


Рис. 4. ***Схема уплотнений РРМ***
1 – верхнее и нижнее кольцевое уплотнение; 2 – уплотнение подвижной лопасти с верхней и нижней крышками; 3 – уплотнение подвижной лопасти относительно корпуса; 4 – уплотнение неподвижной лопасти

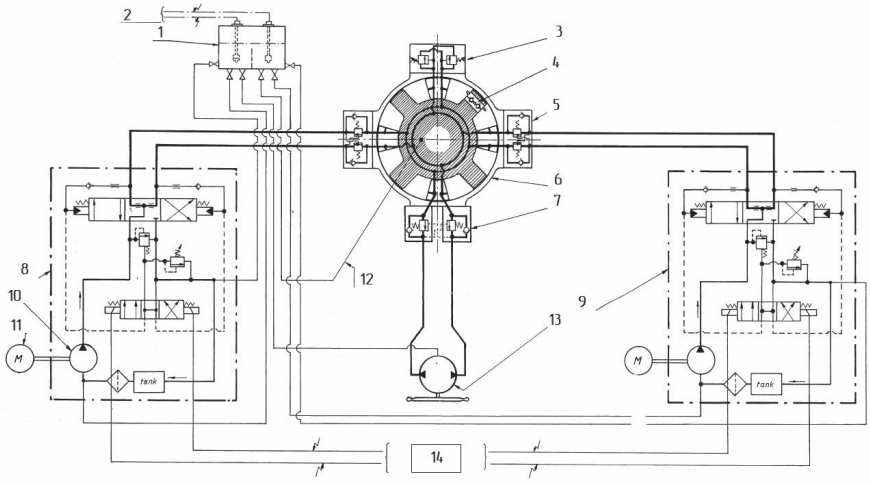


Рис. 5. ***Схема гидравлическая принципиальная РРМ FRYDENBØ:***
1 – бак пополнительный; 2 – сигнализация уровня рабочей жидкости; 3 – блок предохранительных клапанов; 4 – блок перепускных клапанов с механическим управлением; 5 – клапан тормозной двухсторонний; 6 – привод силовой (лопастной); 7 – клапан тормозной двухсторонний ручного аварийного привода; 8 – агрегат насосный № 1; 9 – агрегат насосный № 2; 10 – насос гидравлический винтовой; 11 – электродвигатель приводной; 12 – канал подачи смазки; 13 – насос ручной аварийный; 14 – система управления рулевой машины

из насосных станций может запитывать сразу весь привод.

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ И РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ РРМ

В настоящее время среди производителей роторных рулевых машин можно выделить следующие фирмы: Van der Velden, Hatlapa, Blohm und Voss, Remontowa и Rolls-Royce.

Современные РРМ выполняются с двумя, тремя и четырьмя подвижными лопастями. Первые позволяют увеличить угол поворота руля до ±70° для повышения маневренности судов, второрые рассчитаны для угла поворота до ±45°, у четырехлопастной машины максимальный угол поворота составляет стандартные ±35°. Увеличение числа лопаток пропорционально увеличивает мощность привода при сохранении прежних значений габарита и массы привода. Однако увеличение числа лопаток приводит не только к уменьшению рабочего угла, но и к усложнению внутренней коммутации и снижению объемного КПД. На данный момент самым распространенным на рынке является вариант с тремя лопатками.

Подвод рабочей жидкости к силовому приводу большинство производителей организуют конструктивно аналогично с РРМ FRYDENBØ – через блок тормозных клапанов и каналы в лопатке корпуса, в то время как внутренняя коммутация осуществляется уже не через крышки корпуса, а по каналам.

По-разному подходят производители и к выбору подшипниковой схемы машин. Hatlapa применяет классическую схему FRYDENBØ с двумя осевыми подшипниками в верхней и нижней крышках и одним осевым подшипником, установленным на внутренней плоскости нижней крышки [8]. Van der Velden, в свою очередь, применяет схему, где осевые подшипники находятся как в верхней, так и в нижней крышках корпуса РРМ [4], а Blohm und Voss имеет один осевой подшипник, вынесенный на внешнюю плоскость нижней крышки корпуса и закрепленный на ней при помощи специального поджимного фланца [5].

Трудно сказать, какая из описанных схем предпочтительнее при проектировании РРМ, так как ее выбор в основном зависит от конструктивных особенностей корабля, а именно, от типа руля, способа его закрепления, расположения опорных и упорных подшипников баллера, а также конструкции фундамента под рулевую машину. Стоит отметить, что большинство производителей на данный момент отказались от использования бронзовых сплавов в подшипниках трения и перешли на применение композитных материалов с улучшенными характеристиками (рис. 6).

Существуют четыре исполнения силового привода по способу закрепления лопаток на корпусе и роторе:

1. Лопатки корпуса выполнены единой деталью с корпусом, а лопатки ротора – единой деталью с ротором. Данная конструкция современными изготовителями практически не используется.

2. Лопатки корпуса изготавливаются отдельно и соединяются с корпусом специальными болтами. Такая схема применяется, например, фирмой Hatlapa [8].

3. Лопатки корпуса выполнены как одно целое с корпусом, а лопатки ротора изготовлены съемными. Данная конструкция широко применяется в РРМ разработки Blohm und Voss (рис. 7).

4. Лопатки корпуса и лопатки ротора выполнены съемными. Такая конструкция применяется, например, фирмой Van der Velden [4].

Выбор конструктивной схемы монтажа лопаток в основном зависит от технологических возможностей производства, таких как наличие высокоточных обрабатывающих центров и возможности получения крупногабаритного литья сложной формы. Очевидно, что экономически более целесообразно выполнение лопаток съемными из-за меньших

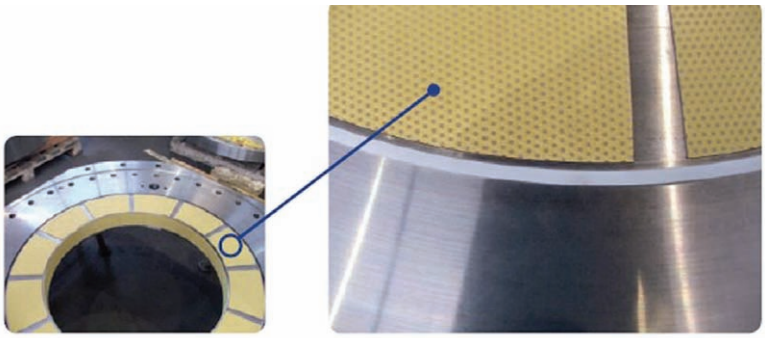


Рис. 6. ***Осевой подшипник РРМ фирмы Van der Velden из пористой бронзы с полимерным наполнением***

затрат на заготовки под корпус и ротор и их последующую обработку, но при этом необходимо учитывать сложность уплотнения поверхностей между съемной лопаткой и корпусом, а также необходимость высокоточной обработки с целью минимизации зазора между лопаткой и корпусом, обеспечения единой плоскости для монтажа крышек. При выполнении лопаток съемными стоит учитывать и снижение их прочности в месте соединения в связи с тем, что данное сечение воспринимает значительные нагрузки во время работы машины на упор.

Следующий вопрос, на который стоит обратить внимание, это способ монтажа силового привода на судовой фундамент. В настоящее время существуют два конструктивных варианта.

В *первом варианте* нижняя крышка силового привода изготавливается с фланцем большего диаметра, чем остальной привод, в котором выполнены отверстия для монтажа. Данный конструктив применяется в рулевых машинах фирмы Blohm und Voss (рис. 7).

Второй вариант встречается гораздо чаще – это выполнение на нижней крышке, как правило, трех лап прямоугольного сечения, при этом на фундаменте привариваются специальные упоры, а привод устанавливается через компенсационную прокладку из эластичного материала. Лапы изготавливаются либо сварными, привариваемыми к нижней крышке, либо монолитными с ней. Такой способ крепления, например, используется в РРМ типа MSV фирмы Remontowa (рис. 8) [6].

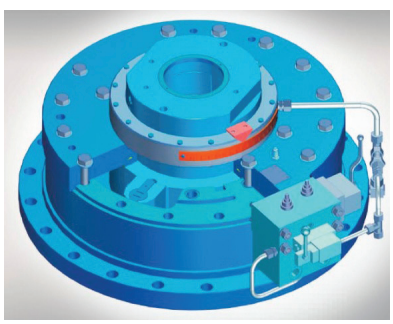


Рис. 7. ***Силовой привод РРМ типа VSM производства Blohm and Voss***

Второй вариант считается более предпочтительным в связи с тем, что при монтаже РРМ на заказе невозможно с необходимой точностью предугадать положение силового привода относительно конуса баллера при их запрессовке и, как следствие, положение фланца силового привода относительно фланца судового фундамента. Неизбежный зазор между фланцами компенсируется за счет пригоночных прокладок, однако даже небольшой пережим в соединении машины с основанием может привести к возникновению контактных напряжений и, как следствие, повышенному износу на торцевых поверхностях лопаток ротора и крышках привода. Во втором варианте силовой привод имеет некоторую степень свободы в осевом направлении, а значит, защищен от повышенного износа торцевых поверхностей, причем момент, создаваемый РРМ, в свою очередь, воспринимают приварные упоры.

Отдельно стоит рассмотреть конструктивные особенности силового привода, спроектированного и серийно изготовляемого фирмой Rolls-Royce (рис. 9). Данный производитель поставляет РРМ, развивающие момент от 16 до 650 кНм, выполненные с рабочими камерами сферической формы, что позволяет лучше уплотнить рабочие полости и поднять рабочее давление в системе до 12,5 МПа, а привод изготовить более компактным. Ещё одной особенностью РРМ Rolls-Royce является монтаж насосных агрегатов прямо на корпусе привода [7].

В России проводились попытки создания подобного силового привода. В ЗАО «ЦНИИ СМ» был спроектирован, а в ПАО «Пролетарский завод» изготовлен опытный образец РРМ со сферическим приводом аналогичной конструкции, испытания которого оказались неудачными из-за высокого уровня перетечек между рабочими полостями. Причинами повышенных перетечек являлись неправильный выбор уплотнений и отсутствие технологической возможности обработки сферических поверхностей с достаточной точностью. Дальнейшие изыскания в этом на-правлении не проводились.

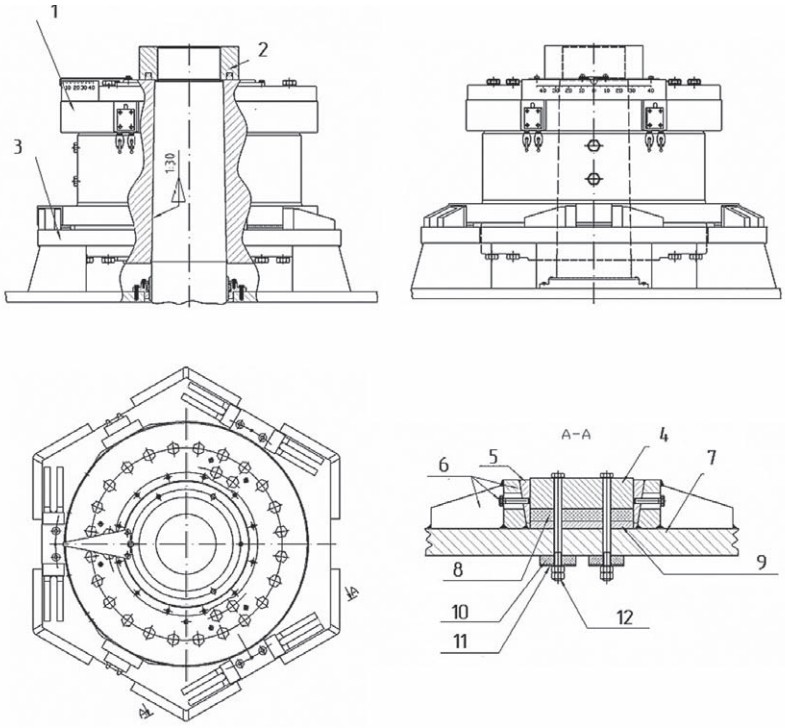


Рис. 8. ***Установка силового привода РРМ типа MSV производства Remontowa на судовой фундамент***
1 – силовой привод; 2 – гидравлическая гайка закрепления баллера; 3 – судовой фундамент; 4 – лапа силового привода; 5 – монтажный клин; 6 – судовой упор; 7 – монтажный фланец судового фундамента; 8 – компенсационная прокладка из эластичного материала, входящая в комплект поставки РРМ; 9 – компенсационная прокладка металлическая, изготавливаемая при монтаже; 10 – шайба из эластичного материала; 11 – металлическая шайба; 12 – установочный болт с двумя гайками

Рис. 9. ***Рулевая машина типа SR фирмы Rolls-Royce***

Кроме силового привода, каждая рулевая машина обязательно имеет в своем составе насосный агрегат. Большинство производителей РРМ предполагают его отдельно стоящим от силового привода (рис. 10). Конструктивно насосный агрегат выполняется в виде гидравлического бака, на верхней крышке которого смонтированы два силовых агрегата (насос + электродвигатель) равной мощности. Корпус бака разделяется для каждого из насосов внутренней перегородкой на две равные части. Чаще всего используется схема с насосом, расположенным внутри бака ниже уровня рабочей жидкости, и вертикально установленным электродвигателем. Реже силовой агрегат располагается горизонтально, причем такая схема делает обслуживание более простым и позволяет устанавливать вторым каскад амортизации, но требует применения насосов с самовсасыванием. У разных производителей РРМ рабочее давление варьируется в пределах от 8 до 14,5 МПа, чаще всего встречаются машины с рабочим давлением 10 ...11 МПа.

Насосы в современных РРМ применяют трех типов:

– *шестеренчатые* – наиболее простые и дешевые, применяются в РРМ с крутящим моментом не более 300 кНм. Такие насосы обеспечивают постоянную подачу рабочей жидкости, при этом требуют наличия в гидросистеме перепускного клапана либо гидрораспределителя с перепуском на слив в среднем положении. Это наименее экономичная и надежная схема, характеризующаяся относительно высоким уровнем вибрации и шума;

– *пластинчатые* – так же как шестеренчатые, обеспечивают постоянную подачу рабочей жидкости, однако менее шумные и более надежные. Такие насосы наиболее часто применяются производителями РРМ для схем с нерегулируемым насосом;

– *аксиально-поршневые регулируемые* – в основном применяются для РРМ с крутящим моментом выше 250 кНм. Имеется возможность установки аксиально-поршневых насосов с различными регуляторами: по мощности, расходу, давлению и т. д. Они обеспечивают наибольшую плавность регулирования подачи, а следовательно, и управления судном, к тому же они более экономичны в эксплуатации. Недостатки – высокая начальная стоимость, относительная сложность конструкции и необходимость выполнения настройки системы управления.

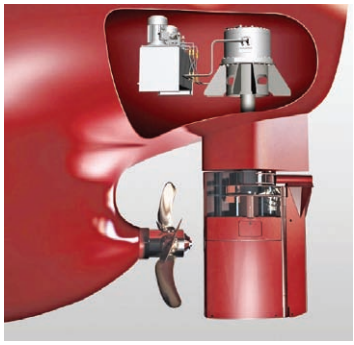


Рис. 10. ***Установка рулевой машины Van der Velden на судне***

Насосная станция обязательно оснащается двойным комплектом аппаратуры, сигнализирующей о падении уровня рабочей жидкости, критическом повышении или понижении её температуры, загрязнении фильтров и превышении рабочего давления. На линии напора каждого из насосов устанавливается фильтр тонкой очистки. Иногда фильтры ставят и на линии слива. Также обязательно наличие маслоохладителя. В РРМ применяют водомасляные охладители, которые монтируются на боковой стенке гидробака. Блок управляющей гидроаппаратуры чаще всего размещают на верхней крышке гидробака (для каждого насоса свой). В состав блока входят направляющий гидрораспределитель и предохранительный клапан.

При проектировании гидравлической схемы в первую очередь необходимо отталкиваться от требований нормативных актов (ОТТ, РМРС и др.), а в большинстве документов строго оговаривается необходимость резервирования мощности. В основном современные РРМ оснащают двумя насосными агрегатами, каждый из которых обеспечивает 100% мощности. В отдельно оговоренных случаях допускается применение двух насосных агрегатов, подающих 50% от потребной мощности [2, 3]. При проектировании рулевой машины под требования ВМФ РФ может понадобиться установка третьего насосного агрегата равной мощности с основными агрегатами, который должен быть размещен в отдельном помещении, защищенном от затопления.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время роторные рулевые машины устанавливаются на многих судах, благодаря ряду существенных достоинств: они компактны, занимают меньшую (по сравнению с плунжерными РМ) площадь, имеют меньшую массу, высокий механический КПД. Эти машины экономичны и надежны в эксплуатации, их приводы статически уравновешены, соединяются непосредственно с баллером руля и передают на баллер «чистый» (без изгибающих усилий) крутящий момент (за исключением однолопастных приводов). Достоинства РРМ проявляются при рабочих давлениях 8...10 МПа против 12...16 МПа в плунжерных РМ. Благодаря ротационному принципу работы РРМ обеспечивает постоянный крутящий момент на протяжении всего цикла перекладки и передачу максимальной выходной мощности на всех углах поворота руля. Это делает навигацию через узкие проливы или судоходные каналы более безопасной, благодаря тому, что максимальный крутящий момент и скорость перекладки могут быть достигнуты в любой момент, что приводит к увеличению маневренности и улучшению контроля управляемостью.

При всех своих положительных качествах РРМ имеют следующие недостатки: объемный КПД их приводов падает с ростом рабочего давления и существенно зависит от температуры рабочей жидкости и деформации элементов привода. Важную роль в этих РМ играют специальные уплотнительные устройства лопастных приводов. Замена уплотнений внутренних зазоров лопастного привода связана с его полной разборкой, что возможно только в заводских условиях, поэтому срок службы уплотнений должен быть не менее 10 лет.

Судя по совокупности достоинств и недостатков РРМ стоит рекомендовать проектантам судов и кораблей применять их при наличии ограничений по пространству для монтажа рулевой машины и необходимости из-за конструктивных особенностей заказа восприятия машиной осевых и радиальных нагрузок от пера руля и баллера.

ЛИТЕРАТУРА

1. Судовой механик: Справ. – Т. 2. – Гл. 12/ Под ред. А. А. Фока. – Ростов-на-Дону: Феникс. –2008.
2. РМРС «Правила классификации и постройки морских судов», 2016, ч. IX, гл. 6.2.
3. Det norske veritas «Schematic principles for ste ering gear hydraulics». 2005.
4. Каталог фирмы Van der Velden «Commander steering gear». 2012.
5. Каталог фирмы SKF «Rotary vane steering gear V series», 2015.
6. Каталог фирмы Hydroster (Remontowa) «Rotary vane steering gears MSV series», 2015.
7. Каталог фирмы Rolls-Royce «Steering and stabilisation», 2008.
8. Каталог фирмы Hatlapa (Macgregor) «Steering gear Hatlapa Rotary vane Triton», 2015. ■

АО «АРМАЛИТ» ВЫВЕЛО КАЧЕСТВО ЛИТЬЯ НА НОВЫЙ УРОВЕНЬ

***П.А. Лебедева**, специалист по маркетингу,*
***А.С. Суханов**, канд. техн. наук, гл. металлург, АО «Армалит»,*
контакт. тел. (812) 495 4555

Литейное производство – одно из важнейших звеньев в технологическом процессе машиностроительного предприятия. Качественные отливки – залог изготовления надежной и долговечной продукции, что особенно важно для судостроительной отрасли. Нарушение целостности корпусных деталей вследствие наличия пустот, пор или раковин значительно повышает износ арматуры. Кроме того, увеличивается риск частичного или полного отказа изделия, что может крайне негативно сказаться на штатной работе системы, в которой установлена арматура.

Не так давно АО «Армалит» запустило автоматический комплекс для герметизации микропористости и исправления дефектов изделий из металлических сплавов и сталей с применением акрилатного продукта Резинол 88С производства компании Хенкель-Локтайт. Уникальность комплекса состоит в том, что в отличие от других способов герметизации отливки можно пропитывать после окончательной механической обработки. Автоматизация, в свою очередь, способствует увеличению производительности и оптимизации процессов управления.

Инновационное решение является совместной разработкой ОАО «СКБК» и АО «Армалит» и позволяет устранять мельчайшие поры, неизбежно образующиеся в результате двух физических процессов, проявляющихся при кристаллизации жидких металлов – усадки и абсорбции газа.

Обработанные отливки остаются герметичными (отсутствует потение и капельная течь) и удерживают проводимые среды, в том числе и агрессивные, под высоким давлением.

Герметизация под вакуумным давлением проводится по результатам гидроиспытаний изделий.

Исправлению полимерным материалом Резинол 88С подвергаются детали, получаемые литьем из чугуна, цветных металлов и сплавов на основе меди, алюминия, титана.

К процессу пропитки полимерным составом допускаются изделия, имеющие:
- газовые и усадочные несквозные раковины;
- шлаковые несквозные включения;
- газовые и усадочные несквозные пористости (рыхлости);
- пористости местного и рассредоточенного характера, проявляемые в виде капельной течи и отпотевания.

Герметизация пористости пропиткой полимерным составом Резинол 88С допускается на изделиях, работающих в среде морской или пресной воды, нефти, масла, дизельного топлива, перекиси водорода и растворе хлористого кальция. Диапазон рабочих температур пропитанных отливок от –40 °С до +200 °С.

Режим типового процесса пропитки

Наименование операции	Длительность операции, мин.
Сухой вакуум (– 0,1 МПа)	15–20
Выдержка в пропиточном составе под давлением до 1,2 МПа	20–60
Центрифугирование	3–4, до 200 об/мин
Промывка	5-кратная
Полимеризация при температуре от 89 °С до 90 °С	20–30

Отливки направляются на пропитку после удаления литников, прибылей и очистки от формовочной и стержневой смеси, окалины, пригара и других загрязнений (грязи, нефтепродуктов и т. д.), а также выполнения предварительной и окончательной механической обработки, пайки, термических и сварочных операций.

Пропитка отливок выполняется после завершения механической обработки, но до окраски или нанесения других защитных покрытий.

Габаритные размеры элементов комплекса, мм:
- диаметр загрузочной корзины – 850, высота – 600 мм;
- диаметр бака пропитки/центрифугирования – 900 мм, высота – 700 мм;
- объем бака промывки 0,9 м^3;
- диаметр бак полимеризации – 950 мм, высота – 1000 мм.

Технические характеристики комплекса позволяют единовременно загружать до 300 кг изделий с габаритами до 500 мм.

В автоматическом режиме выполняются следующие циклы:
- пропитка («сухой вакуум», заполнение бака пропиточным составом, «влажный вакуум», слив пропиточного состава);
- центрифугирование (вращение корзины, остановка);

Режим работы камеры пропитки при необходимости может меняться оператором. Для каждого вида изделий в зависимости от их материалов, габаритов, формы и характера пористости разрабатываются индивидуальные схемы загрузки и режимы пропитки. Все режимы сохраняются в блоке управления. Необходимые временные значения всех циклов задаются, изменяются и поддерживаются с помощью программы с блока управления.

Таким образом, герметизация отливки позволяет уменьшить брак, сократить производственные издержки и повысить качество продукции. Она не оказывает влияния на механические, функциональные характеристики материала. Для производства, стремящегося снизить стоимость сборок, применение пропитки дает возможность создавать тонкостенные штампованные отливки или снижать стоимость деталей. Метод пропитки Резинолом 88С позволяет экономить значительные средства. ■

ПЕРЕДОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ АО «НОВАЯ ЭРА»: ПЛЕТЕНАЯ МЕДНАЯ ШИНА – АЛЬТЕРНАТИВА КАБЕЛЮ

И.М. Рагузин, *зам. гл. технолога АО «Новая ЭРА», контакт. тел. (812) 303 9797, доб. 249*

Сфера применения медной плетеной шины очень широка и затрагивает все области, где присутствуют электротехнические установки, вплоть до космической промышленности, авиации и судостроения. Она используется в самом разном силовом, распределительном и коммутационном оборудовании.

Плетеная медная шина – отличная альтернатива кабелю. При использовании обычного силового кабеля необходимо выбирать достаточно большие сечения, что затрудняет и проектирование оборудования, и ее монтаж. В отдельных случаях применение кабеля в принципе невозможно из-за конструктивных особенностей изделий, в которых, например, требуется значительный ресурс по количеству упругих деформаций (перегибов).

Плетеные медные шины применяются в случаях, когда необходима максимальная гибкость соединения (расхождение в соосности контактных выводов, неудобство монтажа, вибрация оборудования и т.п.). Гибкость плетеной медной шины позволяет использовать ее и тогда, когда к размеру готового оборудования предъявляются особенно жесткие требования и выход за конкретные параметры нежелателен. Применение плетеной шины компенсирует вибрацию оборудования, строительную усадку и температурные расширения. Кроме того, она используется при монтаже контуров заземления, которыми снабжаются как целые здания, так и отдельные приборы. Такая конструкция необходима для того, чтобы защитить людей от ударов электрическим током, которые могут быть вызваны самыми разными причинами: накоплением в приборе статического или атмосферного электричества, коротким замыканием в цепи или поломкой прибора. Также без такой детали не обойдется и система молниезащиты различных зданий и сооружений.

К преимуществам плетеной медной шины относятся:
- легкое сгибание по всей длине изделия;
- возможность поворота, вплоть до перпендикулярного положения;
- гибкая связь различного радиуса;
- высокая прочность материала на изгиб;
- получение соединения, способного погашать вибрацию;
- стойкость к механическим деформациям;
- связь плетеная – отличная компенсационная перемычка;
- высокая стойкость к экстремальным условиям.

Даже сверхнормативное тепловое расширение плетеной шины не приводит к деформации и, как следствие, к отказу.

В процессе производства плетеных шин приходится решать две задачи:
- изготовление гибкой части;
- обеспечение гибкой части контактными элементами (наконечники, площадки).

Гибкая часть состоит из сплетенных определенным образом тонких проводников. Поперечное сечение плетеной шины бывает круглое или плоское, выбирается в зависимости от решаемых плетеной шиной задач. Гибкость обеспечивается за счет уменьшения диаметра проводников– чем меньше диаметр проводников, тем больше гибкость. Наиболее гибкая шина плетется из проводников диаметром 0,05 мм. Технологическими возможностями производства плетеной шины из проволоки такого диаметра обладают только зарубежные компании. На отечественном рынке в основном реализуются плетеные шины с импортной гибкой частью, хотя есть и более дешевые отечественные аналоги, уступающие импортным в гибкости (диаметр проводников, из которых плетется шина – от 0,1 мм и более) и жесткости (материал проводников).

Крепление контактных площадок может выполняться несколькими способами: механической опрессовкой или диффузионной сваркой. Оба эти способа предусматривают наличие дополнительных деталей, помимо плетеной шины. В первом случае это кабельный наконечник, во втором – трубка, роль которой – ограничивать площадь поперечного сечения шины во время процесса сварки.

При разработке нового оборудования на АО «Новая ЭРА» была освоена технология производства плетеных медных шин. Для собственных нужд фирма производит плетеные шины поперечным сечением 30 и 60 мм^2. Заготовка – плетеная шина импортного производства из проволоки диаметром 0,05 мм. Эти шины проводят ток до 180 и 280 А соответственно. Образцы шин для примера представлены на рис. 1.

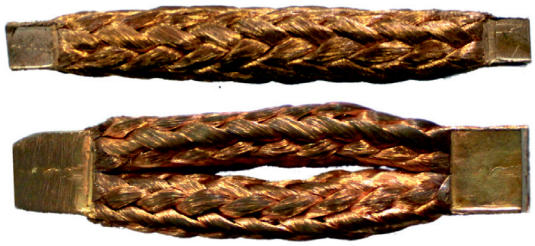


Рис.1

Технические характеристики гибкой шины: длина – от 20 мм; сечение – от 20 мм^2; размер контактной площадки – от 7×7 мм.

При производстве используется сварочная установка Tehnax, которая позволяет выполнять диффузионную сварку контактной площадки шины без использования трубки (рис. 2). Эта машина разработана по заказу АО «Новая ЭРА». Функционирует по принципу аппарата контактной сварки, но так как работает с таким материалом, как медь, которая имеет очень высокую теплопроводность, технические характеристики значительно превышают соответствующие параметры стандартных аппаратов контактной сварки. Конструкция установки позволяет нагреть медь до температуры плавления, не применяя при этом открытого пламени или электрической дуги. Формуемые заготовки нагреваются теплом, выделяющимся при прохождении электрического тока через детали и токопроводящие элементы. Формуемые детали являются частью электрической цепи.

Параметры площадки плетеной медной шины достигаются за счет оснастки. Площадь поперечного сечения готовой шины зависит от соответствующего параметра заготовки. При изготовлении гибкой шины изменяется геометрическая форма шины в месте диффузионной сварки. Набор электродов в определенной последовательности обжимает заготовку, после фиксации заготовки в оснастке машина в автоматическом режиме подает ток. Параметры тока и давление пневматической системы являются основными регулируемыми режимами.

Рис. 2

Использование разработанной технологии позволило сократить количество деталей в конструкции плетеной медной шины, это повысило надежность конструкции и удешевило ее производство.

Рис.3

Гибкая шина в разрезе

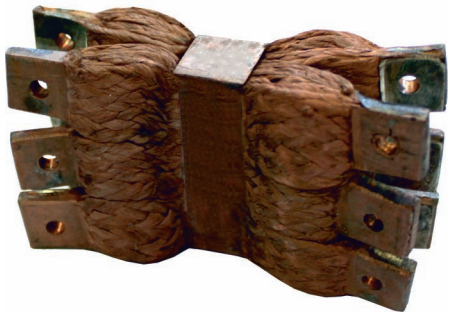


Рис. 4

Преимущество технологии, освоенной и доработанной АО «Новая ЭРА», перед технологией механического крепления кабельного наконечника заключается в его отсутствии, к тому же качество опрессовки наконечника сложно контролировать. Наконечник может быть обжат не полностью, а выяснится это только при эксплуатации конечного продукта.

Есть преимущество данной технологии перед традиционной диффузионной сваркой. Заготовка плетеной медной шины имеет переменное поперечное сечение (в определенном допуске), таким образом, существует риск того, что при сварке останутся полости между стенками трубки, оконечивающей шину, и гибкой частью, уложенной в эту трубку. Это может привести к нежелательному нагреву в местах крепления контактных площадок.

Используемое АО «Новая ЭРА» для производства плетеных медных шин оборудование имеет широкий диапазон настроек и возможность переналадки на различные варианты геометрии контактных площадок. Благодаря этому предприятие может изготавливать плетеные медные шины различной длины и поперечного сечения для решения технических задач (рис. 3 и рис. 4).

Имеющиеся производственные мощности и ресурс предприятия АО «Новая ЭРА» позволяют полностью обеспечить собственные потребности гибкими шинами, а также выполнять заказы других заинтересованных в сотрудничестве компаний. ■

МНОГОУРОВНЕВЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ЧАСТОТЫ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОДВИЖЕНИЯ СУДОВ

Д.В. Умяров, *начальник отдела АО «КБ «Вымпел»,*
А.Я. Кокин, *студент,*
О.И. Самойлов, *студент, НГТУ им. Р.Е. Алексеева,*
контакт. тел. +7 (831)439 6734

Электрические гребные установки имеют широкое распространение в судостроении, благодаря использованию в них компактных первичных двигателей, возможности выбора оптимальных параметров первичных двигателей и гребных винтов, достаточно широкой стандартизации и унификации отдельных элементов частей установки.

Выбор ГЭУ обусловлен необходимостью обеспечения высокой маневренности и высокой перегрузочной способности (важно при работе судна во льдах). Кроме того, применение электродвижения позволяет питать вспомогательные электромеханизмы от шин главных генераторов.

На сегодняшний день преобладают ГЭУ переменного тока или двойного рода тока в составе единой электроэнергетической системы (ЕЭЭС). Структурная схема такой системы изображена на рис. 1.

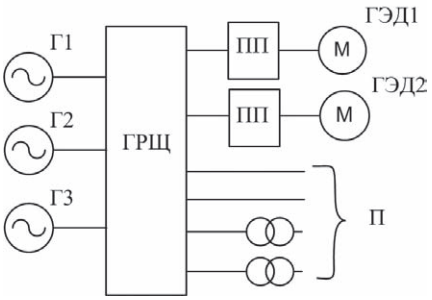


Рис. 1. ***Общая структурная схема ЕЭЭС с ГЭУ***

Наиболее часто применяются системы электродвижения переменного тока, в которых используются преобразователи частоты со звеном постоянного тока.

Преобразователь частоты, построенный на основе автономного инвертора напряжения, представлен на рис. 2. Схема содержит входной неуправляемый мостовой выпрямитель, звено постоянного тока с батареей конденсаторов и автономный инвертор напряжения (АИН).

Переменное напряжение синхронного генератора преобразуется в постоянное при помощи трехфазного мостового выпрямителя. Схема выпрямителя построена на диодах. В преобразователях большой мощности используются выпрямители на тиристорах. Управляемым выпрямитель делают с целью ограничения тока при пуске преобразователя. В остальных случаях схема работает в режиме естественной коммутации.

Автономный инвертор напряжения, построенный на IGBT-транзисторах, работает в режиме широтно-импульсной модуляции (ШИМ) и преобразует выпрямленное напряжение в переменное. Выходное напряжение инвертора подается на гребной электродвигатель.

Для таких систем очень актуальны вопросы электромагнитной совместимости и качества электрической энергии. Критерием качества электроэнергии является коэффициент несинусоидальности формы кривой напряжения. Он равен отношению среднеквадратичного напряжения суммы высших гармоник сигнала, кроме первой, к напряжению первой гармоники при воздействии на вход устройства синусоидального сигнала. Значение коэффициента не должно превышать 10%. Превышение установленного значения THD приводит к нарушению нормальной работы оборудования, не входящего в состав ГЭУ, но питающегося от общей электростанции и чувствительного к качеству электроэнергии. Несинусоидальность тока и напряжения может быть причиной наводок в телекоммуникационных сетях, снижения КПД электромеханических систем, вибрации и шума в электрических машинах, дополнительного нагрева

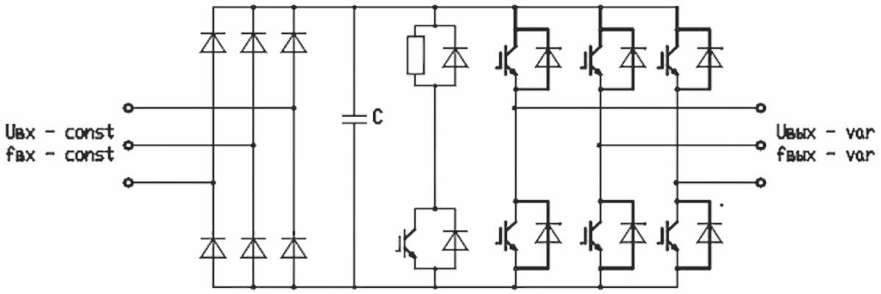


Рис. 2. ***Схема силовой части ПЧ с АИН***

кабелей, трансформаторов электрических машин и увеличения потерь в них. Все эти негативные воздействия могут приводить к сокращению срока службы и выходу из строя оборудования.

Трехфазный мостовой выпрямитель потребляет из сети несинусоидальный ток. Высшие гармонические составляющие тока создают падение напряжения на сопротивлениях питающего трансформатора и генератора. Как следствие, гармонический состав напряжения сети изменяется.

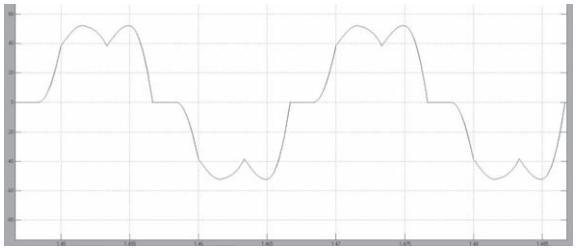


Рис. 3. ***Входной ток 6-пульсного выпрямителя***

На судах с единой электростанцией, в свою очередь, мощность пропульсивной установки сопоставима с суммарной мощностью генераторов электростанции и может достигать 80% мощности источника. В этих условиях форма напряжения сети может существенно искажаться за счет высших гармонических составляющих, а коэффициент гармоник для схемы с 6-пульсным выпрямителем (рис. 3) может значительно превышать 10%. Основной вклад в искажение вносят 5-я, 7-я, 11-я, 13-я гармоники. Чем выше номер гармоники, тем больше реактивное сопротивление питающей сети. Как следствие, с ростом частоты увеличивается падение напряжения на этом сопротивлении от протекания высших гармоник тока. Этими же гармониками определяется и искажение кривой напряжения (рис. 4).

Способом улучшения гармонического состава потребляемого преобразователем тока является применение схем выпрямления, имеющих пульсность больше шести, например, 12-пульсный выпрямитель. Для построения таких схем используется трехобмоточный трансформатор, вторичные обмотки которого имеют соединения «звезда» и «треугольник». К каждой вторичной обмотке подключается трехфазный мостовой выпрямитель. Выпрямители соединяются последовательно, их выпрямленные напряжения суммируются.

Напряжения вторичных обмоток сдвинуты относительно друг друга на угол 30 эл. град. Поэтому и кривые тока, потребля-

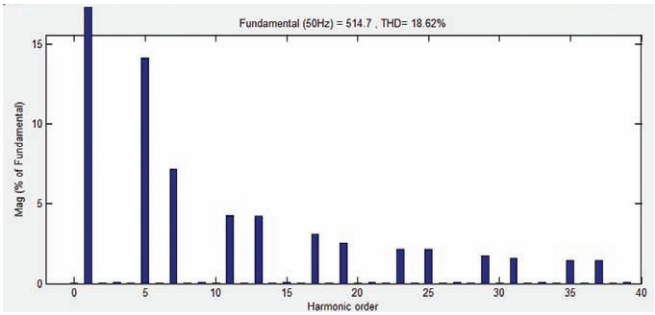


Рис. 4. ***Спектр напряжения сети при работе на нелинейную нагрузку***

емого каждым выпрямителем, будут иметь такой же сдвиг. Ток первичной обмотки трансформатора по форме представляет собой сумму токов вторичных обмоток. Кривая тока, потребляемого такой схемой, более приближена по виду к синусоиде, нежели ток 6-пульсного выпрямителя. Двенадцатипульсный режим выпрямления позволяет компенсировать 5-ю и 7-ю гармонические составляющие.

Дальнейшее увеличение пульсности выпрямителя позволяет еще более приблизить форму кривой потребляемого тока к синусоиде. Наращивание пульсности схемы происходит за счет добавления шестипульсных трехфазных выпрямительных мостов, каждый из которых питается от своей вторичной обмотки трансформатора. Все вторичные обмотки при этом должны иметь фазовый сдвиг относительно друг друга. Иногда используют несколько трансформаторов, работающих параллельно. Многопульсные схемы выпрямления способствуют значительному улучшению гармонического состава потребляемого преобразователем тока без применения фильтрующих устройств.

МНОГОУРОВНЕВЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ЧАСТОТЫ

Многоуровневые преобразователи строятся на основе многопульсных схем выпрямления и многоуровневых инверторов. Идея многоуровневого инвертора основана на делении напряжения в звене постоянного тока на конденсаторах и состоит в том, что выходное напряжение формируется не только за счет изменения длительности импульсов, как при ШИМ, но и за счет изменения начального уровня напряжения. Такие инверторы отличает большое количество последовательно включенных вентилей в плече, что необходимо для уменьшения шагов при формировании кривой напряжения. Различия способов формирования кривой напряжения в классических АИН с ШИМ и в инверторах с многоуровневой импульсной модуляцией (МИМ) наглядно представлены на рис. 5.

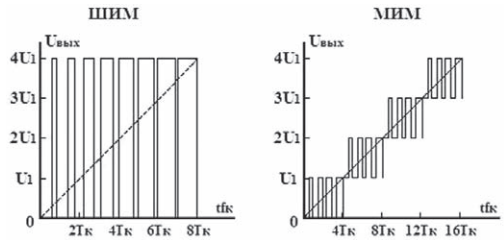


Рис. 5. ***Различные способы формирования кривой напряжения***

Видно, что пульсации напряжения многоуровневого инвертора значительно меньше таковых в классической схеме. Применение многоуровневых инверторов позволяет значительно улучшить форму выходного напряжения, уменьшить броски напряжения, снизить уровень электромагнитных помех, излучаемых преобразователем, и преодолеть сложности, связанные с особенностями работы двигателя при питании от источника импульсного напряжения.

На входе инвертора устанавливаются два последовательно включенных конденсатора, которые делят напряжение U_d пополам. Напряжение 0,5 U_d приложено через разделительные диоды к средним точкам плеч инвертора. Управляя транзисторами соответствующим образом, можно получить на выходе три уровня напряжения: U_d, 0,5 U_d и 0 (рис. 6), тогда как АИН, построенный по классической схеме позволяет получать на выходе напряжение двух уровней: 0 и U_d.

Появление дополнительного уровня напряжения приводит к увеличению ступеней в кривой выходного напряжения. При этом уменьшается амплитуда пульсаций напряжения и снижается содержание высших гармоник в спектре.

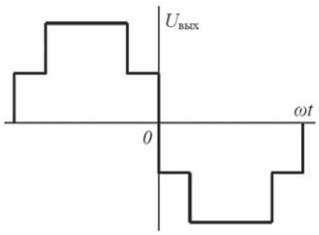


Рис. 6. ***Кривая выходного напряжения трехуровневого инвертора***

КАСКАДНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ЧАСТОТЫ ДЛЯ ГЭУ

Дальнейшее увеличение числа уровней выходного напряжения ПЧ возможно за счет применения каскадной топологии инвертора. Данный класс многоуровневых преобразователей основан на последовательном соединении Н-мостовых ячеек (рис. 7). Инверторная ячейка представляет собой однофазный АИН. В отличие от схем, рассмотренных ранее, в каскадных преобразователях питание каждой ячейки постоянным напряжением осуществляется изолированно. Для этого каждая ячейка имеет на входе трехфазный мостовой неуправляемый выпрямитель. В свою очередь, каждый выпрямитель подключается к отдельной вторичной обмотке многообмоточного трансформатора. При этом легко решается задача создания многопульсной схемы выпрямления, поскольку напряжения вторичных обмоток имеют фазовый сдвиг.

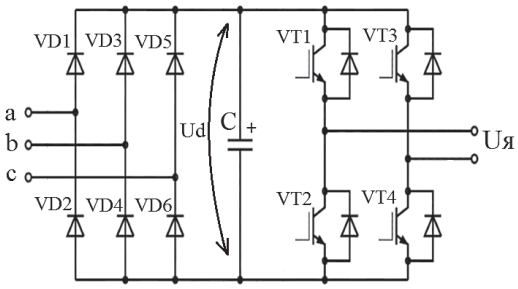


Рис. 7. ***Схема Н-мостовой инверторной ячейки каскадного преобразователя***

Каждая ячейка обеспечивает на выходе три уровня напряжения: U_d, 0 и – U_d. Выходное напряжение преобразователя формируется за счет последовательного сложения напряжений отдельных ячеек. Число уровней выходного напряжения определяется следующим образом:

$$L = 2 \cdot p + 1, \qquad (1)$$

где p – число ячеек в фазе.

Количество ячеек в фазе определяется напряжением сети и классом напряжения применяемых транзисторных модулей. Одним из основных преимуществ каскадного преобразователя является возможность наращивания напряжения и мощности за счет соединения соответствующего числа ячеек. Например, на напряжение 6 кВ обычно применяются преобразователи, имеющие по пять, шесть или семь ячеек (рис. 8) в каждой фазе, на напряжение 10 кВ – по восемь или девять ячеек. Важно отметить, что для реализации каскадных схем используются низковольтные конденсаторы и силовые вентили, которые отличает относительно низкая стоимость, более широкая доступность в сравнении с высоковольтными.

Каждая ячейка работает в режиме синусоидальной ШИМ. Выбор частоты ШИМ является одним из факторов повышения

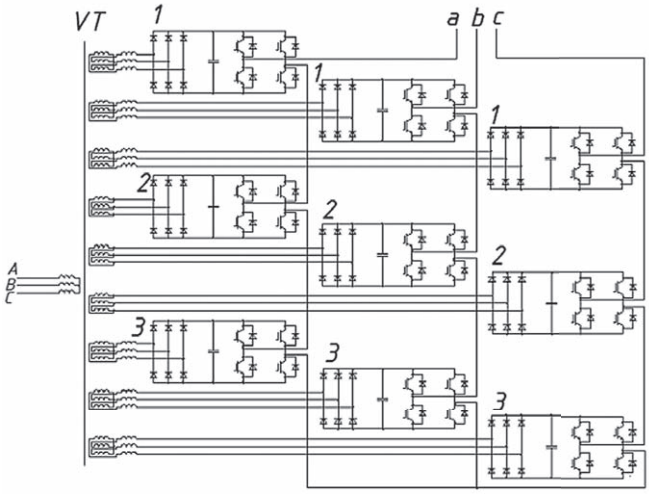


Рис. 8. ***Схема семиуровневого каскадного преобразователя частоты***

качества выходного напряжения. Принципиально повышение частоты возможно до 30 кГц (при использовании IGBT-модулей), что снижает амплитуду пульсаций трехфазного тока обмотки статора и связанные с ними шумы и вибрации в АД. Однако повышение частоты коммутации свыше 5–10 кГц вызывает резкое увеличение тепловых нагрузок на ключе в статических и динамических режимах.

Для формирования импульсов управления вентилями одной ячейки используется два треугольных сигнала несущей частоты и опорный синусоидальный сигнал частоты выходного напряжения. Импульсы управления одним полумостом ячейки формируются компаратором при сравнении несущего и опорного сигналов. Сигналы двух несущих сдвинуты по фазе на 180 градусов. Для формирования импульсов управления ячейками других фаз опорные сигналы сдвигаются на 120 градусов относительно друг друга. Для формирования импульсов управления

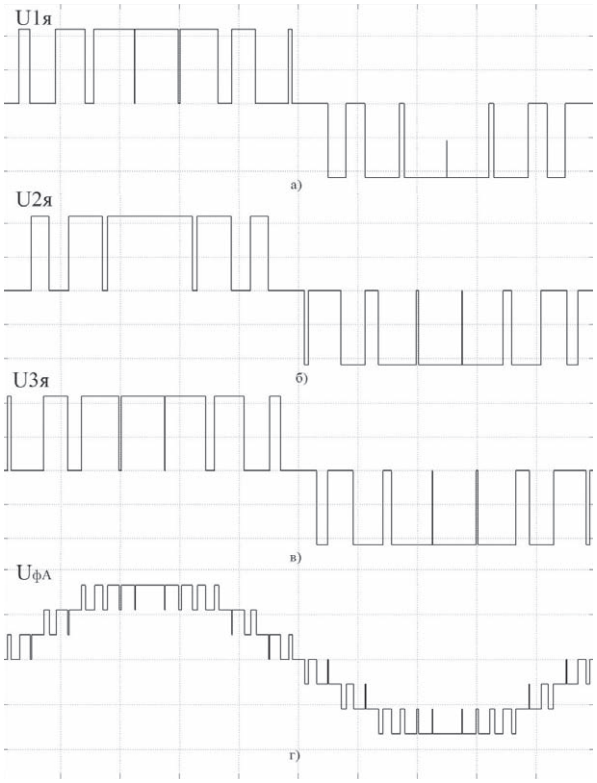


Рис. 9. ***Формирование выходного фазного напряжения (фазы А): а – выходное напряжение ячейки 1; б – выходное напряжение ячейки 2; в – выходное напряжение ячейки 3; г – выходное фазное напряжение семиуровневого ПЧ***

ячейками одной фазы несущие сигналы смещаются на соответствующий угол α, эл. град., который определяется по формуле

$$\alpha = 180/p, \qquad (2)$$

где p – количество ячеек в фазе.

Выходное фазное напряжение преобразователя формируется как сумма напряжений всех ячеек фазы.

Для регулирования действующего значения выходного напряжения необходимо изменять соответствующим образом амплитуду опорного сигнала. Для изменения частоты выходного напряжения следует варьировать частоту опорного сигнала (рис. 9).

Иногда, для увеличения действующего значения напряжения в качестве опорного сигнала используют синусоиду с добавлением 1/6 третьей гармоники. Вид такой кривой представлен на рис. 10.

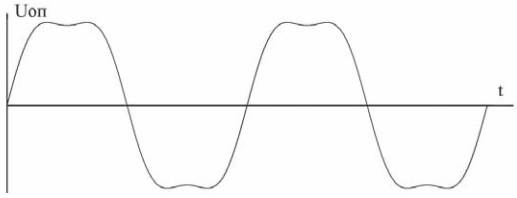


Рис. 10. ***Вид кривой опорного сигнала с добавлением третьей гармоники***

Данный сигнал описывается выражением

$$U_{оп} = U_1 \cdot \sin(\omega_1 \cdot t) + \frac{1}{6} U_1 \cdot \sin(3 \cdot \omega_1 \cdot t), \qquad (3)$$

где $U_{оп}$ — мгновенное значение опорного сигнала; U_1 — амплитуда первой гармоники сигнала; ω_1 — круговая частота первой гармоники сигнала; t – время.

При использовании опорного сигнала, описываемого выражением (3), возрастает коэффициент заполнения импульсов выходного напряжения, поэтому возрастает и действующее значение.

Поскольку ячейки каскадных преобразователей питаются переменным напряжением изолированно, для построения таких схем применяются многообмоточные трансформаторы.

Обобщенная схема многообмоточного трансформатора приведена на рис. 11. Как правило, вторичные обмотки можно разделить на несколько групп по три обмотки в каждой. Обмотки одной группы имеют одинаковый фазовый сдвиг. В такую группу объединяются обмотки, питающие соответствующие ячейки разных фаз.

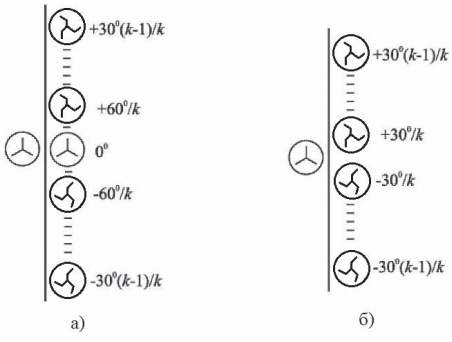


Рис. 11. ***Общие структурные схемы многообмоточных трансформаторов: а – при нечетном числе ячеек в фазе; б – при четном числе ячеек в фазе***

В процессе исследования математической модели 7- и 11-уровневого преобразователей частоты получены значения THD тока и напряжения на входе ПЧ, тока двигателя при различных значениях варьируемых параметров. Полученные данные позволяют построить графики зависимости THD от изменяемых величин, установить и проанализировать закономерности (рис. 12).

При увеличении мощности судовой электростанции относительно мощности гребных двигателей THD напряжения сети уменьшается, несмотря на незначительное увеличение THD потребляемого тока. Уменьшение искажения напряжения с ростом мощности происходит потому, что при этом снижается активное и индуктивное сопротивление источника, следо-

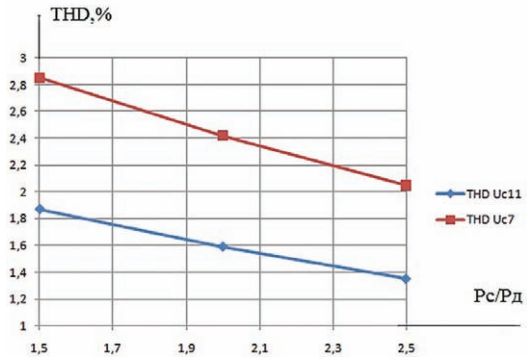


Рис. 12. ***Зависимость THD напряжения сети от соотношения мощностей сети и нагрузки***

вательно, высшие гармонические составляющие тока создают меньшее падение напряжения.

При увеличении момента нагрузки на валу двигателя снижается THD потребляемого из сети тока. В результате увеличения момента возрастает и основная гармоника тока, потребляемого электроприводом. Следовательно, снижается доля высших гармоник в токе. Однако при этом увеличивается мощность, потребляемая ПЧ из сети. Как следствие, возрастает THD напряжения сети.

Частота ШИМ влияет только на работу автономных инверторов ячеек. Поскольку выпрямитель ячейки отделен от инвертора звеном постоянного тока с фильтрующим конденсатором, частота ШИМ почти не оказывает влияния на гармонические искажения напряжения сети и потребляемого тока.

Видно, что кривые потребляемого тока и напряжения сети в системе с 11-уровневым ПЧ искажены меньше. Амплитуды высших гармоник представлены в процентах от основной гармоники. Гистограммы показывают, что в спектре напряжения на входе 11-уровневого ПЧ амплитуды 17-й и 19-й гармоник (частоты 850 и 950 Гц) снижены более чем в 3 раза по отношению к этим же гармоникам в схеме с семиуровневым ПЧ. При любых значениях варьируемых параметров THD кривых тока и напряжения для 11-уровневой схемы ниже, чем для семиуровневой, поскольку в 11-уровневом ПЧ вторичные обмотки имеют пять различных фазовых углов, а в семиуровневом – три. Следовательно, пульсность схемы выпрямления 11-уровневого ПЧ выше.

Однако и семиуровневый ПЧ во всех из рассмотренных режимов соответствует требованиям РМРС, так как THD напряжения сети не превышает 10%. Следовательно, такая схема также может применяться в системах электродвижения без установки дополнительных фильтрующих устройств.

С точки зрения влияния ПЧ на асинхронный двигатель важнейшим фактором является гармонический состав тока двигателя и форма кривой напряжения на нем. Высшие гармоники тока обусловливают дополнительный нагрев двигателя, а колебания напряжения с высокой амплитудой приводят к возникновению емкостных токов в межвитковой изоляции, что приводит к ее разрушению. С целью анализа качества электро-

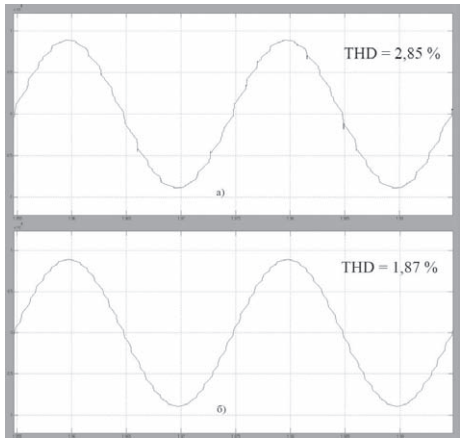


Рис. 13. ***Напряжение сети: а – для семиуровневого ПЧ; б – для 11-уровневого ПЧ***

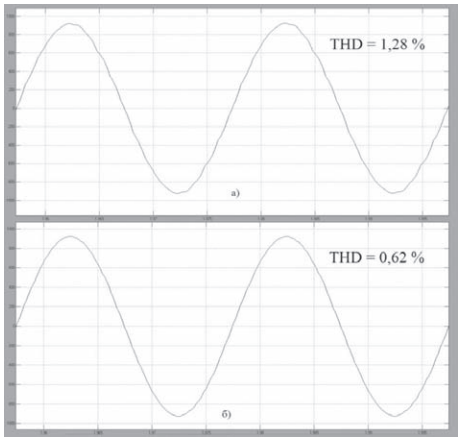
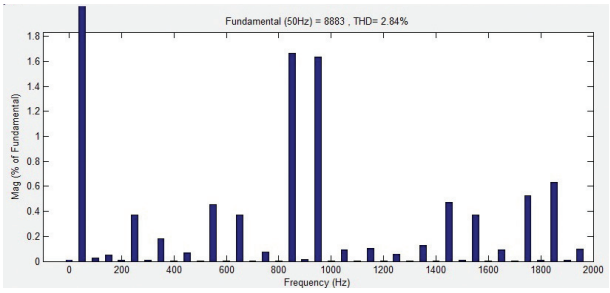


Рис. 15. ***Потребляемый из сети ток: а – для семиуровневого ПЧ; б – для 11-уровневого ПЧ***

а)



б)

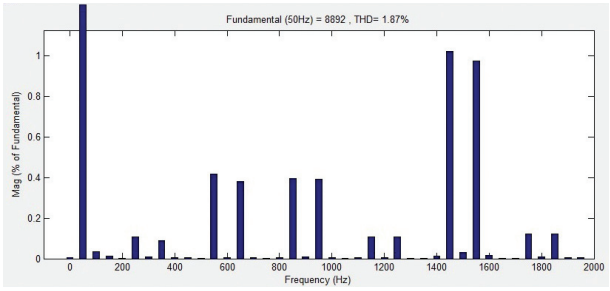
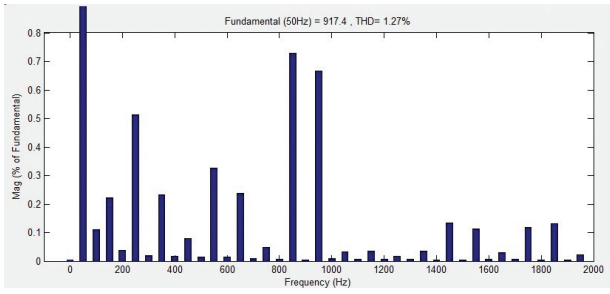


Рис. 14. ***Спектр гармоник напряжения сети: а – для семиуровневого ПЧ; б – для 11-уровневого ПЧ***

а)



б)

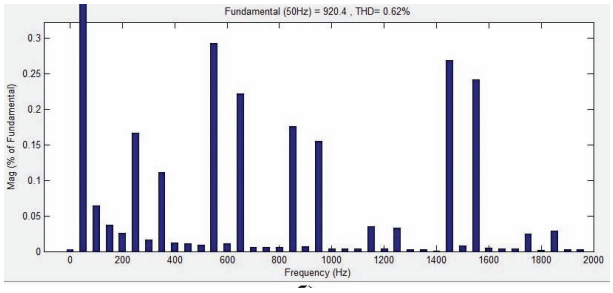


Рис. 16. ***Спектр потребляемого из сети тока: а – для семиуровневого ПЧ; б – для 11-уровневого ПЧ***

энергии на выходе ПЧ определяются значения THD тока двигателя при различных величинах варьируемых параметров схемы.

Соотношение мощностей источника и нагрузки не влияет на ток двигателя. Ток двигателя определяется формой кривой и частотой пульсаций выходного напряжения ПЧ и параметрами электродвигателя.

С ростом момента нагрузки на валу двигателя THD тока двигателя снижается, поскольку при этом возрастает основная гармоника тока. При этом колебания тока, возникающие из-за пульсаций напряжения, не изменяются и составляют меньший процент от основной гармоники.

Рост частоты ШИМ вызывает увеличение частоты пульсаций напряжения. Как следствие, кривая тока двигателя становится более сглаженной, THD снижается. При этом наибольшее снижение наблюдается в схеме с семиуровневым ПЧ. При равных частотах ШИМ в данной схеме частота пульсаций выходного напряжения ниже, поэтому ее изменения оказывают более существенное влияние на ток.

Частота пульсаций выходного напряжения ПЧ при неизменной частоте ШИМ возрастает при увеличении числа ячеек в одной фазе. Пульсации напряжения в семиуровневом ПЧ не превышают 1/3 его амплитуды, в 11-уровневом – 1/5, в то время как в классическом АИН с ШИМ амплитуда пульсаций выходного напряжения равна амплитуде напряжения. Следовательно, форма кривой выходного напряжения у каскадных ПЧ ближе к синусоиде, при этом, чем больше ячеек в фазе имеет ПЧ, тем лучше форма кривой напряжения.

С приближением кривой напряжения к синусоиде улучшается и форма тока двигателя. Амплитуда пульсаций тока в схеме с 11-уровневым ПЧ заметно ниже. Все высшие гармонически составляющие снизили свой вклад в кривую тока.

Помимо коэффициента гармонических искажений, дающего количественную характеристику искажений, важным показателем качества электроэнергии является коэффициент искажения $K_И$, который определяется как отношение основной гармоники тока к действующему значению полного тока. При синусоидальной форме тока $K_И$=1. Если $K_И$ потребляемого двигателем тока меньше единицы, то данный электродвигатель нельзя нагружать номинальным моментом, поскольку при этом действующее значение первой гармоники будет равно номинальному, а полный ток будет превышать это значение. Как следствие, двигатель получает дополнительный нагрев. Таким образом, имеется возможность по величине $K_И$ судить о максимально возможной нагрузке оборудования. Поскольку в рассматриваемых системах электродвижения токи и напряжения имеют гармонические искажения, целесообразно рассчитывать для них $K_И$. Коэффициент искажения связан с THD выражением

$$K_И = \frac{1}{\sqrt{1+\mathrm{THD}^2}}, \qquad (4)$$

где THD – коэффициент гармонических искажений.

По полученным в ходе исследования значениям THD рассчитаны коэффициенты искажения $K_И$ для кривых напряжения сети $U_с$, потребляемого тока $I_с$ и тока двигателя $I_д$ (табл. 1).

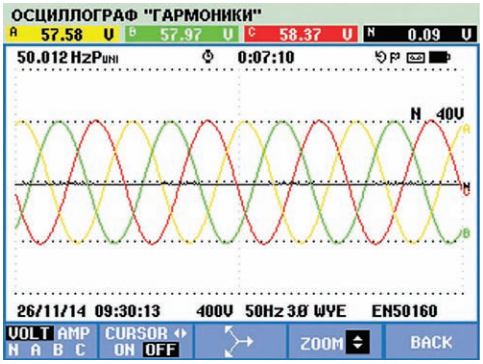
Таблица 1

THD и $K_И$ кривых напряжения сети $U_с$, потребляемого тока $I_с$ и тока двигателя $I_д$

	Семиуровневый ПЧ		11-уровневый ПЧ	
	THD	$K_И$	THD	$K_И$
$U_с$	0,0285	0,9996	0,0187	0,9998
$I_с$	0,0128	0,99992	0,0062	0,99998
$I_д$	0,0473	0,9978	0,0146	0,9999

Значения коэффициента искажения, полученные для кривых напряжения и тока, очень близки к единице (рис. 17). Следовательно, в ГЭУ на основе как 11-уровневого ПЧ, так и семиуровневого, электрические машины могут нормально функционировать при номинальной нагрузке без использования дополнительных фильтрующих устройств.

а)



б)

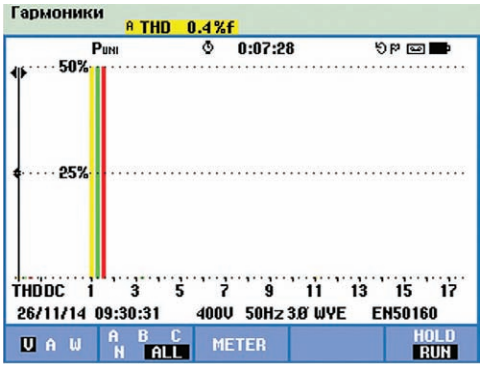


Рис. 17. ***Осциллограмма напряжений (а) и токов (б) на двигателе, полученная на испытаниях каскадного преобразователя частоты 12MBm***

Преобразователи, построенные по каскадной схеме, отличаются относительной простотой силовой вентильной схемы. Благодаря модульной структуре, использующей однотипные ячейки, упрощается ремонт преобразователя. Кроме того каскадные схемы отличаются высокой надежностью. При выходе из строя ячейки она автоматически шунтируется, система управления корректирует режим работы остальных ячеек и ПЧ сохраняет работоспособность, однако при этом происходит некоторое снижение выходной мощности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Одним из наиболее эффективных и перспективных способов улучшения гармонического состава тока и напряжения является применение в составе ГЭУ многоуровневых каскадных преобразователей частоты. Это особенно актуально для ГЭУ большой мощности, где напряжение цепи главного тока выше 1000 В. Использование преобразователей такой конструкции позволяет отказаться от установки дополнительных устройств для фильтрации высших гармонических составляющих и от дробления агрегатов для снижения единичной мощности и – следовательно – напряжения. К достоинствам таких преобразователей относят также модульность конструкции, высокую надежность и относительную простоту наращивания мощности, напряжения, числа уровней напряжения на выходе ПЧ и пульсности схемы выпрямления путем наращивания количества ячеек, включенных последовательно в каждую фазу.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Жемеров Г.Г., Титаренко И.Г, Тугай Д.В.* Моделирование электропривода переменного тока с каскадным многоуровневым инвертором напряжения // Электротехника и электромеханика.– 2013. – №2. – С. 40–47.
2. *Ломакина Л.С., Садиков Д.Г., Титов В.Г., Чернов Е.А.* Энергосберегающий регулируемый электропривод газоперекачивающего агрегата. – Сб. науч.-техн. статей конференции «Актуальные проблемы энергетики», 2014, с. 127–134.
3. *Черных А.И.* Моделирование электротехнических устройств в Matlab, SimPowerSistem и Simulink. – СПб.: Питер, 2008. – 288 с.
4. НПП «ЭКРА», г. Чебоксары. – http://www.ekra.ru/

ОТРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ СТРУКТУРНОГО АНАЛИЗА СУ ЯЭУ

***М.И. Говоровская**, инженер-конструктор 2-й категории*
АО «СПМБМ «Малахит»,
контакт. тел. (812) 242 1504

Согласно основным требованиям к корабельным ядерным энергетическим установкам (КЯЭУ) принципиальная схема и размещение входящего в состав установки оборудования, включая системы управления, должна разрабатываться с учетом обеспечения прежде всего высоких показателей надежности, живучести и безопасности, а также с учетом достижения минимально возможных.

Под *надежностью* следует понимать свойство технической системы сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность системы выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения.

Под *живучестью* технической системы понимают свойство сохранять полную или частичную работоспособность при отказе отдельных функциональных узлов.

Под *безопасностью* понимают совокупность свойств ЯЭУ и состояний технических средств (ТС), исключающая с определенной вероятностью аварию.

При этом под *структурой* ЯЭУ понимается комплекс систем и оборудования, включая системы материального и информационного обеспечения с присущими им материальными и логическими связями. Также при анализе структуры ЯЭУ должны учитываться обратные связи.

В связи с этим следует заметить следующее важное обстоятельство: классический подход к обоснованию надежности систем высокой сложности, к которым относятся системы ЯЭУ, т. е. расчетное подтверждение требуемых нормативно-технической документацией (НТД) значений вероятностей безотказной работы, не решает проблему анализа надежности и обоснования безопасности ЯЭУ. Дело в том, что даже при условии корректного выполнения расчетов в необходимом объёме, классические методы борьбы за повышение надежности (к примеру, замена отдельных элементов на аналоги, обладающие повышенными надежностными характеристиками) в лучшем случае могут приводить к снижению вероятности нарушения в работе систем, при этом не учитывается, что рассматриваемые системы также подвержены возможным внешним воздействиям (затопления, пожары и т. п.).

На сегодняшний день для обоснования проектных решений по структурно-сложным автоматизированным техническим комплексам применяются расчетные методы оценки надежности, а именно логико-вероятностные методы. Современные, в том числе отечественные, программные пакеты анализа надежности и безопасности, реализующие логико-вероятностные методы, предлагают развитый человеко-машинный интерфейс, что делает их удобными для использования.

Первоочередной задачей определен анализ существующих методов обоснованного выбора структуры ЯЭУ, при которой возможные в процессе эксплуатации нарушения в работе аппаратуры не приводили бы к аварии как отдельного оборудования, так и установки в целом.

Исходя из первоочередной задачи, был выполнен анализ существующих математических методов, применяемых в проектных организациях. Были рассмотрены методы расчетов системных показателей надежности сложных технических систем [3].

Первая группа рассмотренных методов – это методы и модели, основанные на построении так называемых «деревьев отказов» (ДО) и «деревьев событий» (ДС) – рис. 1 и рис. 2.

Методология построения ДО состоит в движении назад – детализации причин отказовых событий вплоть до исходных. Вершиной дерева является исследуемое событие – отказ АТК, промежуточные узлы – логические операторы («И», «ИЛИ», «исключающее ИЛИ» и т. п.), которые в конечном итоге связывают вместе исходные события – отказы отдельных элементов.

Метод ДС состоит в анализе возможных последствий некоторого исходного события (отказа элемента или подсистемы) – вершины дерева. Промежуточные узлы ДС – отказы или срабатывания других элементов или подсистем, приводящие к различным траекториям развития отказовой ситуации. Методология построения ДС состоит в движении вперед – от некоторого исходного события к его различным последствиям (в зависимости от состояния других элементов).

Ко второй группе методов оценки структурной надежности и безопасности структурно-сложных систем относятся логико-вероятностные методы

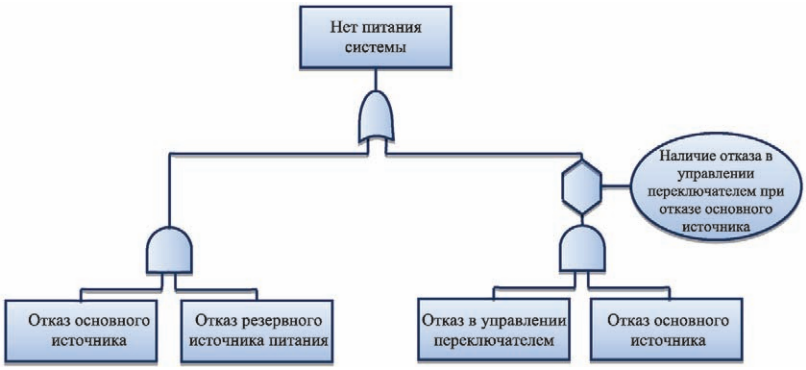


Рис. 1. ***Пример «дерева отказов»***

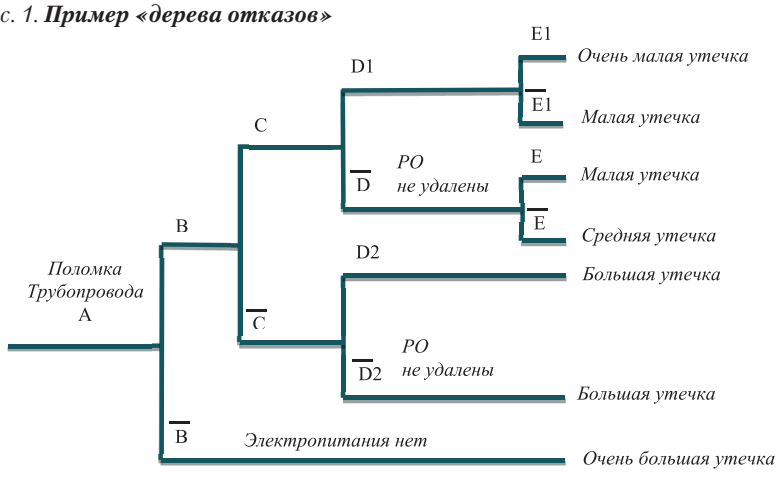


Рис. 2. ***Пример «дерева событий»***
A – трубопровод; B – электропитание; C – система расхолаживания; D – удаление радиоактивности; E – целостность замкнутого контура.

[1], которые предназначены для получения структурных функций работоспособности в форме кратчайших путей успешного функционирования. В основе данной группы методов лежит описание структуры в виде системы логических уравнений. Наиболее известный из этих методов – общий логико-вероятностный метод (ОЛВМ).

Изначально согласно этому методу составляют графическое описание условия функционирования системы в виде схемы функциональной целостности. Далее на основе схемы составляют система логических уравнений, после решения который и получения функции работоспособности системы вычисляют вероятностные показатели надежности.

На основе этого метода разработан программный комплекс «Арбитр», применяемый для расчетов системных показателей надежности отдельных систем ЯЭУ и обоснования безопасности ЯЭУ. Пример использования данного метода представлен на рис. 3 и рис. 4.

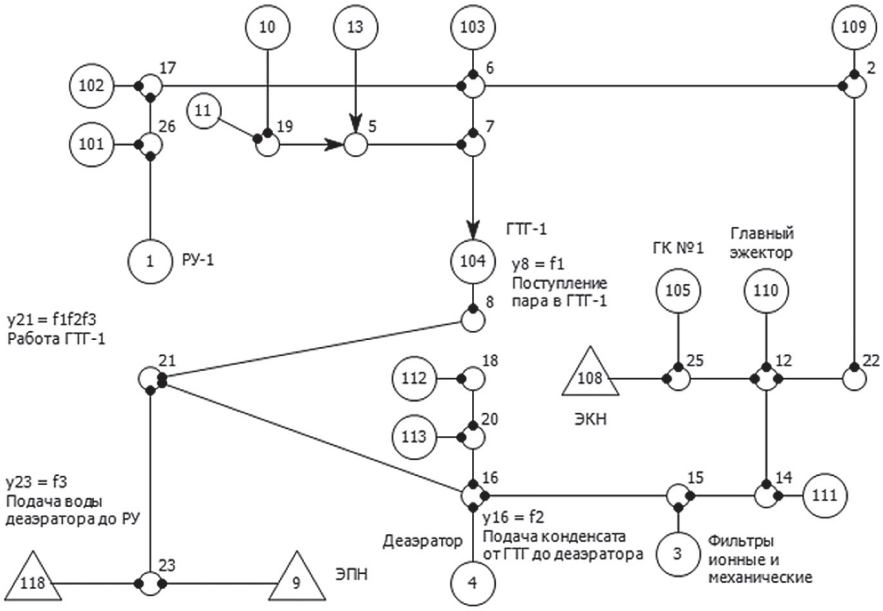


Рис. 4. ***Постановка задачи ОЛВМ с использованием графического представления на примере ПК «Арбитр». Схема функционирования целостности для обеспечения работы ГТГ-1***

При анализе рассмотренных методов был выявлен ряд проблемных вопросов. Во-первых, в этих методах под элементами исходного представления исследуемого объекта подразумеваются не элементы системы, такие как клапаны, насосы, электрические кабели, распределительные щиты, а условия – события, выполнение которых зависит от других событий. Кроме того, связи между элементами не показывают направление движения физических ресурсов, а только задают зависимость одного события от выполнения или невыполнения других событий. Во-вторых, все такие методы основываются на «ручном», т. е. эвристическом переборе возможных вариантов комбинаций состояний элементов системы, приводящих к выполнению или невыполнению назначенной функции системы в целом. Поэтому для корректного построения как ДО и ДС, так и схем функциональной целостности требуется наличие опытного специалиста, способного самостоятельно проанализировать все варианты причин и следствий отказов. Тем не менее даже при условии полного понимания таким специалистом причинно-следственных связей, перебор всех вариантов работоспособных и неработоспособных конфигураций на практике невозможен вследствие их огромного количества.

Таким образом возникла новая задача по возможности найти альтернативный метод для решения практических задач проектирования ЯЭУ как комп-

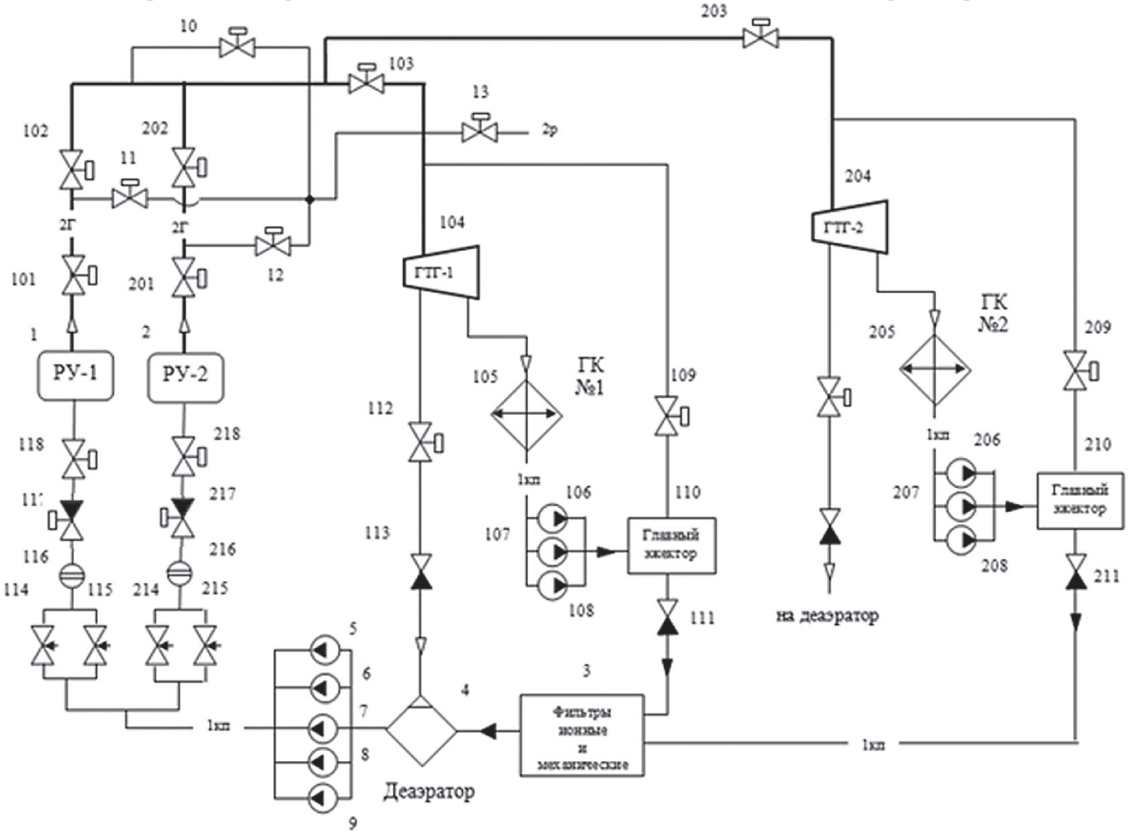


Рис. 3. ***Упрощенная принципиальная схема судовой ЯЭУ***

лекса систем и оборудования, который имел бы ряд преимуществ перед уже существующими методами, а именно метод должен:

– строиться на инженерном подходе, т. е. использовать в качестве расчетных графов реальные структурные схемы КЯЭУ без их дополнительных переработок в специальные деревья;
– обеспечивать учет особенностей КЯЭУ, т. е. наличие замкнутых технологических циклов и обратных связей, перемычек, множества подсистем, различных видов ресурсов: энергии, вещества и информации.

Был предложен метод, за основу которого взято представление структуры системы в виде схемы-графа, вершинами которого являются элементы – технические средства, а связи, через которые элементы взаимодействуют – обмениваются ресурсами, соответствуют ребрам графа.

Введение для элементов и линий связей специальных параметров и определения минимального набора сечений (как множественного отношения между связями, инцидентных заданному элементу) позволило реализовать единую модель функциональной структуры корабельной ЯЭУ, т. е. связать состояние работоспособности всех отдельных элементов и связей со всевозможными функциями работоспособности в целом. Именно это обстоятельство позволило сделать выбор метода, удовлетворяющего двум основным критериям поиска:
– использование функциональных схем для анализа структуры без «ручной» эвристической переработки в специальные графы;
– учет состояния всех элементов и всех взаимодействий между ними.

Метод является развитием используемой ранее (например, в ОЛВМ) идеи описания условий функционирования элементов в виде системы логических уравнений. Модернизация идеи заключается в том, что специальные параметры учитываются в уравнениях функционирования элементов в виде переменных-маркеров и тем самым вносят в систему логических уравнений информацию о классах элементов и их связей, а также позволяют формализовать не только состояния работоспособности элементов, но и задать, какие именно связи задействуются в конфигурациях, а для управляемых связей учитывать используемое направление движения ресурса. Модернизированная таким образом система логических уравнений получила название маркированной системы логических уравнений (МСЛУ).

Кроме того, в отличие от уравнений, составляемых в ОЛВМ, МСЛУ содержит уравнения – функции выхода для всех элементов анализируемого технического комплекса, а не только для элементов, от состояния которых зависит определенная функция работоспособности.

Также было введено понятие минимальной работоспособной конфигурации (МРК) как расширение ранее введенного понятия кратчайшего пути успешного функционирования. МРК – это конфигурация, обеспечивающая функционирование заданного набора элементов по некоторому логическому критерию, но теряющая эту возможность при повреждении (отказе) любого своего элемента или связи. В результате задача вывода Функция работоспособности была сведена к задаче нахождения множества всех МРК, удовлетворяющих логическому критерию функционирования.

В рамках метода были сформулированы необходимые и достаточные условия работоспособности конфигурации.

Следующим шагом стало приведение системы показателей отказоустойчивости, которые позволяют количественно оценить качество структурной организации технического комплекса не по вероятности, а детерминировано. Поскольку показатели дают оценку качества структуры комплекса, то они позволяют анализировать его структурную надежность и живучесть как способность продолжать функционирование при отказах элементов по внутренней или внешней причине.

Для удобства использования полученного метода необходим инструментальный программный аппарат, позволяющий описывать расчетные схемы через задание принципиальных функциональных схем, а также выполнять необходимые расчеты с отображением результатов.

Был создан пользовательский интерфейс (ПИ) – графическая диалоговая оболочка для ввода структурно-функциональных схем и отображения результатов расчетов и моделирования.

Функции предложенного пробного ПИ и его организация включают в себя:
– постановку задачи анализа автоматического технического комплекса (АТК);
– пример работы (выполнение набора мат. модели структуры технической системы);
– автоматическое составление системы логических уравнений, являющейся математической моделью работоспособности АТК [2];
– осуществление аналитического решения системы логических уравнений выбранным методом с выводом функций работоспособности и неработоспособности системы;
– расчет системных вероятностных показателей надежности;
– расчет показателей отказоустойчивости.

ВЫВОДЫ

Был выполнен анализ применимости ряда существующих математических методов системных показателей надежности, на основе проведенного анализа сделан выбор методов с их апробацией на принципиальных и функциональных схемах главной энергетической установки, электроэнергетической системы и системы управления ЯЭУ корабля пр. 971М, с незначительным упрощением структур.

Так как в теории надежности для систем типа УСБ (управляющей системы безопасности) не решена до конца задача учета последовательностей возникновения отказов двух видов, с целью решения проблемы были аналитически выведены формулы для расчетов основных способов резервирования с варьированием долей скрытых/явных отказов. На основании выполненных расчетов показано, что, изменив способ резервирования, можно значимо (до 2 раз!) сократить аппаратную часть УСБ, оставаясь при той же элементной базе, при этом не ухудшив надежностные показатели систем.

Выработаны методы, применимые для обоснования проектных решений, начиная с ранних стадий разработки взаимосвязанных корабельных систем перспективных ЯЭУ, которые позволят автоматизированно выполнять анализ и научно-обоснованный выбор структуры комплекса: «управляющая система – объект управления».

ЛИТЕРАТУРА

1. *Астров В. В. Симаков И. П., Черкесов Г. Н.* Применение методов вероятностной логики и исследования операций к анализу живучести пространственно распределенных энергетических систем/Под ред. акад. Ю. Н. Руденко // Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики. – Иркутск: СЭИ СО АН СССР, 1980. – Вып. 20: Живучесть систем энергетики.
2. *Рябинин И. А.* Логико-вероятностное исчисление как аппарат исследования надежности и безопасности структурно-сложных систем // Автоматика и телемеханика. – 2003. – № 7.
3. *Говоровская М. И.* Исследование принципов построения и методов построения отказоустойчивых и высоконадежных управляющих систем безопасности и аварийной защиты: Дипломная работа. – СПб.: Политехнический университет, 2014. ■

ГЕНЕРАЛЬНОМУ КОНСТРУКТОРУ АО «КОМПРЕССОР» Л.Г. КУЗНЕЦОВУ – 70 ЛЕТ

Леонид Григорьевич Кузнецов, председатель совета директоров АО «Компрессор», генеральный конструктор, доктор технических наук, профессор, родился 19 июля 1947 г. в Кадуйском районе Вологодской области. В 1966 г. окончил Ленинградский монтажный техникум. В 1967–1969 гг. проходил службу в Вооруженных Силах СССР (космодром «Байконур»). После службы в 1969–1971 гг. работал на Череповецком металлургическом заводе механиком цеха. В 1971 г. переезжает в Ленинград и поступает в Ленинградский политехнический институт им. Калинина (сегодня – Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого), который окончил в 1975 г. В это же время поступает на работу на завод «Компрессор» механиком цеха. Через некоторое время становится заместителем начальника цеха, а потом и начальником цеха. С 1983–1988 гг. – инструктор отдела оборонной промышленности, курировал все предприятия Министерства авиационной промышленности и машиностроительные предприятия Министерства судостроительной промышленности, расположенные в Ленинграде. С 1988 по 1995 г. – главный инженер производственного объединения «Компрессор». С 1995 по 2005 г. – генеральный директор ОАО «Компрессор». С 2005 по 2015 г. – генеральный директор–главный конструктор ОАО «Компрессор». С 2015 г. по настоящее время Леонид Григорьевич – Генеральный конструктор АО «Компрессор». Без отрыва от основной работы Л. Г. Кузнецов ведет научную деятельность. В 1994 г. получает ученую степень кандидата технических наук, а в 2001 г. – доктора технических наук. С января 2002 г. преподает в Санкт-Петербургском национальном исследовательском университете информационных технологий, механики и оптики, где читает три курса: «Компрессорные машины», «Современные проблемы энергомашиностроения», «Машины низкотемпературной техники». Руководит научными работами магистров и аспирантов. Л.Г. Кузнецов – автор более 150 научных трудов, 72 патентов, член международных академий: инженерной, холода, информатизации, Санкт-Петербургской инженерной академии, член Промышленного совета Санкт-Петербурга, Общественного совета Выборгского района.

Кроме того, Леонид Григорьевич Кузнецов – первый вице-президент Союза промышленников и предпринимателей Санкт-Петербурга, член Ассоциации компрессорщиков и пневматиков (АСКОМП), Ассоциации промышленных предприятий (АПП) Санкт-Петербурга, Ассоциации судостроителей Санкт-Петербурга и Ленинградской области, Маркетинг-клуба Санкт-Петербурга, член Попечительского совета ФГБОУ ВПО СПбПУ Петра Великого, член диссертационного совета Д212.227.08 при Санкт-Петербургском национальном исследовательском университете информационных технологий, механики и оптики по специальности 050403, председатель Центральной ревизионной комиссии Общероссийской общественной организации «Союз машиностроителей России».

Исполняющий обязанности губернатора Санкт-Петербурга А.Н. Говорунов вручает юбиляру Почетную грамоту

Л.Г. Кузнецов входит в состав редакционных советов журналов «Компрессорная техника и пневматика», «Морской вестник».

Л. Г. Кузнецов внес значительный вклад в развитие отечественного компрессоростроения. При его непосредственном участии создано несколько поколений высокоавтоматизированного компрессорного оборудования на различные рабочие среды. За свою плодотворную деятельность Л. Г. Кузнецов награжден орденом «Знак почета» (1985); орденом Почета (2003); орденом «За заслуги перед Отечеством» IV степени (2009); орденом Александра Невского (2016). Ему присвоены почетные звания «Заслуженный машиностроитель РФ» (1998); «Почетный судостроитель» (2003); он – лауреат премии Правительства РФ в области науки и техники (2012).

В связи с юбилеем Леонида Григорьевича Кузнецова губернатор Санкт-Петербурга Г. С. Полтавченко наградил Почетной грамотой. Председатель Законодательного Собрания Санкт-Петербурга В. С. Макаров и Главнокомандующий ВМФ В. И. Королёв объявили благодарности.

Поздравления прислали:

- аппарат Полномочного представителя Президента РФ;
- заместитель министра обороны РФ Ю. И. Борисов;
- Председатель Комитета по промышленной политике и инновациям Санкт-Петербурга М. С. Мейксин;
- руководитель Департамента Министерства обороны Российской Федерации по обеспечению государственного оборонного заказа А. П. Вернигора;
- директор Департамента судостроения и морской техники Минпромторга России Б. А. Кабаков;
- командование Тихоокеанского, Черноморского, Балтийского и Северного флотов и более чем 140 проектных институтов, конструкторских бюро и заводов судостроительной, ракетно-космической отраслей, «Газпром» и другие организации.

Члены редакционного совета и редколлегия журнала «Морской вестник» присоединяются к этим многочисленным поздравлениям и желают Л.Г. Кузнецову здоровья, благополучия и дальнейших успехов в деле развития отечественной промышленности, судостроения и флота страны. ■

МОСТОВЫЕ ВЫПРЯМИТЕЛИ С ИМПУЛЬСНО-МОДУЛЯЦИОННЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

Б.Ф. Дмитриев, *д-р техн. наук, проф.,*
С.Я. Галушин, *канд. техн. наук, доцент, СПбГМТУ,*
А.М. Лихоманов, *канд. техн. наук, доцент,*
А.Ю. Розов, *инженер, СПбПУ Петра Великого,*
контакт. тел. (812) 713 8977, +7(921) 948 2948

Качественные характеристики управляемых выпрямителей зависят от вида регулировочной и нагрузочной характеристик, гармонического состава выходного напряжения силового блока, диапазона регулирования выходного напряжения, а также влияния процесса преобразования на первичную сеть, характеризуемого коэффициентом мощности [1–3].

Напряжение на выходе мостовых схем с регулированием напряжения на стороне постоянного тока представляется в виде

$$u_B(t) = U_0 + \Delta U_m \left|\sin r\omega t\right|; \quad \omega = \frac{2\pi}{T}, \qquad (1)$$

где T – период преобразуемого напряжения; U_0, ΔU_m – постоянная составляющая и максимальное значение пульсаций; r – количество пульсаций m на периоде T.

Напряжение на выходе ключевого блока [4]

$$\begin{gathered} u_k(t) = u_B(t)F_K(t) = U_0 F_{0K}(t) + \Delta U_m \sin r\omega t F_{PK}(t) = \\ = UA_0 + \sum_{n=1}^{\infty} UA_n \cos n\omega t + \sum_{n=1}^{\infty} UB_n \sin n\omega t = \\ UA_0 + \sum_{n=1}^{\infty} U_n \sin\left(n\omega t + \varphi_n\right); \\ \varphi_n = \operatorname{arctg}\frac{UA_n}{UB_n}; \quad U_n = \sqrt{UA_n^2 + UB_n^2}, \end{gathered} \qquad (2)$$

где $F_K(t)$, $F_{0K}(t)$, $F_{PK}(t)$ – коммутационные функции для мгновенного значения, постоянной и пульсирующей составляющих напряжения на выходе ключевого блока.

Для формирования $F_K(t)$, $F_{0K}(t)$, $F_{PK}(t)$ введем в рассмотрение единичную широтно-импульсную последовательность $E(t)$ с двухсторонней модуляцией (рис. 1):

$$\begin{gathered} E(t) = 0 \text{ при } hT_h < t < \left(h + 1 - c_{2h} - \gamma_h\right)T_h; \\ E(t) = E_h \text{ при } \left(h + c_{1h}\right)T_h \le t \le \left(h + 1 - c_{2h}\right)T_h; \\ E(t) = 0 \text{ при } \left(h + c_{1h} + \gamma_h\right)T_h < t < \left(h + 1\right)T_h; \\ c_{1h} + c_{2h} + \gamma_h = 1; \quad h = 0,1,2,3,\ldots. \\ \gamma_h = \frac{T_{Ih}}{T_h}; \quad \gamma_h = \frac{T_{Ih}}{T_h}; \quad E_h = 1[hT_h]; \quad T_h = \frac{T}{2N}, \end{gathered} \qquad (3)$$

где T, T_h – отрезок времени на котором рассматривается процесс модуляции и период квантования; T_{Ih}, γ_h – длительность и скважность (коэффициент модуляции) h-го импульса; N – количество периодов квантования за $T/2$; h – номер текущего импульса.

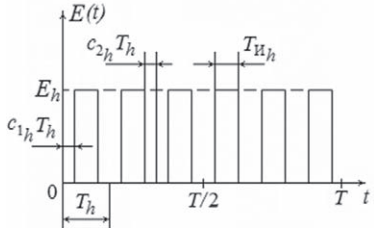


Рис. 1. ***Единичная широтно-импульсная последовательность с двухсторонней модуляцией***

Широтно-импульсная последовательность (3) представляется в форме тригонометрического ряда Фурье

$$\begin{gathered} E(t) = EA_0 + \sum_{k=1}^{\infty} EA_k \cos k\omega t + \sum_{k=1}^{\infty} EB_k \sin k\omega t; \\ EA_k = \sum_{h=0}^{2N-1} \frac{2E_h}{k\pi} \cos\frac{\left(2h + 1 - c_{2h} + c_{1h}\right)k\pi}{2N} \sin\frac{k\pi\gamma_h}{2N}; \\ EB_k = \sum_{h=0}^{2N-1} \frac{2E_h}{k\pi} \sin\frac{\left(2h + 1 - c_{2h} + c_{1h}\right)k\pi}{2N} \sin\frac{k\pi\gamma_h}{2N}; \\ EA_0 = \sum_{h=0}^{2N-1} \frac{E_h\gamma_h}{2N}; \quad \omega = \frac{2\pi}{T}; \quad k = 0,\ 1,\ 2,\ \ldots. \end{gathered} \qquad (4)$$

Для $c_{1h} = 0$ и $c_{2h} = 0$ формулы (4) аппроксимируют широтно-импульсную последовательность (3) с модуляцией по срезу (рис. 2) и по фронту (рис. 3) соответственно.

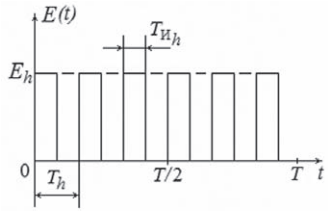


Рис. 2. ***Единичная широтно-импульсная последовательность с модуляцией по срезу***

Коммутационная функция представляется в виде

$$F_K(t) = E(t)V_y(t), \qquad (5)$$

где $V_y(t)$ – управляющая функция.

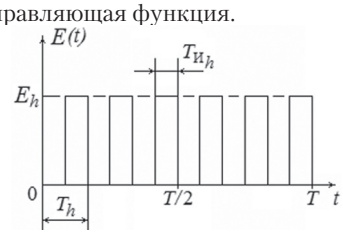


Рис. 3. ***Единичная широтно-импульсная последовательность с модуляцией по фронту***

В качестве $V_y(t)$ рассматриваются однополярная широтно-импульсная последовательность с двухсторонней модуляцией (рис. 4) или с двухполярной (рис. 5):

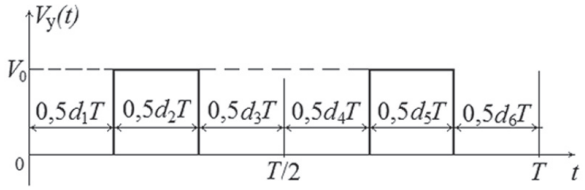


Рис. 4. ***Управляющая однополярная функция***

$$\begin{gathered} V_y(t) = 0 \text{ при } 0 < t < 0,5d_1T; \\ V_y(t) = V_0 \text{ при } 0,5d_1T \le t \le 0,5T(1 - d_3); \\ V_y(t) = 0 \text{ при } 0,5T(d_1 + d_2) < t < 0,5T(1 + d_4); \\ V_y(t) = V_0 \text{ при } 0,5T(1 + d_4) \le t \le T(1 - 0,5d_6); \\ V_v(t) = 0 \text{ при } 0,5T(1 + d_4 + d_5) < t < T \end{gathered} \qquad (6)$$

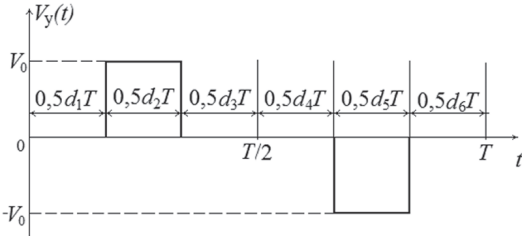


Рис. 5. ***Управляющая двухполярная функция***

$$\begin{gathered} V_y(t) = 0 \text{ при } 0 < t < 0,5d_1T; \\ V_y(t) = V_0 \text{ при } 0,5d_1T \le t \le 0,5T(1 - d_3); \\ V_y(t) = 0 \text{ при } 0,5T(d_1 + d_2) < t < 0,5T(1 + d_4); \\ V_y(t) = -V_0 \text{ при } 0,5T(1 + d_4) \le t \le T(1 - 0,5d_6); \\ V_y(t) = 0 \text{ при } 0,5T(1 + d_4 + d_5) < t < T; \\ V_0 = 1(t); \quad d_1 + d_2 + d_3 = 1; \quad d_4 + d_5 + d_6 = 1. \end{gathered} \qquad (7)$$

Управляющая функция представляется в форме тригонометрического ряда Фурье

$$V_y(t) = VA_0 + \sum_{k=1}^{\infty} VA_k \cos k\omega t + \sum_{k=1}^{\infty} VB_k \sin k\omega t\,. \qquad (8)$$

Для управляющей функции (6) выражения для VA_k, VB_k примут вид

$$VA_k = \frac{V_0}{k\pi}\left[\sin\pi k(1-d_3) - \sin\pi k d_1 + \sin\pi k(2-d_6) - \sin\pi k(1+d_4)\right];$$
$$VB_k = \frac{V_0}{k\pi}\left[\begin{matrix}-\cos\pi k(1-d_3) + \cos\pi k d_1 - \cos\pi k(2-d_6) + \\ +\cos\pi k(1+d_4)\end{matrix}\right]; \qquad (9)$$
$$VA_0 = 0{,}5(d_2+d_5)V_0\,;\ d_2 \in (0\div 1)\,;$$
$$d_5 \in (0\div 1)\,;\ k = 1,\ 2,\ 3,\ \ldots$$

Для управляющей функции (5) выражения для VA_k, VB_k примут вид

$$VA_k = \frac{V_0}{k\pi}\left[\sin\pi k(1-d_3) - \sin\pi k d_1 - \sin\pi k(2-d_6) + \sin\pi k(1+d_4)\right];$$
$$VB_k = \frac{V_0}{k\pi}\left[\begin{matrix}-\cos\pi k(1-d_3) + \cos\pi k d_1 + \\ +\cos\pi k(2-d_6) - \cos\pi k(1+d_4)\end{matrix}\right]; \qquad (10)$$
$$VA_0 = 0{,}5(d_2-d_5)V_0\,;\ d_2 \in (0\div 1)\,;$$
$$d_5 \in (0\div 1)\,;\ k = 1,\ 2,\ 3,\ \ldots$$

Коммутационная функция (5) аппроксимируется тригонометрическим рядом Фурье

$$F_k(t) = FA_0 + \sum_{k=1}^{\infty} FA_k \cos k\omega t + \sum_{k=1}^{\infty} FB_k \sin k\omega t; \qquad (11)$$
$$k = 1,\ 2,\ 3,\ \ldots$$

Для управляющих функций (6), (7) выражения для FA_k, FB_k в (11) будут, соответственно, иметь вид

$$FA_k = FA1_k + FA2_k\,;\ FB_k = FB1_k + FB2_k\,;\ FA_0 = FA1_0 + FA2_0\,;$$
$$FA_k = FA1_k - FA2_k\,;\ FB_k = FB1_k - FB2_k\,;\ FA_0 = FA1_0 - FA2_0\,;$$

$$FA1_k = \frac{2}{T}\int_0^{0,5T} F_k(t)\cos k\omega t\ dt = \frac{2}{T}\sum_{h=0}^{N-1}\int_{0,5d_1T+a_h}^{0,5d_1T+b_h} \cos k\omega t\ dt =$$

$$= \frac{2}{\pi k}\sum_{h=0}^{N-1}\sin\frac{\pi k\gamma_h d_2}{2N}\cos\pi k\left[d_1 + \frac{d_2}{2N}(2h+1+c_{1h}-c_{2h})\right];$$

$$FA2_k = \frac{2}{T}\int_{0,5T}^{T} F_k(t)\cos k\omega t\ dt =$$

$$= \frac{2}{T}\sum_{h=0}^{N_1-1}\int_{0,5(1+d_4)T+a1_h}^{0,5(1+d_4)T+b1_h} \cos k\omega t\ dt = \frac{2}{\pi k}\sum_{h=0}^{N_1-1}\sin\frac{\pi k\gamma_h d_5}{2N_1}\cos\pi k \times$$
$$\times\cos\pi k\left[d_4 + \frac{d_5}{2N_1}(2h+1+c_{1h}-c_{2h})\right];$$

$$FB1_k = \frac{2}{T}\int_0^{0,5T} F_k(t)\sin k\omega t\ dt = \frac{2}{T}\sum_{h=0}^{N-1}\int_{0,5d_1T+a_h}^{0,5d_1T+b_h} \sin k\omega t\ dt =$$

$$= \frac{2}{\pi k}\sum_{h=0}^{N-1}\sin\frac{\pi k\gamma_h d_2}{2N}\sin\pi k\left[d_1 + \frac{d_2}{2N}(2h+1+c_{1h}-c_{2h})\right];$$

$$FB2_k = \frac{2}{T}\int_{0,5T}^{T} F_k(t)\sin k\omega t\ dt =$$

$$= \frac{2}{T}\sum_{h=0}^{N_1-1}\int_{0,5(1+d_4)T+a1_h}^{0,5(1+d_4)T+b1_h} \sin k\omega t\ dt = \frac{2}{\pi k}\sum_{h=0}^{N_1-1}\sin\frac{\pi k\gamma_h d_5}{2N_1}\cos\pi k \times$$
$$\times\sin\pi k\left[d_4 + \frac{d_5}{2N_1}(2h+1+c_{1h}-c_{2h})\right];$$
$$k = 1,\ 2,\ 3,\ \ldots;$$

$$FA1_0 = \frac{1}{T}\int_0^{0,5T} 1(t)\ dt = \frac{1}{T}\sum_{h=0}^{N-1}\int_{0,5d_1T+a_h}^{0,5d_1T+b_h} dt = \sum_{h=0}^{N-1}\frac{\gamma_h d_2}{2N};$$

$$FA2_0 = \frac{1}{T}\int_{0,5T}^{T} 1(t)\ dt = \frac{1}{T}\sum_{h=0}^{N_1-1}\int_{0,5(1+d_4)T+a1_h}^{0,5(1+d_4)T+b1_h} dt = \sum_{h=0}^{N_1-1}\frac{\gamma_h d_5}{2N_1};$$

$$a_h = \frac{(h+c_{1h})d_2T}{2N} = (h+c_{1h})T_h;$$

$$b_h = \frac{(h+1-c_{2h})d_2T}{2N} = (h+1-c_{2h})T_h;$$
$$T_h = \frac{d_2T}{2N} = \frac{d_5T}{2N_1};$$
$$a1_h = \frac{(h+c_{1h})d_5T}{2N_1} = (h+c_{1h})T_h;$$
$$b1_h = \frac{(h+1-c_{2h})d_2T}{2N_1} = (h+1-c_{2h})T_h;$$
$$\gamma_h = 1-c_{1h}-c_{2h},$$

где N, N_1 – количество импульсов на отрезке времени $0{,}5Td_2$ и $0{,}5Td_5$.

За счет выбора $F_k(t)$ осуществляются различные виды модуляции входной функции $f(t)$ и различные законы широтно-импульсного регулирования. При $\gamma_h = \text{const} \neq 1$ осуществляется многократная амплитудно-импульсная модуляция (АИМ) на отрезке времени $0{,}5Td_2$, а при $\gamma_h = 1$ – однократная. При $\gamma_h = \text{var}$ выходные импульсы *ТК* изменяются по длительности и огибаются в соответствии с $f(t)$. Следовательно, правомерно говорить об амплитудно-широтно-импульсной модуляции (АШИМ). Таким образом, изменяя γ_h, в соответствии с определенным законом возникают дополнительные возможности в формировании гармонического состава сигнала на выходе *ТК* по сравнению с АИМ.

При $f(t) = \text{const}$ организуется широтно-импульсная модуляция (ШИМ). В данном случае при $\gamma_h = \text{const} \neq 1$ осуществляется прямоугольно-широтная импульсная модуляция, при $\gamma_h = \text{var}$ – ШИМ с синусоидальным, трапецеидальным, треугольным и другими законами управления. Выбор управляющей функции зависит от вида преобразования энергии: выпрямление, инвертирование, регулирование и т. д., а значений $d_1 - d_6$ – от реализуемого закона управления. При $N = N_1$ происходит синхронная, а при $N \neq N_1$ – асинхронная модуляция.

Для однофазных мостовых выпрямителей

$$r = 1\,;\ U_0 = 0\,;\ \Delta U_m = U_m\,.$$

В качестве $V_y(t)$ рассматривается двухполярная управляющая функция (см. рис. 5).

Выражение для UA_n, UB_n в соответствии с [5] имеет вид

$$UA_n = 0{,}5U_m\left(FB_{1+n} + FB_{1-n}\right) \text{ при } n \neq 1\,;$$
$$UB_n = 0{,}5U_m\left(FA_{1-n} - FA_{1+n}\right) \text{ при } n \neq 1\,; \qquad (13)$$
$$FA_k = FA1_k - FA2_k\,;\ FB_k = FB1_k - FB2_k\,;$$
$$FA_0 = FA1_0 - FA2_0\,;$$
$$UA_1 = 0{,}5FB_2\,;\ UB_1 = FA_0 - 0{,}5FA_2\,;$$
$$UA_0 = \frac{U_m}{T}\int_0^T F_k(t)\sin\omega t\ dt\,;\ n = 2,\ 3,\ 4\ \ldots,$$

где $UA_0(d_2; d_5)$ – регулировочная характеристика управляемого однофазного выпрямителя.

Качественные показатели регулируемого напряжения и потребляемого тока определяются законом управления, видом модуляции и частотой квантования, т. е. числом *N*. Для симметричного управления ($d_1 = d_4 = d_3 = d_6$; $d_2 = d_5$; $2d_1 + d_2 = 1$), выражения для FA_k, FB_k в (11) примут вид

$$FA_k = \frac{2}{\pi k}\left\{\begin{matrix}\sum_{h=0}^{N-1}\sin\frac{\pi k\gamma d_2}{2N}\cos\left[\frac{\pi k}{2} - \frac{\pi k d_2}{2} + \frac{\pi k d_2}{2N}(2h+1)\right] + \\ +\sum_{h=0}^{N_1-1}\sin\frac{\pi k\gamma d_5}{2N_1}\cos\left[\frac{\pi k}{2} - \frac{\pi k d_5}{2} + \frac{\pi k d_5}{2N_1}(2h+1)\right]\end{matrix}\right\} =$$
$$= \frac{4}{\pi k}\left\{\sum_{h=0}^{N-1}\sin\frac{\pi k\gamma d_2}{2N}\sin\frac{\pi k}{2}\left[\sin\frac{\pi k d_2}{2}\cos\frac{\pi k d_2}{2N}(2h+1) - \cos\frac{\pi k d_2}{2}\times\right.\right.$$
$$\left.\left.\times\sin\frac{\pi k d_2}{2N}(2h+1)\right] = \frac{4}{\pi k}\left[\sin\frac{\pi k\gamma d_2}{2N}\sin\frac{\pi k}{2}\left(\sin\frac{\pi k d_2}{2}\frac{1}{2}\sin\pi k d_2 - \right.\right.\right.$$
$$\left.\left.\left. - \cos\frac{\pi k d_2}{2}\times\sin^2\frac{\pi k d_2}{2}\right)\left(\sin\frac{\pi k d_2}{2N}\right)^{-1}\right] = 0; \qquad (14)$$

$$FB_k = \frac{2}{\pi k}\left\{\sum_{h=0}^{N-1}\sin\frac{\pi k\gamma d_2}{2N}\sin\left[\frac{\pi k}{2}-\frac{\pi k d_2}{2}+\frac{\pi k d_2}{2N}(2h+1)\right]+\right.$$
$$\left.+\sum_{h=0}^{N_1-1}\sin\frac{\pi k\gamma d_5}{2N_1}\sin\left[\frac{\pi k}{2}-\frac{\pi k d_5}{2}++\frac{\pi k d_5}{2N_1}(2h+1)\right]\right\}=$$
$$=\frac{4}{\pi k}\left\{\sum_{h=0}^{N-1}\sin\frac{\pi k\gamma d_2}{2N}\sin\frac{\pi k}{2}\left[\cos\frac{\pi k d_2}{2}\cos\frac{\pi k d_2}{2N}(2h+1)+\sin\frac{\pi k d_2}{2}\times\right.\right.$$
$$\left.\left.\times\sin\frac{\pi k d_2}{2N}(2h+1)\right]\right\}=\frac{4}{\pi k}\sin\frac{\pi k\gamma d_2}{2N}\sin\frac{\pi k}{2}\left(\sin\frac{\pi k d_2}{2N}\right)^{-1}\sin\frac{\pi k d_2}{2};$$
$$k=2e+1;\ e=0,\ 1,\ 2,\ \ldots.$$

Выражения для UA_n, UB_n в (13) примут вид:

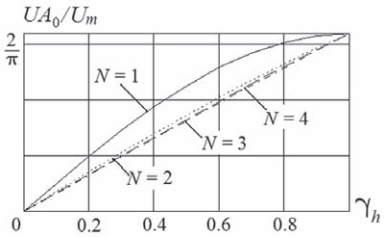
$$UA_n=\frac{2U_m}{\pi(1+n)}\sin\frac{\pi(1+n)d_2\gamma}{2N}\sin\frac{\pi(1+n)}{2}\times \qquad (15)$$
$$\text{-}\times\left[\sin\frac{\pi(1+n)d_2}{2N}\right]^{-1}+\frac{2\dot{U}_m}{\pi(1-n)}\times$$
$$\times\sin\frac{\pi(1-n)d_2\gamma}{2N}\sin\frac{\pi(1-n)}{2}\sin\frac{\pi(1-n)d_2}{2}\left[\sin\frac{\pi(1-n)d_2}{2N}\right]^{-1};$$
$$UB_n=0;\ n=2e;\ e=1,\ 2,\ 3,\ \ldots$$

Регулировочная характеристика примет вид

$$UA_0(d_2)=\frac{U_m}{T}\left[\sum_{h=0}^{N-1}\int_{0,5Td_1+a_h}^{0,5Td_1+b_h}\sin\omega t\ dt-\sum_{h=0}^{N_1-1}\int_{0,5T(1+d_4)+a1_h}^{0,5T(1+d_4)+b1_h}\sin\omega t\ dt\right]=$$
$$=0,5U_m FB_1=\frac{U_m}{\pi}\left\{\sum_{h=0}^{N-1}\sin\frac{\pi\gamma d_2}{2N}\sin\left[\frac{\pi}{2}-\right.\right.$$
$$\left.\left.-\frac{\pi d_2}{2}+\frac{\pi d_2}{2N}(2h+1)\right]+\sum_{h=0}^{N_1-1}\sin\frac{\pi\gamma d_5}{2N_1}\sin\left[\frac{\pi}{2}-\frac{\pi d_5}{2}+\frac{\pi d_5}{2N_1}(2h+1)\right]\right\}=$$
$$=\frac{2U_m}{\pi}\left\{\sum_{h=0}^{N-1}\sin\frac{\pi\gamma d_2}{2N}\cos\left[\frac{\pi d_2}{2}-\frac{\pi d_2}{2N}(2h+1)\right]\right\}=$$
$$=\frac{2U_m}{\pi}\left\{\sum_{h=0}^{N-1}\sin\frac{\pi\gamma d_2}{2N}\left[\begin{array}{l}\cos\frac{\pi d_2}{2}\cos\frac{\pi d_2}{2N}(2h+1)+\\+\sin\frac{\pi d_2}{2}\sin\frac{\pi d_2}{2N}(2h+1)\end{array}\right]\right\}=$$
$$=\frac{2U_m}{\pi}\sin\frac{\pi\gamma d_2}{2N}\sin\frac{\pi d_2}{2}\left(\sin\frac{\pi d_2}{2N}\right)^{-1}\approx\frac{2U_m}{\pi}\gamma\sin\frac{\pi d_2}{2}. \qquad (16)$$

На рис. 6, *а* и *б* представлены регулировочные характеристики при различных значениях N, d_2, а на рис. 7, *а* и *б* – частотные спектры, на рис. 8, *а* и *б* – графики высокочастотной части спектра во временной области. На рис. 9, *а* и *б* – зависимости коэффициентов $K_П$, $K_{П2}$, $K_{П4}$ от γ.

а)



б)

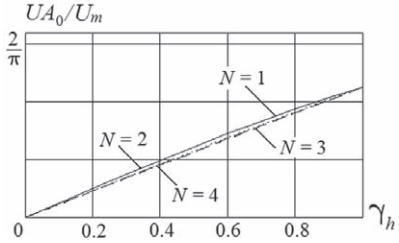
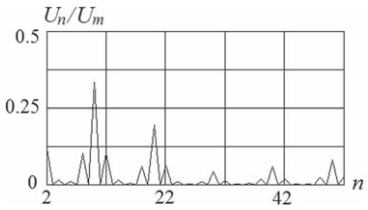


Рис. 6. ***Регулировочные характеристики: а – при d_2= 1; б – при d_2 = 0,5***

а)



б)

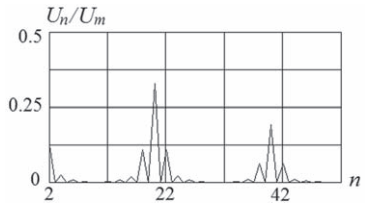
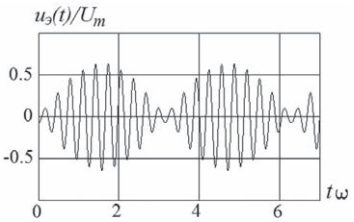


Рис. 7. ***Частотный спектр: а – при d_2= 1; γ = 0,3; N = 5; б – при d_2 = 1; γ = 0,3; N = 10***

а)



б)

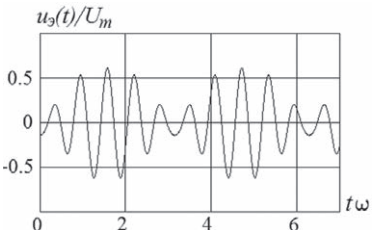
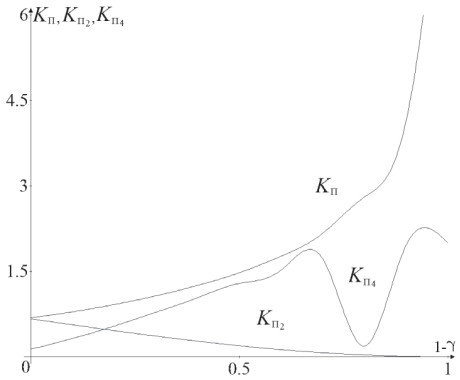


Рис. 8. ***График высокочастотной части спектра: а – при d_2 = 1; γ= 0,5; N = 10; б – при d_2 = 1; γ= 0,5; N = 5***

а)



б)

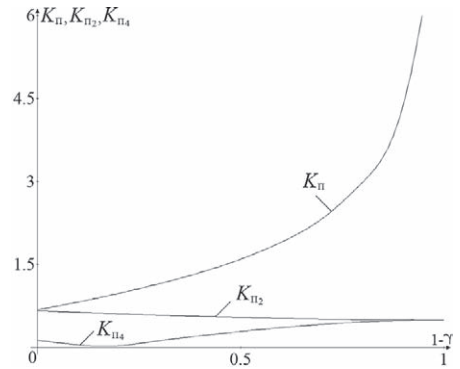


Рис. 9. ***Зависимости коэффициента пульсаций $K_П$ и коэффициентов пульсаций для 2 и 4 ($K_{П2}$; $K_{П4}$) гармоник от γ: а – при d_2= 1 и N = 2; б – при d_2 = 1 и N = 3***

ВЫВОДЫ

Качественные показатели регулируемого напряжения и потребляемого тока мостовых выпрямителей с импульсно-модуляционным управлением определяются законом управления, видом модуляции и частотой квантования, т. е. числом *N*.

С ростом частоты квантования повышается линейность регулировочных характеристик, улучшаются условия для фильтрации высокочастотных гармонических выходного напряжения выпрямителей, обеспечивается практически синусоидальное потребление тока из питающей сети.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Ефимов А. А., Шрейнер Р. Т.* Активные преобразователи в регулируемых электроприводах переменного тока. – Новгород: Изд-во НГТН, 2001. – 250 с.
2. *Розанов Ю. К., Рябчицкий М. В., Кваснюк А. А.* Силовая электроника. – М.: ИД МЭИ, 2007. – 631 с.
3. *Дмитриев Б. Ф., Ратников И. В., Лихоманов А. М., Розов А. Ю.* Анализ и синтез гармонического состава выходного напряжения регуляторов переменного тока в автономных системах электропитания с импульсной нагрузкой // Морской вестник. – 2012. – № 1. – С. 78–81.
4. *Лихоманов А. М.* Обратные задачи динамики в электромеханических системах. – СПб.: Изд-во Политех. ун-та, 2011.– 390 с.
5. *Заездный А. М.* Гармонический синтез в радиосвязи и электротехнике. – Л.: Энергия, 1972. – 572 с. ■

СИСТЕМЫ ОЧИСТКИ ВОЗДУХА СУДОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ И ОСВОЕНИЕ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ИХ ИЗГОТОВЛЕНИЯ В ООО «ВИНЕТА»

П.В. Наливкин, *начальник инженерного центра,*
И.В. Плещенков, *инженер-конструктор 1-й категории, ООО «Винета»,*
А.С. Витковский, *начальник сектора АО «Северное ПКБ»,*
контакт. тел. +7 (495)

Машиностроительное предприятие ООО «Винета» обладает двадцатилетним опытом производства изделий судового машиностроения из традиционных материалов, таких как углеродистые и коррозионностойкие стали, цветные сплавы на основе меди, титановые и алюминиевые сплавы.

С 2014 г. наше предприятие, учитывая современные тенденции развития судостроительной отрасли, начало планомерно осваивать изготовление изделий из слоистых композиционных материалов для нужд судостроения. В числе прочих проектов, реализованных на ООО «Винета» в области освоения композиционных материалов, необходимо осветить НИР «Облако», проведенную в рамках импортозамещения продукции фирмы Premaberg (Великобритания). Работа была выполнена в 2013–2014 гг. в инициативном порядке за счет собственных средств ООО «Винета» по обращению АО «Северное ПКБ».

В ней приняли участие специалисты ГНЦ ФГУП «Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н. Е. Жуковского». Целью работы явились испытание и проверка работоспособности устройств очистки воздуха (каплеуловителей) для газотурбинных и дизельных судовых энергетических установок (рис. 1).

Рис. 1. ***Испытание опытного натурного образца устройства очистки воздуха на стенде ГНЦ ФГУП «Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н. Е. Жуковского»***

Результатом НИР стала разработка конфигурации аэродинамического профиля, позволяющего достичь значительно более высокой степени очистки воздуха, чем у иностранных аналогов. Более широкий диапазон рабочих скоростей воздуха, от 4 до 10 м/с, обеспечивает более стабильную очистку воздуха, подаваемого на горение, в соответствии с ужесточившимися требованиями отраслевой нормативной документации. Этот результат является заслугой, прежде всего, специалистов ГНЦ ФГУП «Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н. Е. Жуковского» и лично начальника сектора АО «Северное ПКБ» А. С. Витковского.

Ниже приведены основные технические характеристики устройства очистки воздуха (УОВ), полученные в результате стендовых испытаний натурных образов в ГНЦ ФГУП «Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н. Е. Жуковского».

Основные технические характеристики УОВ-ЦАГИ

Параметр	Значение параметра
Очищаемая среда	Воздух
Скорость воздуха на входе, м/с	10
Гидравлическое сопротивление одной ступени очистки (основное исп. или исп. –01), Па, мм. вод. ст., не более	420 (42,8)
Гидравлическое сопротивление двух ступеней очистки (основное исп. и исп. –01), Па, мм. вод. ст., не более	920 (93,8)
Гидравлическое сопротивление фильтра-коагулятора (основное исп. и исп. –01), Па, мм. вод. ст., не более	300 (30)
Удельная пропускная способность на единицу площади, $м^3/1\ м^2$ в секунду	10
Содержание воды, песка, соли на входе, г/кг, не более	35
Предельно допустимое солесодержание воздуха на выходе, мг/кг	0,03
Размер частиц загрязнения на выходе, мкм, не более	3
Степень очистки загрязненного воздушного потока,%, не менее (при использовании двух ступеней)	99,96
Максимальная местная неравномерность поля скоростей на площади, не превышающей 5% от площади сечения воздушного канала,%, не более	10
Диапазон температур наружного воздуха, °С	–35...+50
Относительная влажность, при температуре +32 °С,%	100

По результатам НИР в ООО «Винета» проведена опытно-конструкторская работа, на основании которой создано устройство очистки воздуха для системы воздухоприема дизельной энергетической установки корабля пр. 22160 АО «Северное ПКБ». Первое изделие выполнено в одноступенчатом исполнении со сменными секциями из композиционного материала.

Также были разработаны технические условия на линейку изделий: «Устройства очистки воздуха судовых двигателей УОВ-ЦАГИ» (далее – сепараторы инерционные). Техническими условиями, разработанными на основе НИР «Облако», предусмотрено изготовление гаммы сепараторов инерционных в одно-, двух- и трёхступенчатом (с фильтром-коагулятором) исполнении, с размещением сменных секций в закрытом корпусе и в распашной крышке с размерами воздухоприемного канала до 2500 мм. Это позволяет изготавливать изделия под конкретные требования заказчика и технические характеристики применяемых энергетических установок, как дизельных, так и газотурбинных. В дальнейшем результаты НИР «Облако» станут основой для разработки и изготовления предприятием «Винета» перспективной продукции для нужд ВМФ РФ.

Принцип работы сепараторов инерционных основан на использовании инерции для отсева движущихся частиц разной массы в многофазной среде (в воздухе, загрязненном каплями воды и механическими примесями).

Конструкция изделий предполагает использование сложных геометрических профилей для формирования с их помощью воздушного канала заданного профиля. Устройства очистки воздуха работают в сложных условиях морской атмосферы. Это осложнило выбор подходящих конструкционных материалов, способных обеспечить длительную работу в данных условиях.

С учетом особенностей условий эксплуатации сепараторов инерционных в качестве материала для их рабочей части был выбран композиционный материал на полимерной матрице, а именно эпоксидный углепластик российского производства – поставляется АО «Препрег-СКМ».

Применение композиционного материала позволило значительно снизить массу изделия, исключить коррозию активных частей изделия в сравнении с применением традиционных материалов – алюминиевых сплавов.

В ходе работ над установочной партией сепараторов инерционных в ООО «Винета» были изготовлены сложная штамповая оснастка с электроподогревом, оснастка для сборки и склейки сменной секции. На предприятии освоен ряд новых технологий, а именно:

– технология прямого прессования (формования) сложно изогнутых деталей из препрега эпоксидного термоотверждаемого углепластика размерами до 1200 мм;

– технология сборки и склеивания конструкций из подобных деталей, а также их окраска.

Этапы изготовления устройств очистки воздуха для системы воздухоприема дизельной энергетической установки корабля пр. 22160 представлены на рис. 2–4.

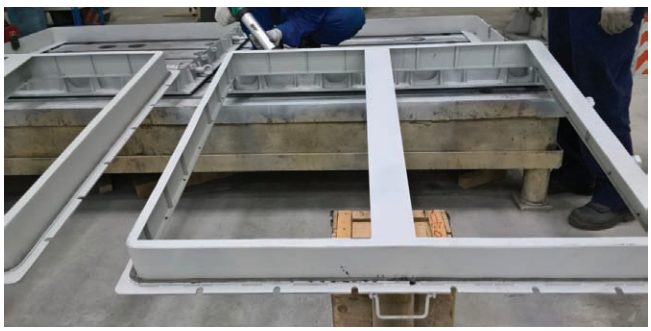


Рис. 2. ***Сборка металлического каркаса для сменных секций сепаратора инерционного***

Рис. 3. ***Собранные сменные секции готовы к окраске***

Рис. 4. ***Монтаж сепаратора инерционного на корабле пр. 22160, заказ 161, строящемся на АО «Зеленодольский завод им. А. М. Горького»***

В ходе освоения указанных технологий, ООО «Винета» приобретен опыт изготовления сложной прессовой оснастки, оснастки для сборки тонкостенных изделий из углепластика, который позволяет осуществлять новые проекты с применением композиционных материалов.

При реализации данного проекта была успешно решена задача импортозамещения оборудования иностранного производства, а также получены экспериментальные данные для создания новой продукции. ■

ИЗУЧЕННОСТЬ МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СОПЛОВЫХ АППАРАТОВ МАЛОРАСХОДНЫХ ТУРБИН

А. А. Юртаев, *аспирант,*
А. А. Юртаев, *аспирант,*
А. А. Семенихин, *аспирант,*
Д. И. Ибрагимов, *преподаватель, ФГБОУ ВПО ДФУ, Владивосток, контакт. тел. +7 (950) 293 4561, +7 (902) 506 0261*

В настоящее время турбинный привод имеет очень большое распространение в различных областях техники [1], в частности в работе [2] проанализированы области рационального применения осевых, центростремительных и центробежных турбин сверхмалой мощности с учетом их обобщенных характеристик.

Повышение эффективности микротурбин может быть достигнуто применением новых технических решений в области рабочего цикла [4] или конструкции проточной части сопловых аппаратов и рабочих колес [5]. При рассмотрении паровых турбин необходимо учитывать также конденсационные характеристики элементов их проточной части [6].

Оптимальное профилирование сопловых аппаратов несет в себе резерв повышения эффективности микротурбины. Оптимальное профилирование сопловых аппаратов (СА) заключается в нахождении совокупности геометрических и режимных параметров сопл, соответствующих максимальному значению коэффициента скорости [7], и определении угла выхода потока рабочего тела из СА [8]. Эффективность СА оказывает существенное влияние на эффективность работы турбины в целом. Исследованию процесса течения газа в СА сверхзвуковой турбины посвящен ряд работ [9–11 и др.]. В частности, согласно результатам исследований Николаевского кораблестроительного института, уменьшение коэффициента скорости газа в СА на 1% приводит к падению КПД ступени на 2%. Повышение коэффициента скорости на 1% позволяет увеличить мощность ступени на 1,33% [12]. При проектировании ступени турбины требуется знать угол выхода потока рабочего тела (РТ) из СА, так, как неверная оценка угла выхода потока РТ из СА приводит к неоптимальному профилированию рабочего колеса, следствием чего становится снижение КПД ступени [13].

Анализ литературных источников, касающихся методов исследования СА микротурбин [3], позволил выявить следующие подходы к определению параметров течения газа в межлопаточном канале СА.

В настоящее время не выявлена возможность аналитического решения задачи расчета течения газа в каналах СА при работающей ступени турбины [14]. В работе [15] было рассмотрено получение основного уравнения теории турбин и лопастных машин в пространственной постановке, за рабочее тело была принята жидкость.

Серьезные исследования в области компьютерной газовой динамики проводились в NASA Glenn research center начиная с 1947 г. [16] и в других зарубежных компаниях [17]. Численные методы расчета течения газа в каналах турбины были реализованы в ЦИАМе [18]. В настоящее время эти методы реализованы в пакетах программ Ansis, FLUENT, STAR-CD, NUMECA FINE, CFX, TASCflow и др. [19]. С использованием программного пакета FLOEFD был выполнен расчет истечения струи газа из конического сопла. Для реализации этих методов авторами были внесены допущения об отсутствии вязкости газа, что неприемлемо при исследовании микротурбин из-за малых размеров проточной части и не позволяет игнорировать толщину пограничного слоя, которая становится соизмеримой с размерами проточной части. Возможность оценки энергетической эффективности турбин сверхмалой мощности с использованием численных методов была рассмотрена в [21]. Анализ существующих численных методов показал, что на данный момент они не обладают достаточной точностью для определения газодинамических характеристик при расчете течения газа в соплах СА микротурбин [22]. Это связано не только с малыми размерами проточной части СА, но и со сложным режимом течения газа, его сверхзвуковыми скоростями, приводящими к турбулентному характеру потока. В настоящее время нет единой универсальной модели турбулентности для проведения подобных расчетов. Кроме этого, из-за малых размеров проточной части невозможно провести пневмометрические измерения для оценки результатов, полученных численным методом [23]. Как отмечено в работе [24], применение численного моделирования трехмерного течения рабочего тела в проточной части микротурбин перспективно, но при этом необходимо проанализировать полученные данные и сравнить их с результатами физического эксперимента с целю верификации метода исследований;

Экспериментальные методы дают наиболее достоверные результаты при исследовании СА микротурбин [8]. Они основаны на систематизации экспериментальных данных и получении математических зависимостей для целевых функций исследования, которыми являются различные газодинамические характеристики СА, принятые в среднеинтегральном виде [25]. Различные методы экспериментальных исследований сопл представлены в [14]. Существует экспериментальная установка, позволяющая определить импульс и момент количества движения потока газа непосредственно в условиях работающей ступени. В ходе ее работы было сделано заключение о возможности значительного повышения аэродинамической эффективности СА с помощью изменения значений углов стенок крайних сопловых каналов активной дуги [26].

Предложена методика исследования СА с применением окрашенного газа. При этом эксперимент проводится при отсутствии рабочего колеса, которое, вращаясь, стирает следы потока. В связи с этим для переноса результатов на реальную ступень микротурбины следует проводить дополнительные исследования.

Экспериментальные исследования сложных физических процессов, происходящих в ступенях микротурбин, ограничены из-за невозможности траверсирования потока в расчетных сечениях ступени [28]. Это следствие соразмерности приемных частей пневмометрических зондов и размеров проточных частей турбинных ступеней исследуемого класса.

Рекомендации по профилированию сопл сверхзвукового СА приведены в работе [8] и включают в себя следующие этапы: определение площади критического сечения СА; построение до звуковой части сопла; построение расширяющейся части сопла для заданных параметров РТ. Методы профилирования сопл СА рассмотрены в работах [29, 30]. Например, для оценки профильных потерь в венце осевой турбины предложено «новое» уравнение [31].

В случае дозвукового течения газа определяющим является профиль входного участка сопла, однако при сверхзвуковом течении особое внимание необходимо уделять профилированию

критического сечения и разгонного участка [32].

При исследовании СА встает вопрос выбора профиля сопл СА. Так как рассматривается класс микротурбин, работающих при ограниченном расходе РТ, подвод газа к рабочему колесу может осуществляться с традиционными соплами (>18°) и парциальным подводом [33] или соплами с малым углом выхода (<15°) (в этом случае применение осесимметричных сопл становится неприемлемым). В работах [14, 32] была обоснована необходимость применения прямоугольных сопл в случае малых углов выхода. В работе [34] также показано, что несимметричное профилирование сопл может привести к увеличению КПД турбины.

Характер течения газа в соплах СА традиционных турбин и микротурбин с точки зрения физики происходящих процессов должны быть идентичными. Однако стоит учитывать, что из-за малых размеров проточной части увеличивается относительная величина пограничного слоя, а из-за малых углов выхода сопл СА – градиент давления в каналах СА [8].

Для определения коэффициента скорости СА и угла выхода потока РТ из него при проектировании микротурбин необходимо иметь их математические модели, различающиеся режимными и конструктивными параметрами СА, рабочего колеса и ступени в целом [8]. При этом такие модели должны быть независимыми и управляемыми [25].

ЛИТЕРАТУРА

1. *Dongshuai Hu, Saili Li, Zheng Ya, Wang Jiangfeng, Dai Yiping.* Preliminary design and off-design performance analysis of an Organic Rankine Cycle for geothermal sources // Energy Conversion and Management.–2015.– Vol. 96.– P. 175–185.
2. *Калабухов Д. С.* К определению областей рационального применения осевых, центростремительных и центробежных турбин сверхмалой мощности по их обобщенным характеристикам // Изв. вузов: Машиностроение. – 2016. – № 9 (678). – С. 53–61.
3. *Соломахин Ю. В., Ханнанов А. М.* Методы исследования малорасходных турбин // Научное обозрение. – 2016. –№ 15.- с. 16–20.
4. *Агульник А. Б., Динь Т. З.* Расчетное исследование праметров ГТУ малой мощности на основе авиационных двигателей при «влажном» сжатии // Науч.-техн. вестник Поволжья. – 2013. – № 4. – С. 36–39.
5. *Kosowski K., Perycz S., Dzida M.* Economic analysis of the optimum velocity ratio of steam and gas turbine stages. American Society of Mechanical Engineers. // International Gas Turbine Institute // IGTI. –1989. – Vol. 4. – P. 397–403.
6. *Gribin V. G., Korshunov B. A., Tishchenko A. A.* A study of interchannel separation of moisture in nozzle cascades of turbines // Thermal Engineering (English translation of Teploenergetika). – 2010. – Vol. 57. – Iss.9. – P. 746–750.
7. *Motheau E., Mery Y., Nicoud F., Poinsot T.* Analysis and modeling of entropy modes in a realistic aeronautical gas turbine // Journal of Engineering for Gas Turbines and Power. – 2013. – Vol. 135. – Iss. 9.
8. *Фершалов Ю. Я.* Моделирование, анализ и совершенствование газодинамических характеристик судовых осевых сверхзвуковых малорасходных турбинных ступеней. – Дисс. на соискание уч. степени д-ра техн. наук / ДВФУ. – Владивосток: Изд. ДВФУ, 2015.
9. *Гринкруг Л. С.* Выбор параметров малорасходных сверхзвуковых турбин с большим относительным шагом лопаток рабочего колеса на основе экспериментальных и теоретических исследований. – Дисс. на соискание уч. степени канд. техн. наук / ЛПИ. – Л., 1985.
10. *Дейч М. Е.* Техническая газодинамика. – М.: Энергия, 1974. – 592 с.
11. *Дейч М. Е.* Техническая газодинамика. – М. –Л.: Госэнергоиздат, 1961. – 671 с.
12. *Щеколдин А. В. и др.* Исследование работы сверхзвуковых турбинных ступеней при низких отношениях скоростей U/C0 // Проблема совершенствования современных паровых турбин: Всесоюз. науч.-техн. конфер., Калуга. – 1972. – Вып. 183. – С. 156–166.
13. *Фершалов А. Ю.* Повышение эффективности рабочих колес судовых осевых малорасходных турбин. – Дисс. на соискание уч. степени канд. техн. наук / ДГТУ. – Владивосток, 2011.
14. *Фершалов Ю. Я., Сазонов Т. В.* Экспериментальные исследования сопел // Вестник инженерной школы ДФУ. – 2013. – № 1 (14). – С. 34–38.
15. *Подольский М. Е., Черенкова С. В., Иванова М. А.* Основное уравнение теории турбин и лопастных машин в пространственной постановке // Морские интеллектуальные технологии. – 2016. – Т. 1. – № 2 (32). –С. 95–101.
16. *Liou M.-S., Povinelli L. A.* Computational fluid dynamics: NASA Glenn research center's legacy and contributions // Journal of Aerospace Engineering. – 2013. – Vol.26.– Iss. 2. – P. 277–287.
17. *Majdalani J., Maicke B. A.* Explicit inversion of Stodola's area-Mach number equation // Journal of Heat Transfer. – 2011. – Vol. 133. –Iss. 7.
18. *Иванов М. Я., Нигматуллин Р. З.* Применение схемы Годунова высокого порядка для интегрирования уравнений Эйлера // Журнал вычислительной математики и математической физики. – 1987. – Т. 27. –№ 11. – С. 1725–1735.
19. *Годунов С. К., Забродин А. В., Иванов М. Я., Крайко А. Н., Прокопов Г. П.* Численное решение многомерных задач газовой динамики. – М.: Физматгиз. – 1976.
20. *Антипова М. С., Дядькин А. А., Запрягаев В. И., Крылов А. Н.* Компьютерное моделирование истечения холодной сверхзвуковой струи из конического сопла с использованием программного пакета floefd // Космическая техника и технологии. –2016. –№ 1 (12). – С. 5–11.
21. *Григорьев В. А., Калабухов Д. С., Радько В. М.* К вопросу об оценке энергетической эффективности турбин сверхмалой мощности по аппроксимационным моделям // Проблемы и перспективы развития двигателестроения: материалы докладов международ. науч.-техн. конфер., 2016, С. 87–89.
22. *Батурин О. В.* Совершенствование проточной части осевых авиационных турбин при их газодинамической доводке с помощью численных методов газовой динамики. – Дисс. на соискание уч. степени канд. техн. наук. – Самара, 2005. –240 с.
23. *Мухина С. Д.* Разработка критериального метода расчета профильных потерь в турбинных решетках. – Дисс. на соискание уч. степени канд. техн. наук. – Рыбинск. 2006. – 146 с.
24. *Паутов Д. В. Куклина Н. И., Гусельников М. Б., Раков Г. Л.* Исследование ступеней МРТ численными методами // Неделя науки СПбГП: Мат-лы науч.-практ. конфер. / Институт энергетики и транспортных систем. 2014, с. 65–68.
25. *Адлер Ю. П., Маркова Е. В., Грановский Ю. В.* Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. –М.:Наука, 1986.
26. *Кузнецов Ю. П., Чуваков А. Б.* Экспериментальная установка для исследования малоразмерных турбинных ступеней // Изв. вузов: Машиностроение. – 2013. №4. – С. 54.
27. *Химич В. Л., Кузнецов Ю. П.* Экспериментальное исследование сопловых лопаточных решеток осевых турбинных ступеней //Изв. вузов: Машиностроение. –2004. –№ 1. – с. 29–38.
28. *Смирнов М. В., Сайченко А. С., Забелин Н. А., Раков Г. Л.* Пути повышения эффективности малорасходных турбин с большим относительным шагом // Неделя науки СПбГП: Мат-лы науч.-практ. конфер. / Институт энергетики и транспортных систем, 2014, с. 54–56.
29. *Лашко В. А., Пассар А. В.* Концепции проектирования проточной части турбины комбинированного двигателя // Двигателестроение. – 2012. № 4. – С. 24–27.
30. *Емин О. Н., Зарицкий С. Н.* Воздушные и газовые турбины с одиночными соплами. – М.: Машиностроение, 1975. – 216 с.
31. *Батурин О. В., Попов Г. М., Батурин Н. В., Новикова Ю. Д.* Новое уравнение для оценки профильных потерь в венце осевой турбины // Проблемы и перспективы развития двигателестроения: Мат-лы докл. международ. науч.-техн. конфер, Самара, 2016, с. 122–123.
32. *Акуленко В. М.* Повышение эффективности сопловых аппаратов судовых осевым малорасходных турбин. –Дисс. на соискание уч. степени канд. техн. наук / ДВФУ. –Владивосток, 2013.
33. *Takada S., Sasao Y., Yamamoto S., Tanuta T.* Study on flange geometry of steam turbine partial admission stage using unsteady flow analysis. Nihon Kikai Gakkai Ronbunshu. /Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers. – 2012. – Part B. – Vol. 78. – Iss. 788. – P. 753–761.
34. *Вятков В. В., Томилина Т. В., Карелин Д. В., Ковалёв С. А.* Разработка конструктивных мероприятий, обеспечивающих снижение вторичных потерь в венцах газовой турбины// Омский научный вестник. – 2012. – № 2 (110). – С. 157–160. ■

ГРАЖДАНСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ МОРСКОГО БАЗИРОВАНИЯ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ МОНИТОРИНГА ВОДНЫХ БИОРЕСУРСОВ

Д.А. Кондратьев, *инженер,*
А.Г. Юрескул, *начальник научно-исследовательского центра,*
В.В. Каманин, *канд. техн. наук,*
гл. специалист научно-исследовательского центра,
Ю.Ф. Подоплёкин, *д-р техн. наук, проф., академик РАРАН,*
заслуженный деятель науки РФ, первый зам. ген. директора,
АО «Концерн «Гранит-Электрон»,
контакт. тел. (812) 271 6774

В настоящее время особое внимание уделяется работам, направленным на освоение арктического континентального шельфа, добычу минеральных, биологических и энергетических ресурсов. Для оценки состояния экосистемы, учета биоресурсов, контроля ледовой обстановки на путях перехода судов, ледяных полей проводят оперативный комплексный мониторинг морской поверхности и прибрежной обстановки, являющийся инструментом обеспечения экономической, продовольственной и стратегической безопасности РФ. Государственный мониторинг водных биоресурсов – часть государственного экологического мониторинга (государственного мониторинга окружающей среды). Учитывая многообразие задач рыбохозяйственной отрасли и других заинтересованных ведомств, а также большую информативность и актуальность пространственно-временных данных о морской и береговой обстановке и наблюдаемых объектах, система мониторинга на базе БПЛА может взаимодействовать с внешними системами различных заинтересованных ведомств и организаций.

Для определения задач гражданского применения БПЛА и уточнения требований к системе мониторинга водных биоресурсов в АО «Концерн «Гранит-Электрон» проведены экспериментальные исследования и анализ объектов водных биоресурсов, мониторинг которых можно проводить с использованием БПЛА. В настоящее время БПЛА используются для решения разнообразных военных и мирных задач, которые прежде решались с использованием пилотируемых самолетов и вертолетов, а также при дистанционном зондировании Земли из космоса [1, 2].

Характерными особенностями сырьевых ресурсов отрасли являются стохастичность их состояния, распределения и поведения, большая зависимость и уязвимость от состояния среды, биопродукционных процессов и антропогенных воздействий. Это, в свою очередь, предопределяет необходимость качественного и многоаспектного научного обеспечения отрасли, регулярных научно-исследовательских и поисковых работ, международного кооперирования в проведении комплексных экспедиций, накопления, обработки и обмена информацией, ведения мониторинга состояния среды и объектов промысла, осуществления научно обоснованной и эффективной охраны водных биоресурсов и рационального управления изъятием рыбы и морепродуктов.

Как известно, для оперативного точечного мониторинга на надводной акватории необходимо провести ряд подготовительных мероприятий – изучить и подготовить геопространственную информацию (поиск карты местности, определение координат области поиска), создать маршрут, подготовить измерительную аппаратуру БПЛА. Непосредственное выполнение исследования акватории разбивается на несколько задач: дистанционное пилотирование БПЛА либо контроль прохождения контрольных точек и соответствия траектории запланированной, а также контроль работы измерительного оборудования. На завершающем этапе анализируется информация, полученная во время выполнения исследования: изучение изображений аэрофотосъемки с целью определения объектов поиска, соотношение их с навигационными данными для определения их местоположения, что способствует повышению эффективности работ при мониторинге и разведке наводной акватории путем интеграции в единый контур управления автоматизированных систем диспетчеризации мониторинга морской обстановки.

Для решения описанных выше задач могут быть применены интеллектуальные системы поддержки и принятия решений (ИСППР). Один из возможных вариантов системы аэромониторинга представлен ниже (рис. 1).

Практическая ценность результатов определяется созданием многофункциональной системы мониторинга, позволяющей оперативно получать и обрабатывать поступающую информацию; расширением возможностей авиасъемки, увеличение достоверности данных распознавании объектов, увеличение оперативности подсчета с учетом интеллектуальной обработки данных и выработке управляющих команд.

Основные объекты мониторинга водных биоресурсов с использованием БПЛА и получаемые при этом данные приведены в табл. 1.

Далее рассмотрим более подробно особенности их мониторинга.

1. Приповерхностные скопления промысловых рыб. В ходе обработки данных съемки проводится анализ фотоматериалов на предмет обнаружения характерных пятен на поверхности моря (анализируется цвет, форма). После обнаружения возможных скоплений рыбы выполняется анализ видеоданных съемки на предмет изменения формы пятен во времени, расчет площади рыбных скоплений, а при наличии лидарных данных и расчет биомассы скоплений.

2. Морские млекопитающие: моржи, тюлени, белухи и др. При помощи тепловой съемки обнаруживаются теплые тюлени на холодном льду («горячие точки»), автоматически по сигналу с тепловизора они фотографируются фотокамерой высокого разрешения. При каме-

Таблица 1

Основные объекты мониторинга биоресурсов

Объект мониторинга	Получаемые данные
Приповерхностные скопления промысловых рыб	Цифровые фотографии, цифровые видеоматериалы, лидарные данные
Морские млекопитающие: моржи, тюлени, белухи и др.	Цифровые фотографии, цифровые видеоматериалы, файлы тепловизионной съемки
Прибрежные поля водорослей и других объектов аквакультуры	Цифровые фотографии, цифровые видеоматериалы, файлы тепловизионной съемки (при наличии технической возможности), лидарные данные по глубине
Скопления и пути миграции лососевых и других ценных пород рыб	Цифровые фотографии, цифровые видеоматериалы, файлы тепловизионной съемки, лидарные данные
Фитопланктон, растворенная органика, медузы	Цифровые фотографии, цифровые видеоматериалы, лидарные данные (при наличии технической возможности), данные забора проб воды при помощи БПЛА
Прозрачность и соленость поверхностного слоя воды	Лидарные данные (при наличии технической возможности), данные забора проб воды при помощи БПЛА

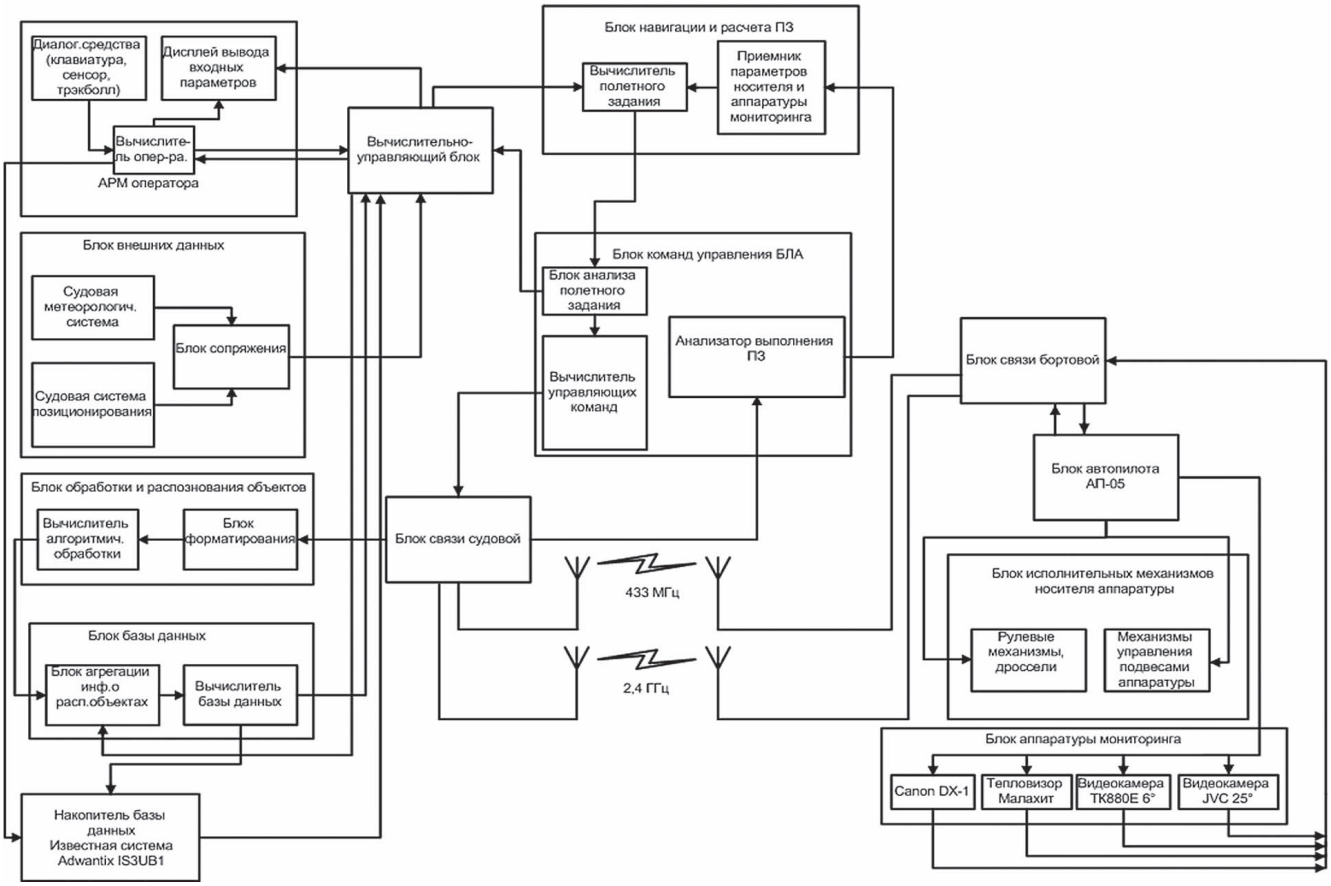


Рис. 1. ***Структурно-функциональная схема системы аэромониторинга***

ральной обработке по тепловизионным данным определяется количество животных, а по фотоснимкам – вид тюленей и их половозрастные характеристики. По видеоматериалам анализируется поведение животных, рассчитывается процент животных, сошедших в воду.

3. Прибрежные поля водорослей и других объектов аквакультуры. Аналитический этап обработки данных съемки включает в себя компьютерную обработку полученных материалов, статистический анализ по батиметрическому и пространственному распределению гидробионтов, составление статистических обобщающих отчетов по разрезам, типам побережья и в целом по съемке, статистическую обработку данных по фитоценозам (их экологические оптимумы локализации) и другие анализы.

4. Скопления и пути миграции лососевых и других ценных пород рыб. Над акваторией моря съемка и обработка проводятся аналогично п. 1. Над руслом нерестовых рек проводится температурная съемка поверхности воды в реке, подсчитываются нерестовые места.

5. Фитопланктон, растворенная органика, медузы. Цвет морской воды, регистрируемый датчиками, определяется главным образом содержанием в ней фитопланктона. Морской фитопланктон представляет значительный интерес ввиду его повсеместного распространения и большого значения в биологической продуктивности Мирового океана. Значительное скопление в поверхностном слое мельчайших морских организмов вызывает изменение его окраски, которое называют цветением моря. Часто наблюдается обильное цветение воды за счет развития фитопланктона, когда популяция достигает 108–1010 клеток на 1 л. Оно бывает красного, коричневого, желтого, молочно-белого и других цветов. Наблюдается цветение в виде обширных пятен или полос большой протяженности. Применение дистанционного зондирования для оценки концентрации фитопланктона в верхнем слое океана и его первичной продуктивности основана на оптических свойствах пигмента фитопланктона.

6. Прозрачность и соленость поверхностного слоя воды. Проводится анализ лидарных данных и данных забора проб воды в камеральных условиях. При дистанционном зондировании морской акватории лидар способен обнаруживать наличие косяков рыбы в приповерхностном слое моря; измерять прозрачность воды (показатель ослабления излучения); детектировать наличие нефтяной пленки на поверхности воды и хлорофилла фитопланктона в ней; измерять глубину дна на мелководье

При выполнении экспериментальных исследований и определении структуры и алгоритмов системы мониторинга была применена следующая аппаратура: на борту БПЛА в качестве полезной нагрузки использовалась аппаратура фотовидеофиксации в видимом и ИК-диапазонах; для получения изображения в видимом диапазоне спектра использовались камеры: VZA 740 HR752×582, объектив 3,6 мм; SPARKFUN CMOS IR MODULE 500×582 объектив 3,6 мм; HN-D322 VFIR с горизонтальным разрешением 720 точек, с вариофокальным объективом 2,8–12 мм., а также тепловизор GUIDE IR 312 C с неохлаждаемым микроболометром 384×288 точек, с углами 36–27°, работающий в длинноволновом ИК-диапазоне спектра 8–14 мкм. Видео- и фотоматериалы записывались на встроенный бортовой носитель информации. Примеры изображений, полученных при экспериментальных исследованиях, проиллюстрированы на рис. 2.

В процессе экспериментальных исследований с использованием БПЛА и установленной на него съемочной аппаратурой были выявлены недостатки, которые существенно влияют на возможность проведения комплексного мониторинга обстановки. Информация представлена разнородными и неупорядоченными данными, которые обрабатываются оператором после посадки БПЛА. Во время экспериментальных исследований БПЛА управлял оператор по радиоканалу связи между пультом управления и полетным контроллером, находящимся на борту БПЛА.

После посадки БПЛА материал извлекается с носителя для последующей

Рис. 2. ***Результаты съемки в видимом и ИК-диапазоне спектра***

обработки. Такой подход нельзя назвать оперативным, кроме того, он не позволяет проводить комплексный мониторинг заданной области с целью получения сведений об объектах и текущей обстановке. Система может функционировать в автономном режиме, но при необходимости, работа корректируется оператором удаленно, с наземного комплекса управления.

Для оптимизации работы системы важно построение оптимального полетного задания (ПЗ). Правильно сформированное ПЗ позволит осуществить мониторинг большей площади с учетом минимального перекрытия снимков поверхности. ПЗ должно выполняться в автономном режиме, для того чтобы оператор мог сконцентрироваться на получении информации от съемочной аппаратуры.

Телевизионная аппаратура, имеющая объектив с переменным фокусным расстоянием, осматривает передний сектор в пределах 46–60° по ходу движения БПЛА, и при необходимости для лучшего распознавания наблюдаемых объектов угол зрения уменьшается до 10–15° по команде оператора или по программе, заложенной в бортовой вычислительной машине [3]. Кроме того, в задаче оптимизации системы могут содержаться задачи распознавания объектов, геопривязки к карте местности, а также задача интеллектуальной обработки результатов мониторинга по алгоритмам которые смогут изменять сценарий мониторинга автоматически [6].

Основные задачи экспериментальной системы мониторинга:

- составление полетного задания;
- обеспечение полета по программе полетного задания в автоматическом режиме;
- передача информации на судовой комплекс мониторинга в реальном времени;
- геопривязка информации;
- определение возможности автоматического распознавание объектов;
- изменение режима мониторинга по сценарию поиска.

Для реализации автоматической работы системы мониторинга необходимо создание экспертной системы (ЭС) – специальной вычислительной системы, основанной на хранении, обобщении, анализе и оценке информации [4]. Интеллектуальное решение задачи мониторинга [5] основано на принципе воспроизведения знаний специалиста-оператора, упорядоченных в алгоритмы работы и распознавания.

Выполнение указанных задач возможно дооснащением БПЛА системой мониторинга водной поверхности [1], структура и алгоритм работы которой представлены на рис. 3.

Структура системы мониторинга подразумевает разделение на судовую и бортовую части. Судовая аппаратура представляет собой автоматизированную систему с вычислительно-управляющим блоком экспертной системы [4], работающей с базами данных исследуемых объектов, алгоритмами обработки изображений, выдающую команды на БПЛА по изменению полетного задания и корректировке параметров и положения аппаратуры мониторинга.

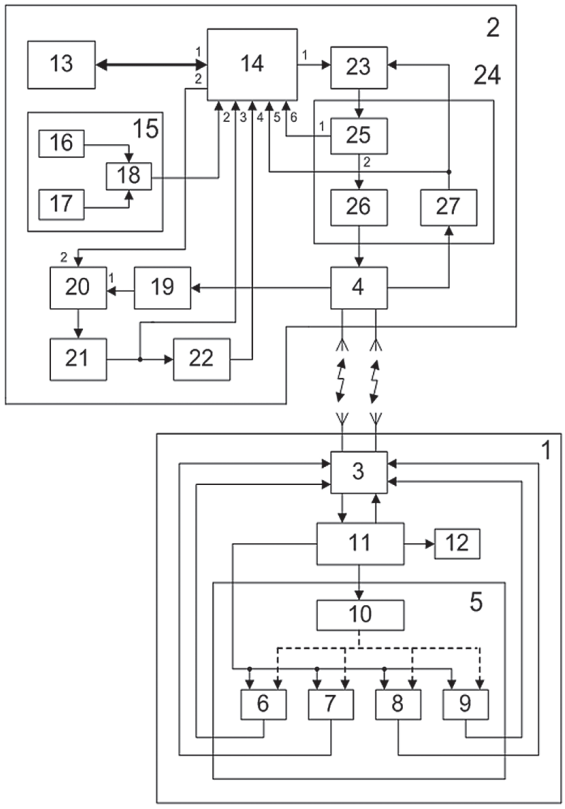


Рис. 3. ***Структура аппаратуры для экспериментальных исследований и алгоритм выполнения мониторинга водной поверхности***
1 – бортовая аппаратура; 2 – судовая аппаратура управления полетом и обработки результатов мониторинга; 3 – бортовой блок связи; 4 – судовой блок связи; 5 – блок устройств фото-видеосъемки: 6 – фотокамера; 7 – тепловизор: 8– широкоформатная видеокамера; 9 – узкоформатная видеокамера: 10 – блок механизмов управления подвесами устройств фото-видеосъемки; 11 – блок управления полетом, выполненный в виде автопилота, например, марки АП-05; 12 – блок исполнительных механизмов управления БЛА (рули, дроссели); 13 – пульт управления, выполненный на базе персонального компьютера со средствами ввода данных и монитором; 14 – вычислительно-управляющий блок; 15 – блок внешних данных; 16– судовая метеорологическая система; 17 – судовая навигационная система; 18– блок сопряжения; 19– блок форматирования, обработки и распознавания объектов; 20– блок агрегации информации о распознаваемых объектах; 21 – блок формирования базы данных и отчетов; 22 – накопитель базы данных; 23 – блок навигации и расчета ПЗ; 24 – блок формирования команд управления БЛА; 25 – блок анализа ПЗ; 26 – вычислитель управляющих команд; 27 – блок анализа выполнения ПЗ

Вычислительно-управляющий блок выполнен на базе многоядерной вычислительной машины высокой производительности, которая концентрирует или разделяет информационные потоки, в зависимости от условий задачи мониторинга [5].

Система комплекса мониторинга обеспечивает полет по программе в соответствии с подготовленным полетным заданием, определяется предварительным расчетом в приложении Matlab [6], с возможностью формирования автоматических изменений режима работы аппаратуры и ПЗ, а также по командам от наземного пункта управления. Программно-математическое обеспечение блока экспертной системы содержит основные правила и законы работы системы мониторинга, по которым происходит изменение полетного задания и корректировка режимов работы полезной нагрузки [7], в частности ее положения.

При выполнении ПЗ автоматически обеспечивается стабилизация углового положения, высоты, скорости, управление датчиками обзорно-прицельной системы, осуществляющей мониторинг земной (морской) поверхности. Интенсивность радиообмена между бортовым и наземным комплексом управления определяется составом задач, возлагаемых на каждый вылет БПЛА [8]. Содержание процесса обработки информации при применении БПЛА для эффективного мониторинга поверхности, например, можно представить в виде составляющих информационного процесса (табл. 2), реализуемых как на бортовом, так и на наземном комплексах управления.

Система позволяет использовать подход, основанный на автоматическом распознавании объекта. За оператором остается функция согласия с решением автоматики при одновременном контроле ситуации. Экспериментально установлено, что время, затрачиваемое на распознавание объекта в автоматическом режиме меньше, чем время распознавания оператором. Время, затрачиваемое оператором при работе с изображением от дневной телевизионной системы при площади объекта от 3 до 5 м, составляет до 4 с, а при работе с ИК-системой до 6 с, в то время как время реакции на распознавание и принятие решения в автоматическом режиме составляет 0,1–0,35 с [9].

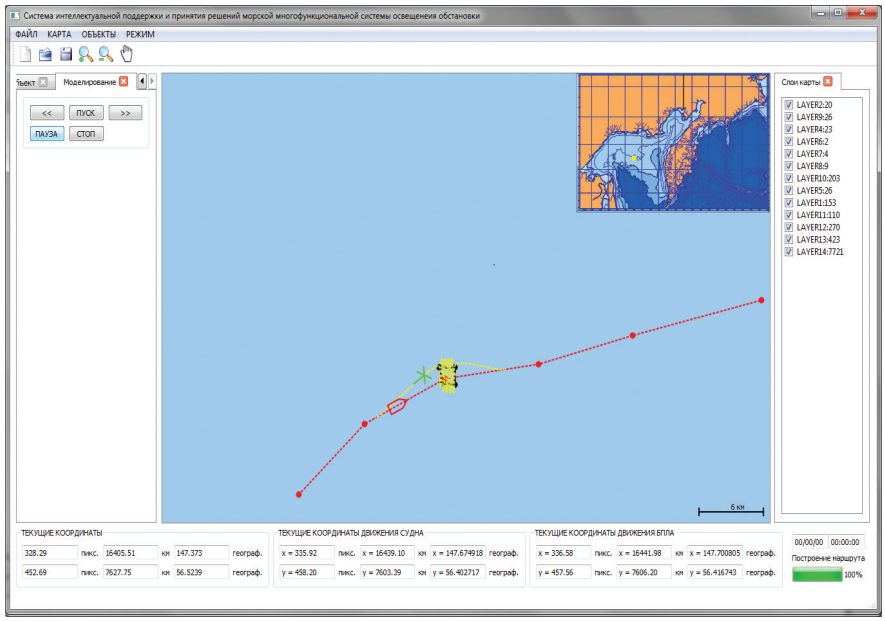


Рис. 4. ***Пример визуализации геоинформационной системы***

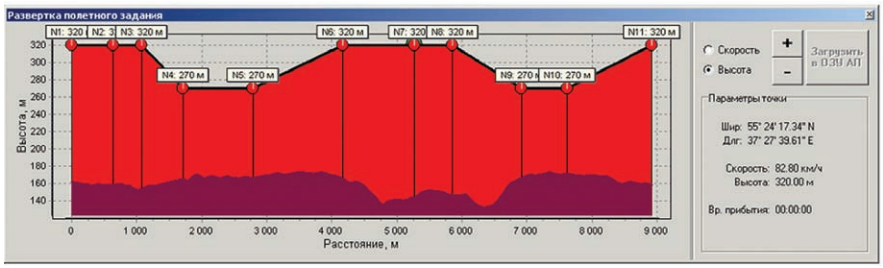


Рис. 5. ***Совмещенный профиль высот рельефа и полетного задания***

В режиме реального времени оператор имеет возможность получать информацию об объектах поиска сразу, а также контролировать состояние БПЛА и в случае возникающих проблем и неисправностей мгновенно реагировать на ситуацию. Процесс мониторинга текущей ситуации проиллюстрирован на рис. 4 и рис. 5.

На основании значений высоты полета БПЛА, высоты антенны радиомодуля и ограничения по дальности связи в свободном пространстве выполняется расчет зоны покрытия сигнала при мониторинге как в открытом море, так и вблизи берега (с учетом рельефа местности) для любой из точек полета БПЛА относительно маршрута судна (местоположения берегового пункта управления). На основании полученных исходных данных рассчитывается профиль полета по маршруту и качество съемки (разрешение) на каждом из участков. При этом вычисляются длина маршрута и общее время полета. С учётом энергетической емкости аккумулятора и расхода энергии при выполнении полета БЛА на каждом из его участков оценивается достаточность ресурса по всему маршруту (расчет точки невозврата). В случае недостаточности ресурса выдается соответствующее предупреждение. В этом же блоке на основании заданного времени вылета и рассчитанного общего времени полета БПЛА, а также маршрута движения судна выполняется расчет координат взлета и посадки летательного аппарата. Профиль полета и результаты расчетов отображаются на экране оператора.

Решение группы задач управления начинается с принятия решения о готовности БПЛА к приему полетного задания по радиоканалу [10]. В случае отсутствия радиоканала между радиомодулем и БПЛА полетное задание на борт переда-

Таблица 2

Составляющие информационного процесса обработки информации экспертной системой комплекса мониторинга

Процесс	Привязка реализации процесса	Содержание процесса
Управление ресурсами	Бортовой комплекс (БК), наземный комплекс (НК)	Автоматическое управление работой систем БПЛА, включая информационные датчики
Управление обработкой информации	БК, НК	Получение, обработка и отображение информации
Критическое управление	БК, НК	Поиск решений для управления комплексом мониторинга, при появлении нарушений в нормальной работе
Сетевое управление	НК	Распределение частотных каналов для реализации информационной связи между БК и НК
Программное управление	НК	Реализация полетного задания, пересчет маршрута
Организация интерфейса оператор-ВУБ	НК	Организация взаимодействия оператора с ВУБ, обеспечение ситуационной картины мониторинга

ется с помощью съемного носителя. При наличии радиосвязи полетное задание передается через радиомодуль [11].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Принципиальной особенностью будущих работ должна стать рациональная, научно и экономически обоснованная интеграция новых технологий сбора данных с применением БПЛА с традиционными системами сбора, обработки и представления информации в целях решения задач в области мониторинга биоресурсов.

С целью повышения эффективности мониторинга (в том числе при чрезвычайных ситуациях) наводной акватории и прибрежной (земной) поверхности целесообразно объединить в единый контур управления автоматизированные системы БПЛА и судна.

Внедрение экспертной системы в процесс мониторинга необходимо для автоматической обработки и обобщения данных признаков объектов мониторинга на фото-, видео- и тепловизионных снимков, поступающих от аппаратуры БПЛА, с целью дальнейшего автоматизированного анализа для получения полезной информации.

Сформированная структура и алгоритм функционирования системы мониторинга, позволят системе функционировать в автономном режиме и выполнять задачу освещения обстановки, и осуществлять оперативный точечный мониторинг.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Воробьева А.А.* Дистанционное зондирование Земли: Уч.-метод. пособие. – Изд. Министерства образования и науки РФ, Федерального агентства по образованию, Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики. –2012. – 74 с.
2. *Вакуловский С.М., Андреев Ф.А., Епифанов А.О., Малышев В.А., Новиченков А.В.* Радиометрический комплекс в составе самолета-лаборатории Як-42Д «Росгидромет». – Аппаратура и новости радиационных измерений, 2015, с. 27–29.
3. *Шаров С.Н.* Посадка беспилотных летательных аппаратов на суда: проблемы и решения. – СПб.: Судостроение, 2014. – 178 с.
4. *Кондратьев Д.А.* Организация интеллектуального модуля интегрированной многофункциональной информационно-управляющей системы//Корабельные и бортовые многоканальные информационно-управляющие системы: Науч.-техн. сб./ФНПЦ ОАО «Концерн «Гранит-Электрон». – 2014. – Вып. 21. – С. 26–27.
5. *Коржавин Г.А., Подоплекин Ю.Ф., Шаров С.Н.* Информационно-управляющие системы БПЛА // Изв. АЭН РФ. – 2010. – № 1 – С. 88–98.
6. *Кондратьев Д.А., Каманин В.В., Симановский И.В., Подоплёкин Ю.Ф.* Морская многофункциональная система целеуказания и освещения обстановки на базе беспилотных летательных аппаратов вертолетного типа // Морская радиоэлектроника. – 2016. –№ 1 (55). – С. 21–28.
7. *Кондратьев Д.А., Ипатов О.С.* Методы синтеза алгоритмов функционирования системы целеуказания и освещения обстановки на базе дистанционно-пилотируемых летательных аппаратов. – Матлы межрег. конфер. «Информационная безопасность регионов России (ИБРР–2015)», 2015, с. 16–17.
8. *Веремеенко К.К., Желтов С.Ю., Ким Н.В., Козорез Д.А., Красильщиков М.Н., Серебряков Г.Г., Сыпало К.И., Черноморский А.И.* Современные информационные технологии в задачах навигации и наведения беспилотных маневренных летательных аппаратов. – М.: Физматлит, 2009. – 552 с.
9. *Моисеев С.* Перспективы развития зарубежных боевых БЛА//Аэрокосмическое обозрение. – 2008. – № 1. – С. 16–17.
10. *Подоплёкин Ю.Ф., Шаров С.Н.* Системный анализ аппаратуры системы управления БПЛА судового базирования. – Вклад науч.-техн. общественности в развитие отечественного судостроения и укрепление обороноспособности России: сб. статей / НТО судостроителей. – СПб: Остров, 2008.
11. *Юрескул А.Г., Каманин В.В., Симановский И.В.* Беспилотные авиационные комплексы для мониторинга морской и наземной поверхности//Корабельные и бортовые многоканальные информационно-управляющие системы: Науч.-техн. сб. / Концерн «Гранит-Электрон». – 2010. – № 13.

МОДЕЛИРОВАНИЕ УПРАВЛЯЮЩИХ ДЕЙСТВИЙ ОПЕРАТОРА ПРИ РАБОТЕ С СЕНСОРНЫМ ЭКРАНОМ

В.В. Кобзев, *д-р техн. наук, проф., гл. науч. сотрудник,*
А.П. Чернёв, *инженер 1-й категории,*
АО «Концерн «НПО «Аврора»,
контакт. тел. (812) 610 1109

ВВЕДЕНИЕ

Широкое внедрение информационных технологий в практику создания систем управления корабельными техническими средствами (КТС), переход таких систем на функционирование в цифровом формате существенно изменили организацию деятельности операторов. Многочисленные и разнообразные моторные органы управления (ключи, кнопки, тумблеры и т. п.) заменены универсальной клавиатурой, а средства отображения информации – экраном.

В настоящее время наблюдается повсеместное применение сенсорных панелей управления, характерной особенностью которых является совмещение моторных органов и средств отображения в единое целое, т. е. мнемознак на видеокадре становится одновременно и органом управления, и средством отображения. В деятельностном плане моторные и сенсорные поля оператора совмещены. При этом возникают новые формы взаимодействия оператора с сенсорным экраном, оценить эффективность которых без разработки моделей управляющих действий практически невозможно.

Наиболее приемлемым для решения таких задач является аппарат функциональных сетей, который имеет более чем полувековой путь развития. В виде законченной теории он представлен в работе [1]. Дальнейшее развитие теория функциональных сетей получила в многочисленных публикациях, в том числе [2–5].

В предлагаемой статье решаются задачи определения специфики работы оператора с сенсорным экраном и разработки метода оценки эффективности взаимодействия «оператор–сенсорная панель».

ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛЕЙ РАБОТЫ ОПЕРАТОРА С СЕНСОРНЫМ ЭКРАНОМ

В качестве исходных рассмотрим фрагменты алгоритма «Ввод главного турбозубчатого агрегата (ГТЗА) в действие». Необходимо отметить, что фрагменты носят методический характер и не отражают реального положения с вводом ГТЗА на корабле.

Реализация фрагментов представлена в табл. 1.

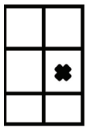
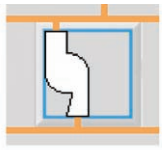
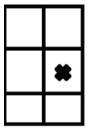
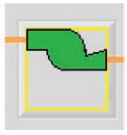
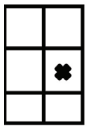
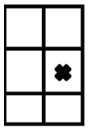
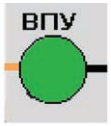
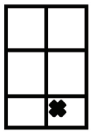
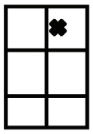
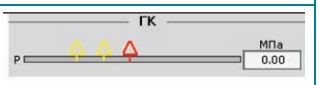
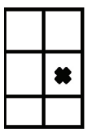
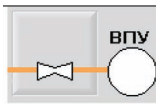
Анализ данных табл. 1 показывает, что управляющие действия оператора можно условно разделить на три группы: действия (поставить, включить, открыть и т. п.), контроль (контроль включения, проверка давления и т. п.) и изменение режима (поднять мощность, увеличить обороты и т. п.).

Модели, описывающие подобные действия оператора для обычных пультов управления, подробно описаны в целом ряде работ и, в частности, в [2–4]. В их основе лежит базовая модель деятельности (БМД) в виде вероятностного графа [5], представленная на рис. 1.

Вершины графа обозначены следующим образом: 3 – фиктивная входная вершина; 4 – начало выполнения рабочей операции; 5 (6) – безошибочное (ошибочное) выполнение рабочей операции и начало выполнения контроля; 1 (2) – безошибочное (ошибочное) окон-

Таблица 1

Фрагменты действий оператора по вводу ГТЗА

Задача	Видеокадр	Монитор	Действия оператора	Визуализация
1. Поставить масляный насос на автомат	Мнемосхема ПТУ		1. На мнемосхеме ПТУ выбрать мнемознак масляного насоса. 2. Нажать на кнопку мнемознака. 3. Проконтролировать нажатие кнопки. 4. Выбрать на ВК место, свободное от кнопок. 5. Сбросить ошибочные действия нажатием на свободное место. 6. Воспринять окно-меню: «ПУСК», «СТОП», «АВТ». 7. Выбрать кнопку «АВТ». 8. Нажать кнопку «АВТ». 9. Проконтролировать засветку контура кнопки и надписи синим цветом.	
2. Включить масляный насос ВПУ	Мнемосхема ПТУ		1. Нажать на мнемознак МН ВПУ, при этом рядом появится окно-меню с кнопками «ПУСК», «СТОП», «АВТ». 2. Нажать кнопку «Пуск». 3. Проконтролировать засветку мнемознака зеленым цветом	
3. Открыть клапан	Мнемосхема ПТУ		1. На мнемосхеме ПТУ выбрать мнемознак клапана. 2. Нажать на кнопку мнемознака. 3. Проконтролировать нажатие кнопки. 4. Выбрать на ВК место, свободное от кнопок. 5. Сбросить ошибочные действия нажатием на свободное место. 6. Воспринять окно-меню: «ОТКР», «ЗАКР», «АВТ». 7. Выбрать кнопку «ОТКР». 8. Нажать кнопку «ОТКР». 9. Проконтролировать засветку мнемознака зеленым цветом.	
4. Контроль включения ВПУ	Мнемосхема ПТУ		1. На мнемосхеме ПТУ выбрать мнемознак ВПУ. 2. Проконтролировать засветку мнемознака ВПУ зеленым цветом.	
5. Поднять мощность до заданной	ЗМО		1. На видеокадре ЗМО найти шкалу ЗМ (задача мощности). 2. Перемещая ползунок вдоль шкалы, установить заданное значение мощности. 3. Контролировать перемещение ползунка. 4. После перемещения ползунка в требуемое положение воспринять надпись на ползунке «ИСП» (кнопка «ИСП»). 5. Нажать кнопку «ИСП». 6. Контролировать изменение мощности по шкале виртуального ЗМО.	
6. Проверить давление в ГК	Основные ПТУ		1. Перевести взгляд на верхний монитор на БП пульта. 2. Проверить давление в ГК (отсутствие аварийно-предупредительных сигналов уставки параметра).	
7. Остановить ВПУ ГТЗА	Мнемосхема ПТУ		1. Перевести взгляд на монитор в БС пульта. 2. Нажать на мнемознак клапана, при этом рядом появится окно-меню с кнопками «ОТКР», «ЗАКР», «АВТ». 2. Нажать кнопку «ЗАКР». 3. Проконтролировать засветку мнемознаков клапана и ВПУ белым цветом.	

Здесь ПТУ – паротурбинная установка, АУ – автоматическое управление, ВПУ – валоповоротное устройство, ЗМО – задатчик мощности и оборотов, ГК – главный конденсатор, БП – блок приборный, БС – блок сигнализации, Основные ПТУ – гистограмма, ВК – видеокадр.

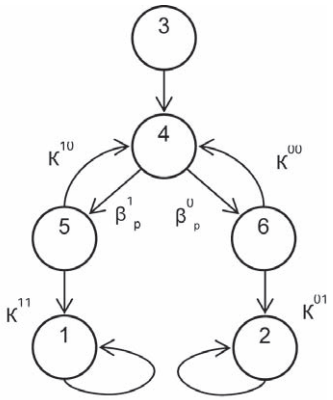


Рис.1. ***Вероятностный граф процесса «Работа–Контроль»***

чание выполнения процесса «Работа–Контроль».

Дуги графа имеют следующие характеристики: β^1_p (β^0_p) – вероятность безошибочного (ошибочного) выполнения рабочей операции; K^{11} (K^{10}) – вероятность того, что безошибочно выполненная рабочая операция признана безошибочной (ошибочной); K^{00} (K^{01}) – вероятность того, что ошибочно выполненная операция признана ошибочной (безошибочной); t_p и $t_к$ – среднее время выполнения операций P и K соответственно.

В случае обнаружения ошибки процесс «Работа–Контроль» повторяется.

Необходимо отметить, что дугам графа могут быть присвоены любые другие веса, а не только надежностные и временные характеристики.

Рассмотрим построение модели действий оператора по п. 1 табл. 1 «Поставить масляный насос (МН) на автомат».

Алгоритм постановки содержит следующие управляющие действия:

1. На мнемосхеме ПТУ выбрать мнемознак масляного насоса.
2. Нажать на кнопку мнемознака.
3. Проконтролировать нажатие кнопки.
4. Выбрать на видеокадре место, свободное от кнопок.

5. Нажать на пустое место (сброс ошибочных действий).

6. Воспринять окно-меню: «ПУСК», «СТОП», «АВТ».

7. Выбрать кнопку «АВТ».

8. Нажать кнопку «АВТ».

9. Проконтролировать засветку контура кнопки и надписи синим цветом.

Модель алгоритма постановки МН на АУ показана на рис. 2.

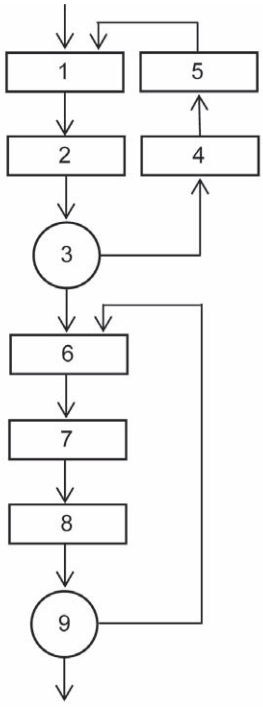


Рис. 2. ***Модель действий оператора по постановке МН на АУ***

1,4,6,7 – сенсорные рабочие операции,

2,5,8 – моторные рабочие операции,

3,9 – операции контроля.

Операция контроля состоит из двух операций: сенсорной операции восприятия и операции логического вывода типа «да-нет».

Если «нет», то необходим переход на повтор, что соответствует прерыванию процесса.

Алгоритм открытия клапана содержит аналогичные управляющие действия и модель действий (см. рис. 2).

Модель действий по п. 3 табл. 1 «Открыть клапан» аналогична рис. 2.

Алгоритм контроля включения ВПУ (п. 4 табл. 1) содержит следующие управляющие действия:

1. На мнемосхеме ПТУ выбрать мнемознак ВПУ.

2. Проконтролировать засветку мнемознака ВПУ зеленым цветом.

Модель действий по контролю включения ВПУ будет иметь вид, показанный на рис. 3:

1 – сенсорная рабочая операция,

2 – операция контроля (сенсорная операция восприятия засветки мнемознака и операция логического вывода типа «да-нет»).

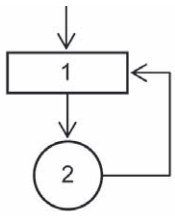


Рис. 3. ***Модель действий контроля***

Алгоритм увеличения мощности (п. 5 табл. 1) содержит следующие управляющие действия:

1. На видеокадре ЗМО найти шкалу ЗМ (задача мощности).

2. Перемещая ползунок вдоль шкалы, установить заданное значение мощности.

3. Контролировать перемещение ползунка.

4. После перемещения ползунка в требуемое положение воспринять надпись на ползунке «ИСП» (кнопка «ИСП»).

5. Нажать кнопку «ИСП».

6. Контролировать изменение мощности по шкале виртуального ЗМО.

Модель действий оператора по увеличению мощности показана на рис. 4.

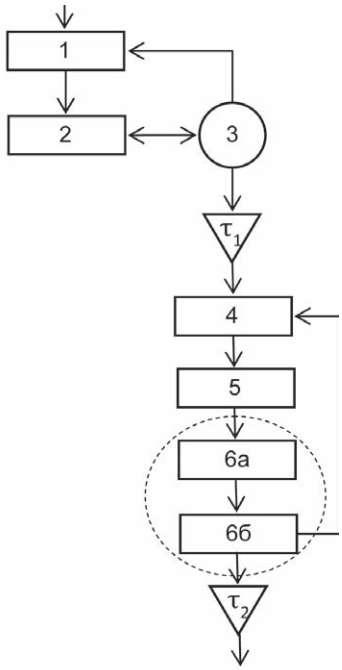


Рис. 4. ***Модель действий оператора по увеличению мощности***

1, 4 – сенсорные рабочие операции,

2, 5 – моторные рабочие операции,

3, 6 – операции контроля,

τ_1 – время перемещения ползунка,

τ_2 – время увеличения мощности.

Операции 2 и 3 – параллельно выполняемые операции с окончанием по последней.

АНАЛИЗ МОДЕЛЕЙ УПРАВЛЯЮЩИХ ДЕЙСТВИЙ ОПЕРАТОРА

Выше были представлены три вида моделей управляющих действий: модель действий, модель контроля и модель изменения режима, связанного с увеличением мощности. Все они имеют в своей основе вероятностный граф БМД (см. рис. 1).

Взаимодействие оператора с сенсорным экраном организовано таким образом, что он имеет возможность контролировать каждое свое действие. Это означает наличие в моделях обратных связей (см. рис. 2–4), охватывающих практически все операции алгоритма, что повышает надежность их реализации.

Соединение моторных и сенсорных операций на одном элементе видеокадра, например на мнемознаке, увеличивает оперативность управления. Некоторые операции имеют жесткую привязку друг к другу: нажатие кнопки мгновенно вызывает появление окна-меню, что предотвращает оператора от совершения ошибки в последовательности действий.

Управление изменением мощности и оборотов происходит с помощью виртуальных ползунков-указателей (слайдеров). При этом выполняется моторная операция перемещения ползунка и одновременно сенсорная операция контроля выставления заданного уровня мощности или оборотов. Временной период реализации параллельных операций определяется временем перемещения ползунка.

Принципиальным здесь является то, что дискретные действия оператора приобретают при этом аналоговый характер, а процесс их реализации – по сути, режимом слежения. В терминах теории управления данный режим можно представить в виде, показанном на рис. 5.

На этом рисунке: задающее воздействие – задача по увеличению мощности до заданной; ползунок –моторная операция перемещения ползунка; сектор ЗМ – часть видеокадра ЗМО (объект воздействия); шкала ЗМ – операция контроля по шкале ЗМ; $\hat{N}$ – заданный уровень мощности; $N_ф$ – фактический уровень мощности на шкале ЗМ; E_N – ошибка регулирования $(E_N = \hat{N} - N_ф)$.

В таком режиме ошибка оператора практически исключена, если не ограничивать число повторов.

Модели контроля имитируют сенсорные операции и в этом смысле являются классическими моделями процесса «Работа–Контроль». Процесс при этом не прерывается, увеличивается время его реализации за счет повторов.

Совмещение моторных и сенсорных полей деятельности оператора приводит к появлению параллельных операций, связи между которыми повышают надежность выполнения каждой из них.

Резюмируя вышесказанное, можно сделать вывод о том, что при работе с сенсорным экраном, благодаря увеличению надежности управляющих действий, ошибки будут выявляться и исправляться за счет повторов внутри алгоритма, т.е. у вероятностного графа БМД не будет исходов по дуге K^{01} (см. рис. 1).

УКРУПНЕНИЕ ВЕРОЯТНОСТНОГО ГРАФА С ПОМОЩЬЮ МАТРИЦЫ ИНЦИДЕНЦИЙ

Алгоритмы управления КТС имеют множество операций и представление их моделями теории функциональных сетей, показанных в п. 1, может носить громоздкий и необозримый вид. Свертка таких моделей выполняется с помощью метода укрупнения вероятностных графов на основе их представления матрицами инциденций.

Как уже отмечалось выше, при работе с сенсорным экраном, вероятностный граф будет иметь вид, показанный на рис. 6.

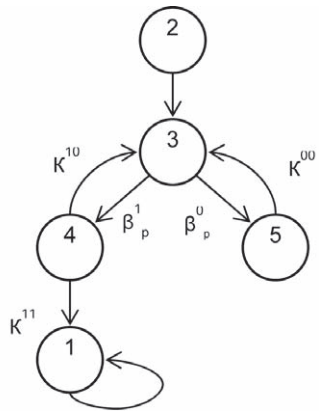


Рис. 6. ***Граф «Работа–Контроль»***

На рис. 6 приняты следующие обозначения: 2 – фиктивная входная вершина; 3 – начало выполнения рабочей операции управления; 4 и 5 – безошибочное (ошибочное) окончание рабочей операции и начало выполнения контроля; 1 – безошибочное выполнение комплекса «Работа–Контроль».

В отличие от базовой модели вероятностного графа в нашем случае нет исходов, связанных с дугой K^{01}, т. е. ошибочных исходов, признанных оператором безошибочными. Это, в свою очередь, требует корректировки метода укрупнения с учетом отмеченной специфики.

Предлагаемая корректировка состоит из следующего ряда операций [5, 6]:

1. Фрагмент процесса управления представляется в виде вероятностного графа.

2. Рассматривается произвольная вершина из множества вершин исходного графа. Если вершина с петлей, то осуществляется переход к операции 3. Если петли нет, то переходим к операции 4.

3. Удаляется петля и осуществляется переход к операции 4.

4. Удаляется промежуточная вершина и осуществляется переход к операции 5.

5. Если есть параллельные дуги, то переходим к операции 6. Если нет, то переходим к операции 7.

6. Объединяются параллельные дуги и переходим к шагу 7.

7. Если множество вершин пустое, переходим к операции 8. Если нет, то переходим к операции 1.

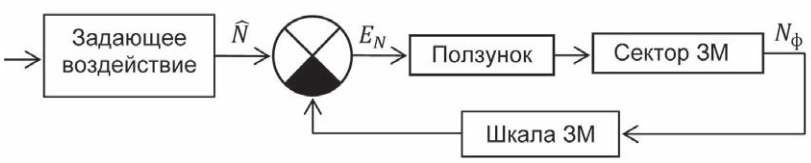


Рис. 5. ***Следящий режим увеличения мощности***

8. Записывается результат в виде весов дуг укрупненного графа.

Вершины графа (см. рис. 6) пронумерованы так, что на каждом шаге рассматривается вершина с большим номером.

В соответствии с рис. 6 исходная матрица инциденций будет иметь вид

$$\text{МИ}_1 = \begin{matrix}1\\2\\3\\4\\5\\6\\7\end{matrix}\begin{bmatrix}1 & 1 & 1 & 0\\ 2 & 3 & 1 & 0\\ 3 & 4 & \beta^1_p & t_p\\ 3 & 5 & \beta^0_p & t_p\\ 4 & 1 & K^{11} & t_к\\ 4 & 3 & K^{10} & t_к\\ 5 & 3 & K^{00} & t_к\end{bmatrix}. \qquad (1)$$

Первые два столбца – это матрица инциденций вероятностного графа, последние два столбца – характеристики комплекса «Работа–Контроль» (веса дуг); $t_р$ – время выполнения рабочей операции, $t_к$ – время выполнения контроля.

На первом шаге укрупнения удаляется вершина с большим номером по правилу 1. Это вершина – 5.

Правило 1. Запишем матрицу в общем виде:

$$\text{МИ} = \begin{bmatrix} a_1 & b_1 & \beta_1 & t_1\\ a_2 & b_2 & \beta_2 & t_2\\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots\\ a_n & b_n & \beta_n & t_n\end{bmatrix}, \qquad (2)$$

где a_i–вершина из которой исходит дуга; b_i– номер вершины, в которую входит дуга; β_i и t_i– вероятность и время выполнения операций.

Дугам сети, выходящим из вершины с номером i и входящим в эту вершину, на матрице МИ соответствуют такие строки, в которых элементы a_i и b_i столбцов равны i соответственно.

Далее:

1. В множествах $A = (a_1, a_2,.., a_n)$ и $B = (b_1, b_2,.., b_n)$найти подмножества $A_i \in A$ и $B_i \in B$, элементы которых равны i.

2. Определить номера строк матрицы МИ, в которых находятся элементы подмножеств A_i и B_i.

3. Образовать множество $C_i = A_i \times B_i$, состоящее из таких пар элементов (a_k, b_i), $a_k \in A_i$, $b_i \in B_i$, для которых $a_{k,} = b_i = i$.

4. Каждой паре $(a_k, b_i) \in C_i$ поставить в соответствие строку $(a_i \;\; b_k \;\; \beta_{ik}, t_{ik})$, где $\beta_{ik} = \beta_i \cdot \beta_k \; t_{ik} = t_i + t_k$.

5. Строки, найденные в шаге 2, заменить строками, полученными на шаге 4, оставив остальные строки матрицы МИ без изменений.

В итоге получаем матрицу

$$\text{МИ}_2 = \begin{matrix}1\\2\\3\\4\\5\\6\end{matrix}\begin{bmatrix}1 & 1 & 1 & 0\\ 2 & 3 & 1 & 0\\ 3 & 4 & \beta^1_p & t_p\\ 4 & 1 & K^{11} & t_к\\ 4 & 3 & K^{10} & t_к\\ 3 & 3 & \beta^0_p K^{00} & t_р + t_к\end{bmatrix}. \qquad (3)$$

На втором шаге удаляем вершину 4. Пользуясь правилом 1, заменяем строки 3–5 матрицы МИ_2 двумя новыми строками и получаем матрицу

$$\text{МИ}_3 = \begin{matrix}1\\2\\3\\4\\5\end{matrix}\begin{bmatrix}1 & 1 & 1 & 0\\ 2 & 3 & 1 & 0\\ 3 & 3 & \beta^0_p K^{00} & t_р + t_к\\ 3 & 1 & \beta^1_p K^{11} & t_р + t_к\\ 3 & 3 & \beta^1_p K^{10} & t_р + t_к\end{bmatrix}. \qquad (4)$$

На третьем шаге объединяем параллельные дуги-петли при вершине 3 по правилу 2.

Правило 2. Признаком параллельных дуг является наличие на МИ-матрице (2) строк, в которых элементы a_i и b_i столбцов попарно равны. Для объединения параллельных дуг используется следующий алгоритм:

2.1. Определить на матрице МИ множество строк типа

$$\begin{bmatrix} a_p & b_p & \beta_p & t_p\end{bmatrix};$$
$$\begin{bmatrix} a_r & b_r & \beta_r & t_r\end{bmatrix};$$
$$\vdots$$
$$\begin{bmatrix} a_s & b_s & \beta_s & t_s\end{bmatrix},$$

таких, что $a_p = a_r = \ldots = a_s$ и $b_p = b_r = \ldots = b_s$.

2.2. Множество строк, найденных на шаге 2.1, заменить одной строкой типа $\begin{bmatrix} a_\beta & b_\beta & \beta^*_\beta & t^*_\beta\end{bmatrix}$,

где $\beta^*_\beta = \beta_p + \beta_r + \ldots + \beta_s;$

$$t^*_\beta = \frac{1}{\beta^*_\beta}\left(\beta_\beta t_\beta + \beta_r t_r + \ldots + \beta_s t_s\right). \qquad (5)$$

Остальные строки матрицы не меняются.

Заменяя строки 3 и 5 матрицы МИ_3 (4) одной новой строкой, получаем матрицу

$$\text{МИ}_4 = \begin{matrix}1\\2\\3\\4\end{matrix}\begin{bmatrix}1 & 1 & 1 & 0\\ 2 & 3 & 1 & 0\\ 3 & 1 & a & t_{pk}\\ 3 & 3 & b & t_{pk}\end{bmatrix}, \qquad (6)$$

где $a = \beta^1_p K^{11}$; $b = \beta^1_p K^{10} + \beta^0_p K^{00}$; $t_{pk} = t_p + t_k$ или $t_{pk} = M\left(T_p\right) + M\left(T_k\right)$.

На четвертом шаге удаляем дугу-петлю при вершине 3 по правилу 3.

Правило 3. Признаком дуги-петли при вершине с номером i на матрице МИ является строка, в которой элементы a_i и b_i столбцов совпадают. Дугам, выходящим из вершины i, соответствуют строки, в которых элементы a_i столбца равны i.

Для удаления дуги-петли используется следующий алгоритм:

3.1. Определить строку $[a_i \quad b_i \quad \beta_i \quad t_i]$, в которой $a_i = b_i = l$.

3.2. Заменить строку, найденную на шаге 3.1, парой новых строк:

$$[a_i \quad b_i+1 \quad \beta_i^* \quad t_i^*];$$
$$[b_i+1 \quad b_i+1 \quad 1 \quad 0],$$

где $\beta_i^* = (\beta_i)^L$; $t_i^* = Lt_i$; L–число повторений рабочей операции.

Первая из этих строк соответствует дуге, направленной из вершины с номером a_i во вновь образованную поглощающую вершину с номером $b_i + 1$ (прерывание процесса); вторая строка соответствует петле при новой поглощающей вершине.

3.3. Определить множество строк

$$\begin{bmatrix} a_j & b_j & \beta_j & t_j \end{bmatrix};$$
$$\begin{bmatrix} a_k & b_k & \beta_k & t_k \end{bmatrix};$$
$$\vdots$$
$$\begin{bmatrix} a_l & b_l & \beta_l & t_l \end{bmatrix},$$

где $a_j = a_k = \ldots = a_l = i$, но $a_j \neq b_j$, $a_k \neq b_k, \ldots, a_l \neq b_l$.

3.4 Каждую из строк, найденную на шаге 3.3, заменить строкой типа $\begin{bmatrix} a_j & b_j & \beta_j^* & t_j^* \end{bmatrix}$,

где $\beta_j^* = \beta_j \dfrac{1-(\beta_j)^L}{1-\beta_j}$;

$$t_j^* = t_j + \beta_j t_j \left[\frac{1}{1-\beta_j} - \frac{L(\beta_j)^L}{1-(\beta_j)^L} \right], \qquad (7)$$

где индекс j принимает значения $i, k, \ldots, l$.

Заменяя строки 3,4 матрицы $МИ_4$ четырьмя новыми строками, получаем:

$$МИ_5 = \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \end{matrix} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 \\ 2 & 3 & 1 & 0 \\ 3 & 1 & a\theta_1 & t_{pk}(1+b\theta_2) \\ 3 & 4 & b^L & Lt_{pk} \\ 4 & 4 & 1 & 0 \end{bmatrix}, \qquad (8)$$

где $\theta_1 = (1-b^L)/(1-b)$; $\theta_2 = \dfrac{1}{1-b} - \dfrac{Lb^{L-1}}{1-b}$.

На пятом шаге удаляем вершину 4 по правилу 1:

$$A_4 = (a_3, a_4, a_5), \; B_3 = (b_2);$$
$$A_4 \times B_3 = (a_3, b_2), (a_4, b_2), (a_5, b_2). \qquad (9)$$

Строки 2–5 заменяем тремя строками и получаем укрупненную матрицу

$$МИ_6 = \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \end{matrix} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 \\ 2 & 1 & a\theta_1 & t_{pk}(1+b\theta_2) \\ 2 & 4 & b^L & Lt_{pk} \\ 4 & 4 & 1 & 0 \end{bmatrix}. \qquad (10)$$

Определим физический смысл выражений, записанных в строках матрицы $МИ_6$. Строка 2 соответствует безошибочной реализации комплекса «Работа–Контроль»: $\beta_{рк}^1 = \beta_р^1 \cdot K^{11}$.

Вероятность прерывания комплекса $b = \beta_р^1 K^{10} + \beta_р^0 K^{00}$.

Предельная вероятность безошибочной реализации при числе повторений $L \to \infty$ будет иметь вид

$$a\theta_1 = a\frac{1-b^L}{1-b} = a\frac{1}{1-b} = \frac{\beta_р^1 K^{11}}{1-(\beta_р^1 K^{10} + \beta^0 K^{00})},$$

т.е. условные вероятности не зависят от числа повторений [4].

При повторении основной процесс прерывается и повторяется предыдущая операция (операции). Это происходит по двум причинам: оператор признал безошибочно выполненную операцию ошибочной $(\beta_р^1 K^{10})$ или определил ошибку и повторил операцию $(\beta_р^0 K^{00})$.

В реальных условиях управления техническими средствами оператор не может бесконечно повторять ошибочно (безошибочно) выполненную операцию. Условимся считать, что операция повторяется один раз и при этом новые ошибки не вносятся, а время безошибочной реализации $t_{рк} = t_р + t_к$ или $M[T_{рк}] = M(T_р) + M(T_к)$. .

В результате укрупнения вероятностный граф «Работа–Контроль» сведется к одной вершине и будет иметь следующие финальные характеристики:

– вероятность безошибочной реализации

$$\beta_{рк}^1 = \frac{\beta_р^1 K^{11}}{1-(\beta_р^1 K^{10} + \beta_р^0 K^{00})}; \qquad (11)$$

– время реализации

$$t_{рк} = t_р + t_к$$
$$\text{или } M[T_{рк}] = M(T_р) + M(T_к); \qquad (12)$$

– вероятность прерывания процесса

$$b = \beta_р^1 K^{10} + \beta_р^0 K^{00}. \qquad (13)$$

– время прерывания процесса определяется выражением

$$t_п = t_к + t_в + t_с, \qquad (14)$$

где $t_п$ – время прерывания; $t_в$ – время выбора места, свободного от кнопок; $t_с$ – время сброса.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе проведен анализ взаимодействия оператора с сенсорным экраном и выявлены специфические особенности такого взаимодействия. К ним прежде всего относятся: совмещение моторных и сенсорных действий на одном управляемом элементе за счет совмещения моторного и сенсорного полей деятельности оператора; появление параллельных операций при реализации алгоритмов управления; пооперационный контроль действий оператора на основе формирования обратных связей; «привязка» операций друг к другу за счет программной реализации их логической последовательности; появление фрагментов аналого-следящего вида деятельности при использовании слайдеров. Все перечисленные факторы способствуют повышению надежности деятельности корабельных операторов как по линии обнаружения и исключения ошибок, так и за счет повышения оперативности управления. В частности, доказано исключение исходов по дуге K^{01}, т.е. ошибочных переходов к другим алгоритмам управления с невыявленными ошибками. Все специфические особенности отражены и выявлены с помощью математических моделей, построенных в классе функциональных сетей [4].

Поскольку модели сложных алгоритмов управления КТС имеют громоздкий вид, разработан модифицированный метод укрупнения вероятностного графа с помощью матрицы инциденций.

В работе рассмотрены веса дуг в виде характеристик безошибочности и времени реализации управляющих действий оператора. В качестве весов дуг вероятностного графа могут использоваться и другие характеристики.

Целью моделирования работы оператора является получение количественных характеристик (эффективности, надежности, своевременности и т.д.), позволяющих решать целый ряд практических задач: соответствие системы управления заданным требованиям по надежности, сравнение вариантов взаимодействия «оператор-пульт управления», разработка требований к профессиональному уровню оператора и т.п.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Губинский А.И.* Надежность и качество функционирования эргатических систем. – Л.: Наука, 1982. – 270 с.
2. *Кобзев В.В., Дмитриева Е.С., Зима Е.С., Зуев К.В.* Модели взаимодействия оператора с органами управления и средствами отображения информации//Системы управления и обработки информации: Науч.-техн. сб./АО «Концерн «НПО «Аврора». СПб. – 2008. – Вып. 16. – С. 118–122.
3. *Кобзев В.В., Чернёв А.П.* Унификация видеокадров по способам отображения информации и алгоритмам работы операторов//Системы управления и обработки информации: Науч.-техн. сб./АО «Концерн «НПО «Аврора». СПб. – 2017. – Вып. 2 (37). – С. 61–71.
4. *Кобзев В.В., Шилов К.Ю.* Методы создания технических средств обучения корабельных операторов.– СПб.: Наука, 2005.– 156 с.
5. *Ротштейн А.П., Кузнецов П.Д.* Проектирование бездефектных человеко-машинных технологий. – Киев: Техника, 1992. – 180 с.
6. *Байцер Б.* Архитектура вычислительных комплексов. – М.: Мир, 1974.–Т. 1. – 498 с.

МЕТОД ТОЧНОГО СОПРОВОЖДЕНИЯ ПО УГЛУ МЕСТА НИЗКОЛЕТЯЩЕЙ ЦЕЛИ В УСЛОВИЯХ ИНТЕРФЕРЕНЦИИ

В.А. Горнаков, *капитан 2 ранга, адъюнкт ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия»,*
В.Р. Лошаков, *канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник НИЦ РЭВ и ФИР НИИ ОСИС ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия»,*
контакт. тел. + 7 (905) 232 7946, + 7 (904) 550 3078

Наличие зеркального отражения от морской поверхности вносит существенные ошибки в измерение малых углов места цели [1–3]. На апертуре антенны складываются два фронта электромагнитной волны. Один приходит с направления от цели, а другой – из точки зеркального отражения морской поверхностью. Разность фаз этих волн зависит от разности длин прямого и зеркально отраженного луча. В таких условиях ошибки измерения угла места могут достигать значения три четверти ширины диаграммы направленности антенны (ДНА) по уровню –3 дБ.

Чаще всего угол на цель измеряется либо по максимуму сигнала, принимаемого антенной с остронаправленной диаграммой направленности, либо с помощью суммарно-разностных диаграмм [4, 5]. И в том и в другом случае измеряется направление фронта прихода результирующей волны. Влияние ДНА на точность измерения обуславливается тем, что ДНА меняет соотношение между амплитудами прямого и отраженного сигналов. С одной стороны, узкая ДНА может уменьшить амплитуду отраженного сигнала и уменьшить ошибку, а с другой – может и уменьшить амплитуду прямого сигнала, тогда результатом измерения может быть угол зеркального отражения цели.

На рис. 1 показан результат моделирования процесса измерения угла места *fm_01* с помощью суммарной ДНА в зависимости от его истинного значения *ft_01*. Ширина ДНА по уровню –3дБ равна 5,8°. Высота морской волны – 0,1 м. Форма ДНА принималась $\sin(x)/x$.

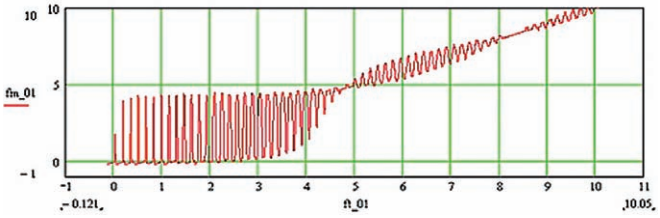


Рис. 1. ***Измерение угла места суммарной диаграммой***

Чаще всего при измерении угла места используются суммарно-разностные ДНА [2]. Это можно объяснить простотой их формирования и простотой обработки сигналов. Измерение с помощью суммарной диаграммы требует ее установки не менее чем в двух положениях вокруг измеряемого значения. Любое сканирование требует дополнительных затрат времени и, кроме того, снижает точность измерения из-за флюктуаций условий распространения и отражения от цели за время между зондированиями с разным расположением диаграмм. Использование цифровых приемных решеток позволяет одновременно формировать несколько приемных диаграмм. В таком случае использование суммарных диаграмм представляется предпочтительнее. Суммарные диаграммы одновременно с измерением угла могут использоваться для обнаружения цели. Кроме этого, суммарные диаграммы обеспечивают меньшие ошибки измерения. Это объясняется тем, что уровень боковых лепестков суммарных диаграмм меньше и спадают по углу они быстрее, чем у разностных ДНА. Тем самым отраженный морем сигнал сильнее уменьшается суммарной диаграммой, и ошибки становятся меньше.

Эффект, приводящий к резкому снижению ошибок измерения суммарной ДНА в областях 4,8° и 8,3° (см. рис. 1), состоит в следующем: когда прямой и отраженный лучи находятся внутри главного лепестка ДНА (рис. 2, *а*), ошибки измерения соответствуют ошибкам, рассчитанным по направлению фронта волны результирующего сигнала. Если прямой луч принимается основным лепестком ДНА, а отраженный – боковым (рис. 2, *б*), изменение в небольших пределах положения ДНА в одинаковой степени изменяет амплитуды прямого и отраженного сигналов. Поэтому вне зависимости от разности фаз между прямым и отраженным лучами максимум сигнала будет соответствовать направлению основного лепестка на цель.

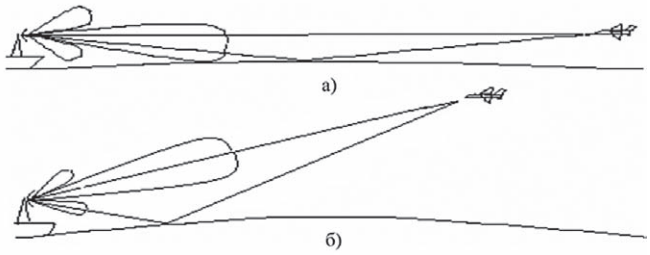


Рис. 2. ***Прием РЛС зеркально отраженного сигнала: а – главным лепестком ДНА; б – боковым лепестком ДНА***

Ситуация, соответствующая рис. 2, *б* напрямую не может быть использована при измерениях. В то же время возможно сформировать специальную диаграмму (или совокупность диаграмм), позволяющую скомпенсировать влияние отраженного луча на точность измерения угла места.

W.D. White предложил использовать комбинацию разностных диаграмм [1]. Подобные диаграммы применяются, в том числе, в РЛС 5П-10Э и показывают хорошую эффективность. В [5] описан метод, предполагающий использование четырех парциальных диаграмм, формируемых отдельным диаграммообразующим устройством в специальным образом расположенных субаппертурах антенны. Это требует дополнительных аппаратных затрат и не всегда может быть реализовано в условиях дефицита пространства при размещении РЛС на корабле.

Предлагаемый метод точного сопровождения по углу места основан на использовании специальных суммарных диаграмм на прием – узкой *1* и широкой *2* (рис. 3). Принципиальных требований к диаграммам три: соосность, симметричность и монотонность (в пределах главного лепестка узкой диаграммы) изменения отношения усиления приемных диаграмм при удалении от их оси. Оси диаграмм направлены по линии *5*, проходящей посередине между направлением на цель *3* и направлением на ее зеркальное отражение *4* от поверхности моря *6*. Если коэффициенты усиления в максимумах диаграмм равны, то отношение или нормированная разность между сигналами, принятыми широкой *a1* и узкой *a2* диаграммами будет зависеть только от угла между направлением на цель *3* и направлением на ее зеркальное отражение *4*.

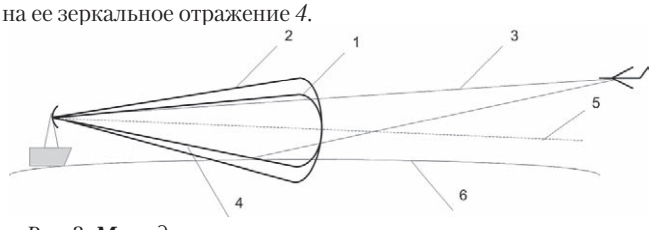


Рис. 3. ***Метод точного измерения угла места с использованием двух суммарных ДНА***

Индикаторная функция ind, определяемая соотношением модулей амплитуд сигналов от цели в широкой и узкой диаграм-

мах, рассчитывается по формуле (1). Поскольку амплитуды *a1* и *a2* зависят от текущей дальности до цели, индикаторная функция также будет функцией от дальности:

$$\mathrm{ind}(R)=\frac{|kw\cdot a2|-|a1|}{|a1|+|kw\cdot a2|}, \qquad (1)$$

где *kw* – отношение коэффициентов усиления широкой и узкой диаграмм.

Среднеквадратическая ошибка (СКО) определения индикаторной функции рассчитывается по формуле

$$\sigma\mathrm{ind}=\frac{1}{8|a1|}\cdot\sqrt{1-2\cdot1{,}3\rho^2+1{,}3^2}, \qquad (2)$$

где ρ – коэффициент корреляции шумов в узкой и широкой ДНА, по численной оценке равный 0,88; в 1,3 раза уровень шумов в узкой ДНА выше, чем в широкой.

По результатам стендовых обмеров приемных диаграмм подбирают параметры аппроксимации индикаторной функции для расчета пеленгационной характеристики *fk*(ind), т.е. зависимости угла на цель относительно оси диаграмм от амплитуд *a1* и *a2*. При этом на первом этапе оценивается уровень сигнала в узкой и широкой диаграммах в зависимости от направления на цель по углу места. На втором этапе строится обратная зависимость угла места от соотношения амплитуд в диаграммах, т.е. от индикаторной функции ind*(R)*. Данная зависимость и является пеленгационной характеристикой *fk*(ind), определяемой размерами и формами узкой и широкой ДНА. На рис. 4 показан пример пеленгационной характеристики *fk*(ind) для случая использования в качестве узкой диаграммы ДНА равномерной апертуры, в качестве широкой – ДНА с косинусной весовой функцией в раскрыве. При этом синей пунктирной линией показана прямая зависимость индикаторной функции от угла места, красной сплошной линией – подобранная аппроксимация пеленгационной характеристики от соотношения уровня сигналов в узкой и широкой диаграммах. Аналитически аппроксимация пеленгационной характеристики для данного примера описывается формулой

$$fk(R)=\begin{cases} fk1\left(\begin{array}{c}1{,}2\cdot10^{-4}\cdot\sqrt[4]{|\mathrm{ind}(R)|}+\\+10{,}519\cdot\sqrt{|\mathrm{ind}(R)|}-0{,}7\cdot|\mathrm{ind}(R)|\end{array}\right),\\ \text{если } \mathrm{ind}(R)<0{,}0025;\\ fk1\left(\begin{array}{c}-0{,}057\cdot\sqrt[4]{|\mathrm{ind}(R)|}+10{,}878\cdot\sqrt{|\mathrm{ind}(R)|}-\\-2{,}91\cdot|\mathrm{ind}(R)|+14\cdot\mathrm{ind}(R)^2\end{array}\right),\\ \text{если } \mathrm{ind}(R)<0{,}0114;\\ fk1\left(\begin{array}{c}-0{,}25\cdot\sqrt[8]{|\mathrm{ind}(R)|}+0{,}639\cdot\sqrt[4]{|\mathrm{ind}(R)|}+\\+10{,}3\cdot\sqrt{|\mathrm{ind}(R)|}-2{,}72\cdot|\mathrm{ind}(R)|-\\-4{,}35\cdot\mathrm{ind}(R)^2+10\cdot\mathrm{ind}(R)^4-0{,}024\end{array}\right),\\ \text{если } \mathrm{ind}(R)\ge0{,}0114;\end{cases} \qquad (3)$$

где *fk1* определяется по формуле

$$fk1=\frac{8{,}785\cdot\lambda}{Size_h\cdot\cos(\theta_n)}, \qquad (4)$$

где λ – длина волны РЛС; $Size_h$ – раскрыв антенны по вертикали; θ_n – угол нормали антенны в вертикальной плоскости.

Условием измерения, как сказано выше, является установка диаграмм посередине прямого и отраженного лучей [5]. Необходимый угол можно рассчитать, зная высоту и дальность до цели. Следовательно, максимальную точность метод может обеспечить только в процессе сопровождения с использованием экстраполированных данных.

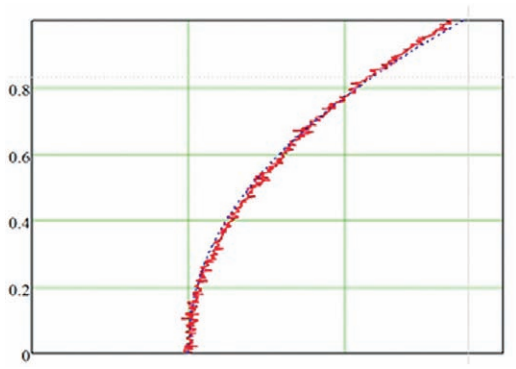


Рис. 4. ***Пеленгационная характеристика fk в зависимости от соотношения амплитуд сигналов в широкой и узкой ДНА***

Для сопровождения используется рекурсивный алгоритм [6], структурная схема которого приведена на рис. 5. Фильтрация выполняется по точкам, каждая из которых соответствует зондированию цели РЛС. Исходя из требований по точности сопровождения и распознаванию маневра цели, выбирают постоянную времени фильтра, которой соответствует определенное количество точек. Сглаживание проводится одновременно по высоте и углу места. Точка, для которой вычисляются текущие сглаженные значения угла места и высоты, имеет индекс «*1*», а дальняя от нее точка участка сглаживания – индекс «max». Таким образом, система обработки должна сохранять в памяти массив данных для каждой точки участка сглаживания, необходимых для работы фильтра.

Начальные значения матрицы ошибок определяются для точки «max». Матрица ошибок фильтра использует СКО определения угла места и высоты. СКО малых значений угла места будет равна его текущему измеренному значению θ_{act} [4], которое, в свою очередь, зависит от угла наклона диаграммы направленности и амплитуды сигнала в узкой диаграмме *a1*. По экспериментальным данным измерения угла места РЛС получена формула расчета имитированного текущего значения угла места:

$$\theta_{act}=fk1\cdot\left[\begin{array}{c}\frac{6}{\sqrt{|a1|}}\cdot e^{-\theta_{beam}^4\cdot\left(3\cdot10^{-5}\cdot|a1|^2\right)}+\\+\frac{1.3}{\sqrt{|a1|}}\cdot e^{-\theta_{beam}^2\cdot\left(1{,}3\cdot10^{-7}\cdot|a1|^2+0{,}15\right)}+\\+\frac{2}{\sqrt{|a1|}}\cdot e^{-\theta_{beam}\cdot\left(2{,}5\cdot10^{-8}\cdot|a1|^2+0{,}47\right)}\end{array}\right]+\mathrm{Dangle}, \qquad (5)$$

где θ_{beam} – угол наклона диаграммы направленности антенны; Dangle – аппаратная составляющая ошибки измерения угла.

Результаты моделирования измерения угла места в максимуме сигнала (рис. 6) в целом совпадают с результатами, полученными по формуле (5). Аппроксимируя зависимость (5), получаем формулу для расчета СКО определения угла места:

$$D_\theta=0{,}013+\Delta\theta\cdot\sigma\mathrm{ind}\cdot10^{-4}\cdot\left(\frac{0{,}441}{\sqrt{\mathrm{ind}(R)}}+\frac{0{,}012}{\sqrt[3]{\mathrm{ind}(R)^2}}\right), \qquad (6)$$

где Δθ – ширина узкой ДНА в вертикальной плоскости.

СКО определения высоты рассчитывается по формуле

$$DZ=R\cdot\mathrm{tg}(D_\theta). \qquad (7)$$

Алгоритм точного сопровождения имеет границы применения. По высоте он ограничен снизу значением 5 метров. По углу места: снизу – значением отрицательного угла наклона ДНА, определяемого по формуле (10), сверху – половиной ширины узкого луча ДНА. Возможна установка ограничения на минимально допустимое отношение сигнал/шум. Данное ограничение не является обязательным, но при малых отношениях сигнал/шум (менее 22–23 дБ) эффективность работы алгоритма не

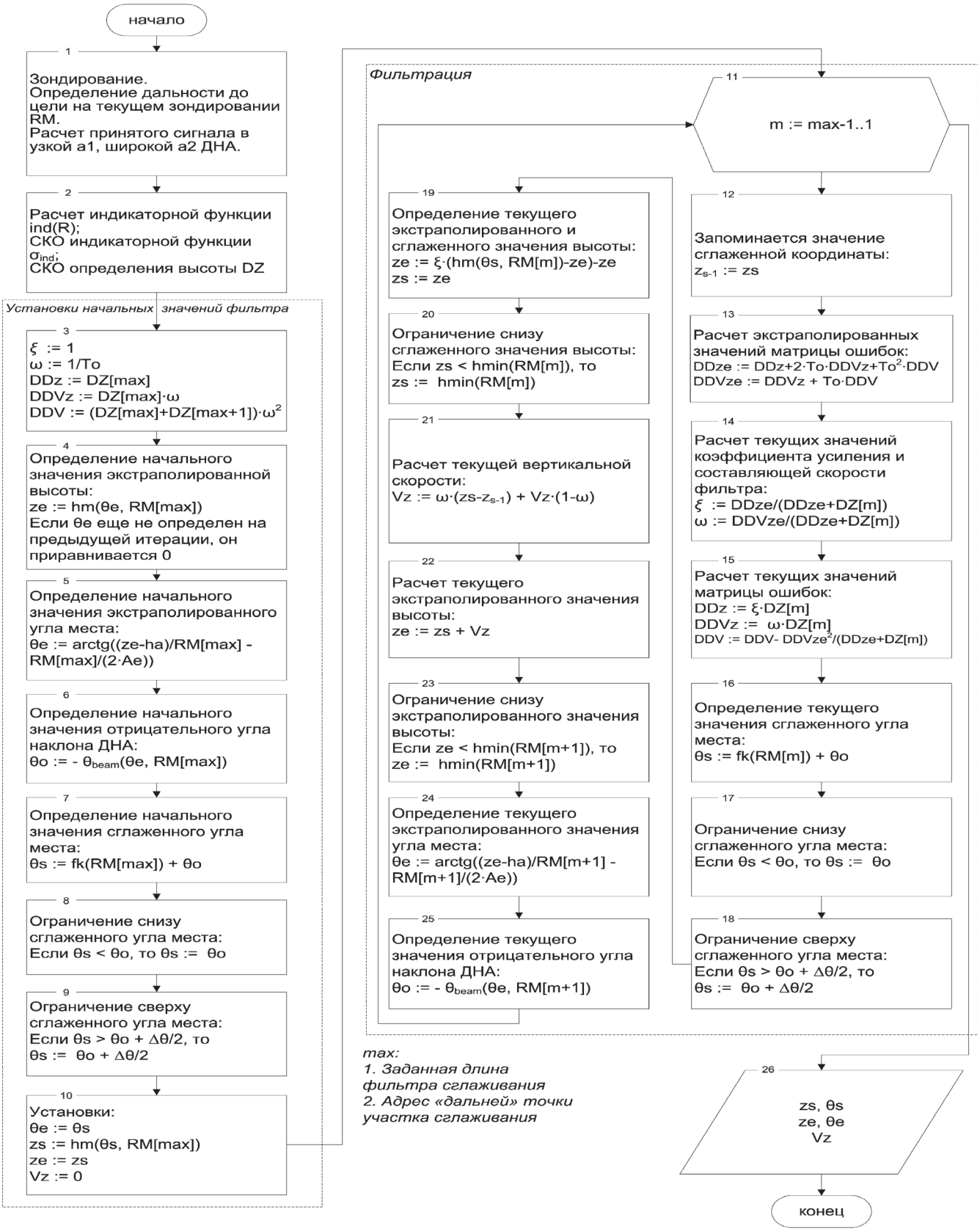


Рис. 5. ***Структурная схема алгоритма точного сопровождения по углу места***

превышает сглаживание измеренного в РЛС значения высоты обычными методами.

Пошаговое описание работы алгоритма точного сопровождения по углу места приведено ниже.

1. Узкая и широкая ДНА в вертикальной плоскости устанавливаются на угол θ_{beam}, находящийся посередине между экстраполированным значением угла места θe, определенным на предыдущей итерации работы фильтра и зеркальным отражением сигнала от цели. Для первой итерации ДНА может устанавливаться в положение 0°. Выполняется зондирование цели РЛС.

Входные данные алгоритма: дальность до цели *RM* и уровень отраженного сигнала в узкой *a1* и широкой *a2* диаграммах вычисляются на каждом зондировании.

2. По входным данным рассчитываются индикаторная функция ind (1), СКО индикаторной функции σind (2) и СКО определения высоты цели в РЛС *DZ* (7).

3. Начальные значения матрицы ошибок фильтра сопровождения [6] устанавливаются в блоке 3.

4. Определяется высота цели в точке экстраполяции по формуле

$$hm(\theta e,R)=\begin{cases} h\min(R), \text{если } h\min > ha+\dfrac{R^2}{2\cdot Ae}+R\cdot \operatorname{tg}(\theta e); \\ ha+\dfrac{R^2}{2\cdot Ae}+R\cdot \operatorname{tg}(\theta e), \\ \text{если } h\min \le ha+\dfrac{R^2}{2\cdot Ae}+R\cdot \operatorname{tg}(\theta e), \end{cases} \quad (8)$$

где ha – высота антенны РЛС; R – расстояние от РЛС до цели; θe – экстраполированное значение угла места, рассчитывается в фильтре сопровождения; Ae – эквивалентный радиус Земли; $h\min(R)$ – минимально возможная наблюдаемая высота цели, ограниченная 5 метрами, определяется по формуле

$$h\min(R)=\begin{cases} 5, \text{если } R<\sqrt{2\cdot Ae\cdot ha}; \\ \dfrac{\left(R-\sqrt{2\cdot Ae\cdot ha}\right)^2}{2\cdot Ae}+5, \text{если } R\ge\sqrt{2\cdot Ae\cdot ha}. \end{cases} \quad (9)$$

5. По значению высоты цели в экстраполированной точке уточняется значение θe в блоке 5.

6. Отрицательный угол наклона оси ДН, как функция от экстраполированного угла места и дальности до цели определяется по эмпирической формуле

$$\theta_{beam}(\theta e,R)=\frac{57{,}8\cdot ha}{R}+\frac{100\cdot R}{Ae\cdot\sqrt{hm(\theta e,R)}}. \quad (10)$$

7. По рассчитанному в блоке 2 значению индикаторной функции определяется пеленгационная характеристика fk (3). С учетом того, что аргументом индикаторной функции является дальность до цели, пеленгационная характеристика также рассчитывается в зависимости от дальности $fk(R) = fk(\text{ind}(R))$. Сглаженное значение угла места θs определяется в блоке 7 с учетом $\theta_{beam}(\theta e,R)$.

8. В блоках 8 и 9 устанавливаются ограничения на величину θs.

9. В блоке 10 устанавливаются входные параметры рекурсивного алгоритма сглаживания: экстраполированное и сглаженное значения угла места, экстраполированное и сглаженное значения высоты. Вертикальная составляющая скорости цели Vz приравнивается нулю.

10. Поскольку входные параметры установлены для точки max, работа рекурсивного алгоритма начинается с точки max–1. Выходные параметры должны быть получены для точки *«1»*, т.е. для текущего зондирования.

11. В блоке 12 запоминается текущее сглаженное значение высоты.

12. В блоках 13 и 14 рассчитываются экстраполированные значения матрицы ошибок и уточняются значения коэффициента усиления и составляющей скорости фильтра для текущей точки сглаживания. Данные параметры используются в дальнейшем для определения вертикальной составляющей скорости Vz.

13. В блоке 15 обновляются параметры матрицы ошибок для текущей точки сглаживания.

14. В блоках 16–18 повторяются действия, описанные на шагах 7, 8.

15. В блоке 19 уточняются экстраполированное и сглаженное значения высоты цели для текущей точки сглаживания.

16. Ограничение снизу для сглаженного значения высоты устанавливается в блоке 20.

17. В блоке 21 определяется вертикальная составляющая скорости цели Vz с учетом сглаженного значения высоты, полученного на шаге 11.

18. В блоке 22 из сглаженного значения высоты и вертикальной составляющей скорости рассчитывается экстраполированное значение высоты цели для следующей точки сглаживания.

19. Ограничение снизу для экстраполированного значения высоты устанавливается в блоке 23.

20. В блоке 24 рассчитывается экстраполированное значение угла места для следующей точки сглаживания.

21. В блоке 25 рассчитывается отрицательный угол наклона θ_{beam} для установки осей ДНА на следующее зондирование.

22. Шаги 11–21 повторяются для каждой точки участка сглаживания.

Работоспособность метода точного сопровождения по углу места оценивалась с использованием имитационного моделирования. Результаты моделирования для РЛС с длиной волны 10 см, цели с ЭПР 0,1 м², скоростью 300 м/с, на высоте 15 м при волнении моря 0 баллов в сравнении с измерением угла места в максимуме сигнала показаны на рис. 6. Период зондирования цели – 2 с, постоянная времени фильтра – 10 с.

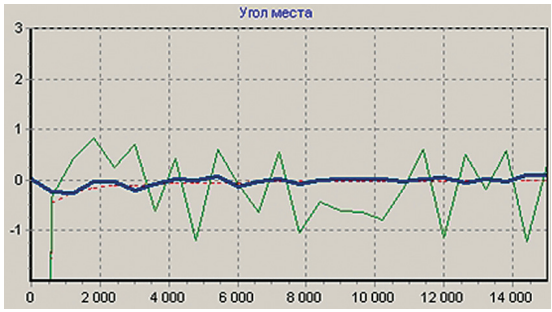


Рис. 6. ***Точное сопровождение по углу места (синяя линия) в сравнении с измерением в максимуме сигнала (зеленая линия) и истинным углом места (красная пунктирная линия)***

ВЫВОД

1. Интерференция электромагнитных волн при наличии зеркального отражения от морской поверхности вносит существенные ошибки в измерение малых значений угла места.

2. Данные ошибки возможно компенсировать, используя специализированные измерительные диаграммы направленности. В АФАР с цифровым диаграммообразованием предпочтительнее использование двух (узкой и широкой) суммарных диаграмм на прием.

3. В обеспечение метода предварительно должна быть получена пеленгационная характеристика по углу места для используемых диаграмм.

4. Максимальная точность определения угла места достигается при установке оси измерительных диаграмм посередине прямого и отраженного лучей на каждом зондировании цели РЛС. Текущий угол наклона диаграмм рассчитывается в процессе сопровождения с использованием экстраполированных данных.

5. Предлагаемый метод точного сопровождения по углу места обеспечивает снижение ошибок на порядок. Так, на РЛС с диаграммой направленности по углу места более 6° достигается уровень ошибок порядка 5 т.д.

ЛИТЕРАТУРА

1. *White W.D.* Low-angle radar tracking in the Presence of Multipat // IEEE Trans. non Aero space and Electronic System. – 1974. – Vol.10. – №6. – P.835–852.
2. *Бартон Д., Вард Г.* Справочник по радиолокационным измерениям. –: М.: Советское радио, 1976. – 392 с.
3. *Львов В.Е.* Принципы измерения малых углов места в мобильных обзорных РЛС. – Тез. докл. VI Всеросс. конфер. «Радиолокация и радиосвязь».– Т.2.– М.:ИРЭ АН РФ, 2012. – С. 136–140.
4. *Бабкин Ю.М., Балагуровский В.А.* Синтез многофункционального радиолокатора. – М.: Изд-во МЭИ, 2006.– 108 с.
5. *Балагуровский В.А., Кондратьев А.С., Полищук Н.П.* Метод определения координат низколетящей цели// Радиотехника и электроника. – 2012. –Т. 57. – №10. –С.1104–1118.
6. *Фарина А., Студер Ф.* Цифровая обработка радиолокационной информации. Сопровождение целей // Пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1993 – 320 с. ■

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДВИЖЕНИЯ МОРСКОГО ПОДВИЖНОГО ОБЪЕКТА

В.М. Амбросовский, *канд. техн. наук, доцент СПГЭТУ «ЛЭТИ», директор департамента УТСиД,*
Д.В. Казунин, *д-р техн. наук, директор по разработке ПО, АО «Кронштадт Технологии»,*
контакт. тел. (812) 449 9090

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день все морские подвижные объекты (МПО) оборудуют системой автоматического управления движением (САУД) по заданному курсу, основным элементом которых является авторулевой (АР). В эксплуатационных условиях авторулевой обеспечивает снижение потерь ходового времени за счет более точного удержания судна на заданном курсе и уменьшения тормозящего действия руля при его частых перекладках, а также фильтрацию сигналов управления для уменьшения числа кладок руля от рысканья при волнении (рис. 1).

Рис. 1. ***Движение корабля под управлением современной системы автоматического управления движения (САУД)***

Все ведущие производители навигационного оборудования, представленные на отечественном и зарубежных рынках, в линейке своих продуктов имеют САУД. Для решения импортозамещения данных изделий, помимо создания электронных компонентов САУД, необходимо решить ряд алгоритмических задач. Начнем с общего представления САУД (рис. 2).

АР системы представляет собой вычислительное устройство, вырабатывающее с частотой 5–20 Гц сигналы управления по заданному углу руля δ*, которые пропорциональны по величине углу φ и угловой скорости φ отклонения судна от заданного курса:

$$\delta^*_{(t)} = g_1\left(K(t) - K^*\right) + g_2\left(\omega_y(t)\right) + g_3\int\left(K(t) - K^*\right)dt,$$

где $K(t)$ – текущий курс, g_1, g_2, g_3, – коэффициенты управления, которые передаются на электрогидравлическую рулевую машину, обеспечивающую перекладку руля со скоростью примерно 2,4–5 град/с.

Первым важным *этапом* разработки САУД является определение коэффициентов g_1, g_2 и g_3 АР и алгоритмов их изменений с целью обеспечения плавной связи между углом руля и угловой скоростью, а также необходимой точности удержания курса.

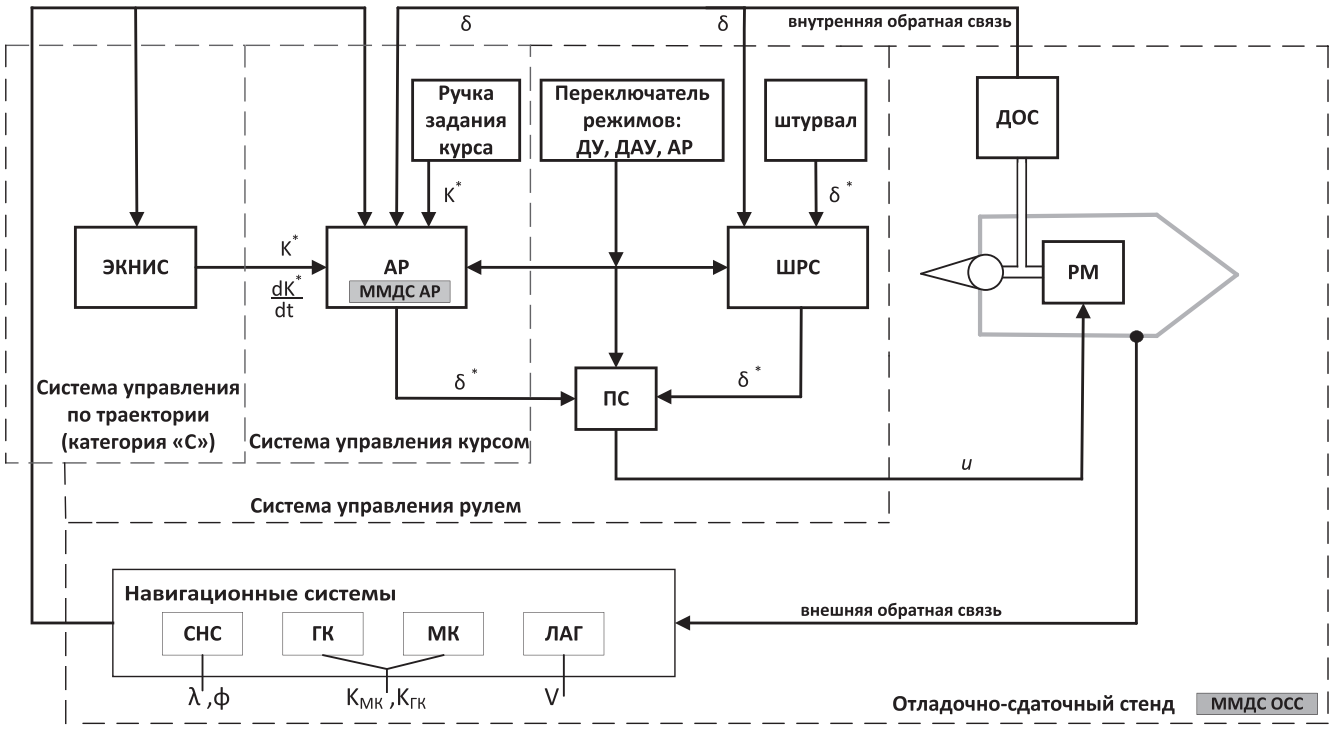


Рис. 2. ***Современная (САУД) судном по заданному маршруту***
ГК и МК – гиро- и магнитный компас; ДОС – датчик обратной связи; КМК, КГК – заданный курс; ММДС – математическая модель движения судна; ОСС – отладочно-сдаточный стенд; ПС – прибор сопряжения; РМ – рулевая машина; СНС – спутниковая навигационная система; ШРС – штурвально-рулевая система.
Режимы работы: ДУ – дистанционное управление; ДАУ – дистанционное автоматическое управление; АР - управление от авторулевого.
K – заданный курс; u – сигнал управления; V – скорость хода судна; λ, φ – данные от СНС (мгновенное значение курса); δ*, δ – заданный и фактический угль перекладки руля*

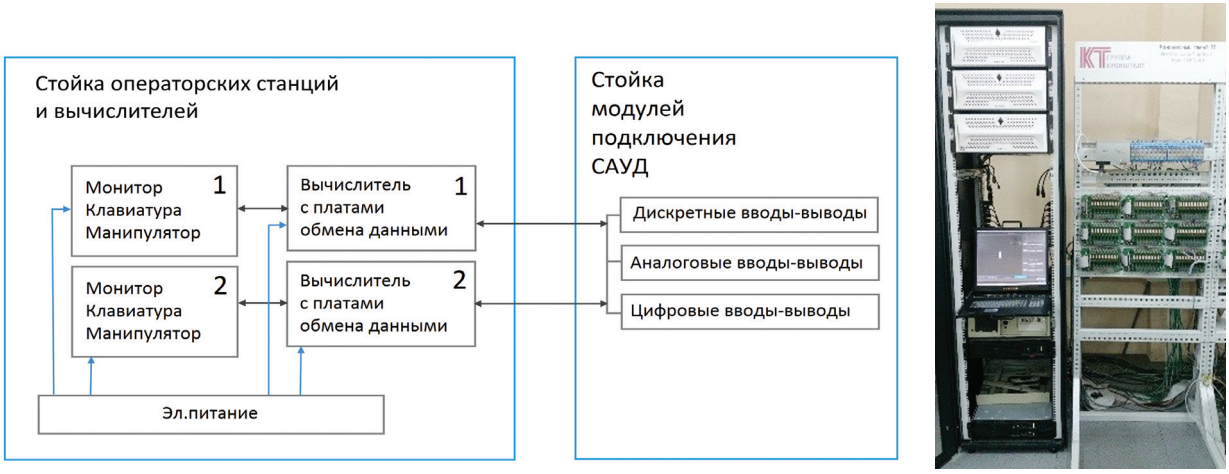


Рис. 3. ***Отладочно-сдаточный стенд САУД компании «Кронштадт Технологии»***

Вторым важнейшим *этапом* разработки САУД морских подвижных объектов (к которым относятся водоизмещающие суда и корабли) является настройка, проверка работоспособности и качества функционирования САУД, включая авторулевые, на отладочно-сдаточном стенде (ОСС).

Разработка программного обеспечения АР и ОСС требует использования математических моделей движения МПО, соответствующих задачам, решаемым соответствующими САУД. На рис. 3 представлен ОСС САУД компании «Кронштадт Технологии».

Имеющиеся математические модели движения МПО [1–5] позволяют получить модели, качественно соответствующие моделируемому МПО, но, к сожалению, они часто имеют существенные отклонения от количественных характеристик моделируемого МПО. В качестве примера можно привести маневр «циркуляция» универсального сухогруза (D = 3500 т, V = 11 уз) на рис. 4.

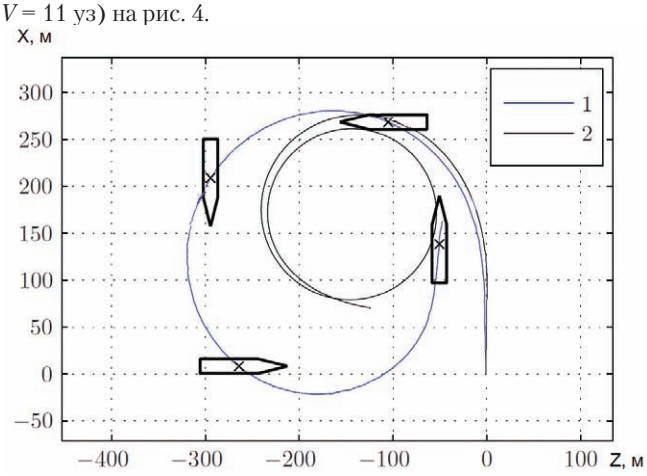


Рис. 4. ***Циркуляция теплохода (1) и результат моделирования (2)***

Расхождение натурных испытаний и математического моделирования приводит к необходимости настройки математической модели движения МПО с использованием данных натурных испытаний конкретного МПО или его прототипа. Вопросы идентификации модели движения судна поднимались в работах [6–8], но решений этой задачи в указанных работах не приведено.

В настоящей работе рассмотрена задача создания и настройки математической модели движения МПО для отладки САУД, в частности, для отладки АР, осуществляющих управление по заданному курсу и по заданной траектории (системы управления по траектории категории С), а также для настройки и отладки систем предупреждения аварий. Подобные САУД входят в состав практически любых интегрированных мостиковых систем управления МПО.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДВИЖЕНИЯ МПО

Математическая модель движения МПО, предназначенная для отладки и настройки САУД, должна, как минимум, моделировать движение МПО в горизонтальной плоскости на разных скоростях хода при действии ветра и волнения. Для описания движения МПО используем системы координат [5], обозначенные на рис. 5.

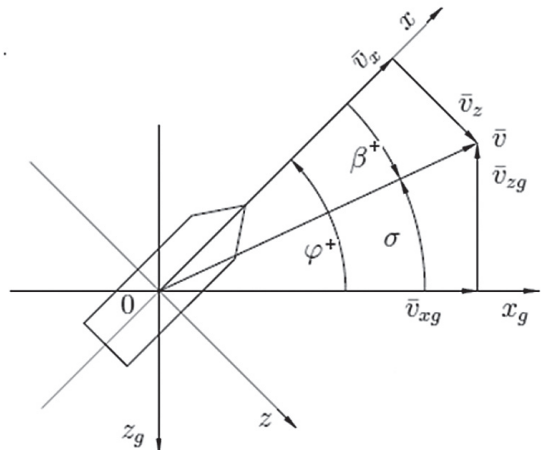


Рис. 5. ***Системы координат: XOZ– связанная система координат; XgOgZg – неподвижная система координат***

Систему уравнений движения МПО можно записать в следующем виде [1,3,4]:

$$\begin{cases} \dot{\varphi} = \omega_y; \\ (m+\lambda_{33})V\dot{\beta} = (m+\lambda_{11})V\omega_y + F_{zH} + F_{zR} + F_{zA} + F_{zW}(t); \\ (m+\lambda_{55})V\dot{\omega}_y = M_{yH} + M_{yR} + M_{yA} + M_{yW}(t); \\ \dot{x}_g = V\cos(\varphi-\beta); \\ \dot{z}_g = V\sin(\varphi-\beta), \end{cases};$$

где λ_{ij} – присоединенные массы и моменты инерции.

В эти уравнения входят гидро- и аэродинамические силы и моменты, силы и моменты от винтов и рулей, а также от других средств управления, силы и моменты от морского волнения.

1. Гидродинамические сила и момент могут быть записаны, согласно [3, 4] следующим образом:

$$F_{zH} = -\rho\frac{V^2}{2}S_\sigma\left(k_{C_{zP}^\beta}C_{zP}^\beta\beta + k_{C_2}C_2\beta|\beta|\right);$$

$$M_{yH} = -\rho\frac{V^2}{2}S_\sigma L\left(k_{C_{mP}^\beta}C_{mP}^\beta\beta + k_{C_{m_d}}C_{m_d}\frac{\omega L}{V}\right).$$

Могут быть использованы и более сложные нелинейные формы гидродинамических сил и моментов или данные судна-прототипа.

2. Аэродинамические сила и момент могут быть записаны, согласно [1, 5], в виде

$$F_{zA} = \rho \frac{V_A^2}{2} S_A k_{C_{ZA}} C_{ZA}(\gamma_A);$$

$$M_{yA} = \rho \frac{V_A^2}{2} S_A L k_{C_{mA}} C_{mA}(\gamma_A).$$

Могут быть использованы как упрощенные формулы для аэродинамических коэффициентов (например, [1,3,4]):

$$C_{ZA}(\gamma_A) = 1{,}05\sin(\gamma_A);$$

$$C_{mA}(\gamma_A) = 1{,}05(0{,}25 + \frac{l_A}{L} - \frac{\gamma_A}{2\pi})\sin(\gamma_A),$$

так и более сложные зависимости или функции кривых испытаний судна-прототипа.

3. Сила и момент на руле могут быть записаны следующим образом [4]:

$$F_{zR} = \rho \frac{V^2}{2} S_{RE} k_{C_{zR}^{\alpha}} C_{zR}^{\alpha} \left(\delta_R - k_{k_\beta} k_\beta \left(\beta + k_{l_{RM}} l_{RM} \frac{\omega L}{V} \right) \right);$$

$$M_{yR} = \rho \frac{V^2}{2} S_{RE} k_{l_{RM}} l_{RM} k_{C_{zR}^{\alpha}} C_{zR}^{\alpha} \left(\delta_R - k_{k_\beta} k_\beta \left(\beta + k_{l_{RM}} l_{RM} \frac{\omega L}{V} \right) \right).$$

4. Сила и момент от волнового воздействия являются случайными процессами, спектральная плотность энергии которых может быть найдена как [5]

$$S_{zW}(\sigma,\xi) = k_{F_{ZW}}^2 (mg)^2 \kappa_Z^2(\sigma,\xi) S_\gamma(\sigma)\cos^2\xi;$$

$$S_{mW}(\sigma,\xi) = k_{M_{yW}}^2 \sigma^4 J_{yy}^2 \kappa_m^2(\sigma,\xi) S_\gamma(\sigma)\cos^2\xi\sin^2\xi.$$

5. При необходимости моделировать силы и моменты от волнения как функции времени их можно записать, используя составляющую волнового склона и его производную [5], в виде

$$F_{zW}(t) = k_{F_{ZW}} mg \Theta_\gamma(t);,$$

$$M_{yW}(t) = k_{M_{yW}} \gamma_{\max} J_{yy} \dot{\Theta}_\gamma(t)\cos\xi,$$

где $\Theta_\gamma(t)$ и $\dot{\Theta}_\gamma(t)$ могут быть получены с выхода формирующего фильтра второго порядка [5]:

$$\dot{X}_\Theta = A_\Theta X_\Theta + B_\Theta w.$$

6. Кроме того, может быть также учтен момент от разности тяг на винтах

$$M_{yP} = \sum_{i=1}^{n_P} k_{l_{zP}} F_{XPi} l_{zPi}.$$

В приведенные выше (п. 1–6) силы и моменты введены настроечные (корректирующие) коэффициенты $k_{C_{zP}^{\beta}}$, k_{C_2}, $k_{C_{mP}^{\beta}}$, $k_{C_{md}}$, $k_{C_{ZA}}$, $k_{C_{mA}}$, $k_{C_{zR}^{\alpha}}$, k_{k_β}, $k_{l_{RM}}$, $k_{l_{zP}}$, $k_{F_{ZW}}$, $k_{M_{yW}}$, которые обеспечивают параметризацию математической модели. Для настройки модели по данным испытаний необходимо задать критерии идентификации, позволяющие определить вышеприведенные корректирующие коэффициенты с целью обеспечения максимального возможного соответствия расчетных и натурных данных.

КРИТЕРИИ ИДЕНТИФИКАЦИИ ПАРАМЕТРОВ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

При идентификации параметров математической модели по данным натурных испытаний можно использовать различные методы параметрической идентификации, например, метод деформируемого многогранника, называемый также методом Нелдера–Мида. Наиболее важным для решения задачи является выбор параметров поиска и критерия оптимизации (критериальной функции). Рассмотрим несколько наиболее важных случаев.

Идентификация параметров модели МПО по маневру «циркуляция». При идентификации по данным маневра циркуляция по экспериментальным данным берутся характерные точки циркуляции – поворот объекта на угол 90°, 180°, 270°, 360°. К этим точкам могут быть добавлены точки обратного смещения и максимального или установившегося дрейфа. Критериальная функция при «циркуляции» будет включать критерий J_{C1} отклонения по перемещению, критерий отклонения по скорости J_{C2}, а также критерий J_{C3} по максимальному или установившемуся дрейфу:

$$J_C = \lambda_{c1} J_{C1} + \lambda_{c2} J_{C2} + \lambda_{c3} J_{C3};,$$

где $J_{C1} = \sum_{i=1}^{n_c} \left\{ \lambda_r \left(\Delta\overline{x}_{gi}^2 + \Delta\overline{z}_{gi}^2 \right) + \lambda_t \Delta\tau_i^2 \right\}$; $J_{C2} = \sum_{i=1}^{n_c} \lambda_V \Delta\overline{V}_{gi}^2$;

$$J_{C3} = \lambda_\beta \Delta\beta^2 + \lambda_\beta \Delta\overline{x}_{os}^2,.$$

где $\Delta\overline{x}_{gi}$, $\Delta\overline{z}_{gi}$ – отклонение местоположения объекта от математической модели (в относительных единицах по отношению к длине судна) по осям *OXg, OZg* в точках изменения курса на 90°, 180°, 270°, 360°; $\Delta\tau_i$ – отклонение относительного времени попадания объекта от математической модели (в относительных единицах) в этих же точках.

Идентификация параметров модели МПО по маневру «зигзаг». Предложенная критериальная функция при «зигзаге» будет иметь вид:

$$J_{Z1} = \lambda_\varphi \Delta\varphi_{\max}^2 + \lambda_1 \Delta T_1^2 + \lambda_T \Delta T^2 + \lambda_{T_R} \Delta T_R^2.$$

По натурным данным и результатам моделирования определяется период маневра T, установившаяся амплитуда угла рыскания $\varphi_{\max}$, время выхода на первую точку переключения T_1. Можно учитывать также среднее время удержания руля в заданном положении T_R, это позволит идентифицировать скорость перекладки руля.

Маневр типа «зигзаг» – один из самых информативных при идентификации, он может показать динамические свойства объекта по курсу в неустановившихся режимах, по нему также можно судить как о поворотливости, так и об устойчивости объекта на курсе. Так, например, этот маневр «зигзаг» 10/10 и 20/20 используется для верификации математической модели скоростного судна в работе [9], однако нет никаких критериев качества, а оценка точности идентификации проводилась визуально.

Идентификация параметров модели МПО по маневру «одерживание». Маневр «одерживание» – один из простых маневров, позволяющих оценить устойчивость судна на курсе. Этот маневр называют также выходом из циркуляции. Критериальная функция, которая в J_{p1} учитывает установившееся значение угловой скорости, а в J_{p2} время переходного процесс будет иметь вид

$$J_p = J_{p1} + J_{p2} = \lambda_\omega \Delta\omega^2 + \lambda_\tau \Delta\tau^2.$$

Идентификация параметров модели МПО по перекладке пера руля. Встречаются записи маневров, при которых выполняется некоторая перекладка пера руля (скажем, при удержании курса рулевым или авторулевым). В случае активной идентификации (когда имеется возможность провести испытания и сделать запись движения судна) весьма информативным становится маневр, когда на рулевую машину подается сигнал типа «телеграфная волна». Такой маневр может показать динамические свойства объекта в режиме движения на передних ходах.

Критериальная функция, используемая для идентификации математической модели движения МПО и учитывающая среднее, дисперсию угла курса и дисперсию скорости рысканья, будет иметь вид

$$J_R = \lambda_{\varphi 1} \Delta\varphi^2_{MEAN} + \lambda_{\varphi 2} \Delta\varphi^2_{RMS} + \lambda_{\omega 2} \Delta\omega^2_{RMS}.$$

Подобный маневр для идентификации модели использовался в работе [10].

Критерий параметрической идентификации. Суммарный критерий для параметрической оптимизации будет иметь вид взвешенной суммы всех использованных критериев:

$$J = \lambda_c J_c + \lambda_Z J_Z + \lambda_P J_P + \lambda_R J_R.$$

В зависимости от достоверности данных по конкретным маневрам и точкам могут быть введены весовые коэффициенты λ_i для различных слагаемых критериальной функции.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИДЕНТИФИКАЦИИ

На рис. 6 представлены результаты идентификации по маневру «циркуляция» транспортного судна (D = 3500 т,

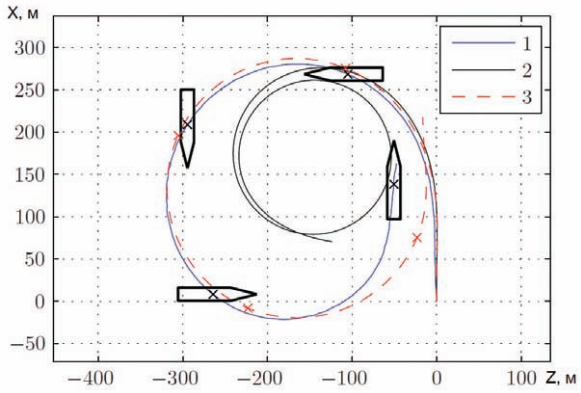


Рис. 6. ***Маневр «циркуляция»***
1 – натурные данные, 2 – модель без настройки, 3 – модель после настройки

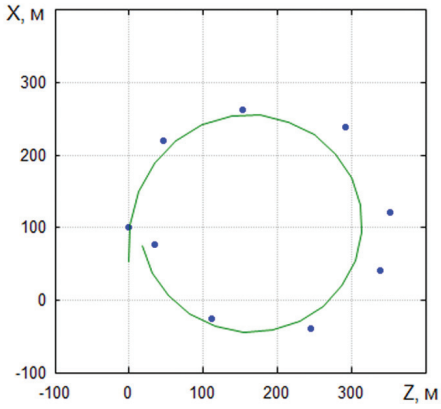


Рис. 7. ***Циркуляция рыболовного судна***
** – данные натурных испытаний*

V = 11 уз); на рис. 7 – результаты настройки модели по маневрам типа «циркуляция» рыболовного судна (D =1700 т, V = 13 уз); на рис. 8 – результаты идентификации математической модели рыболовного судна (D = 1700 т, V = 13 уз) по маневру типа «зигзаг».

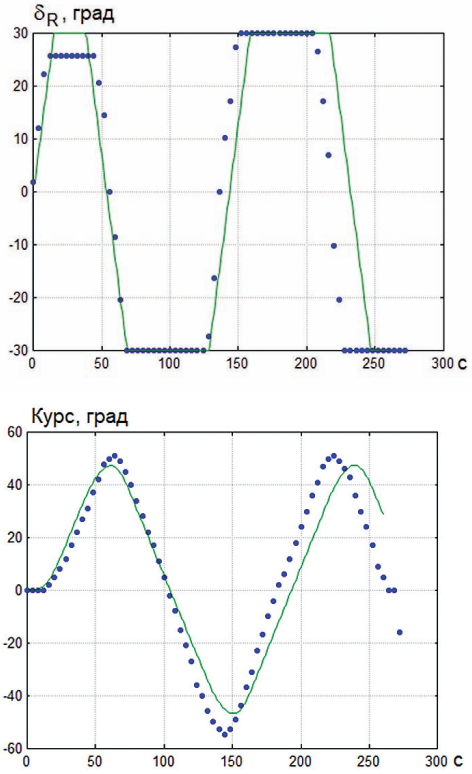


Рис. 8. ***Маневр «зигзаг» 30×30 рыболовного судна***
** – данные натурных испытаний*

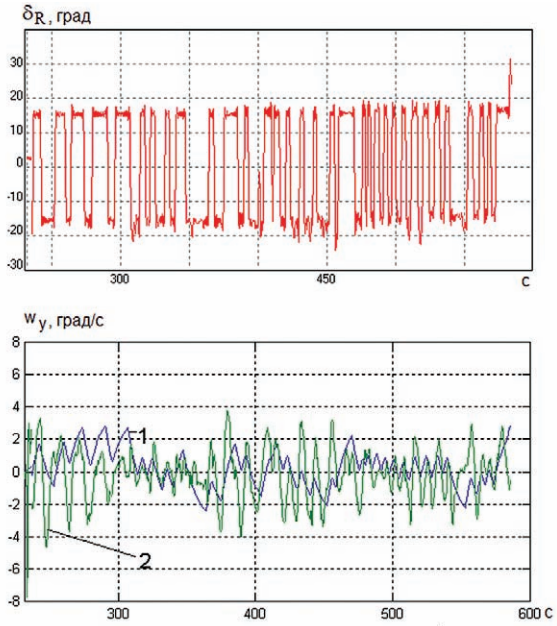


Рис. 9. ***«Телеграфная волна» на входе рулевой машины скоростного МПО (фрагмент)***
1 – скорость рыскания МПО, 2 – скорость рыскания идентифицированной модели движения МПО в горизонтальной плоскости

На рис. 9 представлены результаты идентификации скоростного МПО (D =110 т, V =45 уз) при перекладке руля, когда на рулевую машину подана «телеграфная волна».

В качестве примера практического применения результатов идентификации параметров математических моделей движения МПО по данным натурных испытаний можно привести использование полученных математических моделей для настройки и проверки АР «Румб» производства компании «Группа Кронштадт» в режиме управления по заданной траектории (рис. 10).

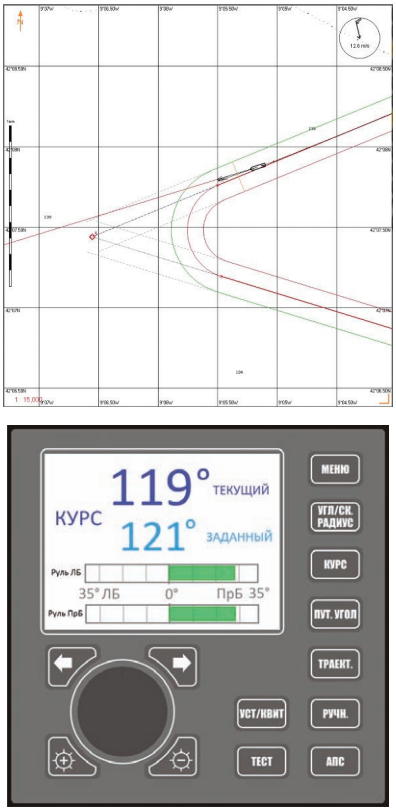


Рис. 10. ***Результаты отладки АР «Румб» в режиме управления по заданной траектории***

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе предложены критерии настройки нелинейной математической модели движения МПО в горизонтальной плоскости и методы ее параметризации с учетом критериев оптимизации. Приведены результаты идентификации параметров математических моделей движения МПО по данным натурных испытаний, которые подтверждают правильность выбранных критериев идентификации и показывают возможности по параметрической идентификации математических моделей движения МПО для настройки и проверки САУД МПО.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Гофман А. Д.* Движительно-рулевой комплекс и маневрирование судна: Справочник. – Л.: Судостроение, 1988. 360 с.
2. *Fossen Thor I.* Guidance and Control of Ocean Vehicles. – John Wiley & Sons Ltd, 1994. – 480 p.
3. *Васильев А. В.* Управляемость судов: Учеб. пособие. – Л.: Судостроение, 1989. – 328 с.
4. Справочник по теории корабля. – В 3 т. Т. 3: Управляемость водоизмещающих судов. Гидродинамика судов с динамическими принципами поддержания / Под ред. Я. И. Войткунского. – Л.: Судостроение, 1985. – 544 с.
5. *Амбросовский В.М., Коренев А.С., Лукомский Ю.А., Шпекторов А.Г.* Координированное управление морскими подвижными объектами / Под ред. Ю.А. Лукомского. – СПб: Изд-во СПбГЭТУ ЛЭТИ, 2016. – 128 с.
6. *Shi C., Zhao D., Peng J., Shen C.* Identification of Ship Maneuvering Model Using Extended Kalman Filters // International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation. –2009. –Vol. 3. – №1 (March).
7. *Vidar Ødegård.* Nonlinear Identification of Ship Autopilot Models. – NTNU, 2009.
8. *Perez Tristan, Fossen Thor I.* Practical aspects of frequency-domain identification of dynamic models of marine structures from hydrodynamic data // Ocean Engineering. – 2011. – №38. – P. 426–435.
9. *Perez Tristan, Mak Tim, Armstrong Tony, Ross Andrew, Fossen Thor I.* Validation of a 4DOF Manoeuvring Model of a High-speed Vehicle-Passenger Trimaran. – Ninth International Conference on Fast Sea Transportation. FAST2007, Shanghai, China, September 2007.
10. *Ambrosovsky V.M., Ambrosovskaya E.B.* Sea Trials of High Speed Crafts Data Processing and Identification (Обработка данных морских испытаний и идентификация моделей скоростных судов). – Proc. of International Conference on Fast Sea Transportation FAST'2005. S.Pb, June 2005. p.1–7. ■

СПАСЕНИЕ ОКЕАНА В НАШИХ РУКАХ

Ю.А. Мальченко, *инженер 1-й категории АО «НПФ «Меридиан», контакт. тел. (812) 602 0368*

С каждым годом загрязнение Мирового океана неизбежно усугубляется. По различным оценкам ежегодно в него попадает от 5 до 100 млн. т нефти и нефтепродуктов [1] в результате судоходства, бурения, сбора нефти в резервуары, перекачки по магистральным нефтепроводам, аварийных ситуаций и катастроф, а также естественных выходов нефти на морскую поверхность по трещинам на дне моря.

Примечательно, что по статистике причиной 45% нефтяного загрязнения Мирового океана является судоходство и только 2% загрязнений происходит в результате добычи нефти на шельфе. В ходе спутникового мониторинга Балтийского моря ученые ИКИ РАН выявили, что подавляющее большинство антропогенных загрязнений морской поверхности представляет собой утечки и несанкционированные сбросы с судов вод, содержащих нефтепродукты, а также разливы в результате аварий и катастроф. Учитывая тот факт, что ежедневно в Балтийском море находится около 2000 кораблей и танкеров, можно представить объемы загрязнения Балтийского моря [2] (рис. 1).

В настоящее время для оперативной оценки размеров бедствий и отслеживания путей распространения загрязнений используются данные дистанционного зондирования из космоса, получаемые от радиолокаторов с синтезированной апертурой (РСА), установленных на борту искусственного спутника Земли. Использование РСА обусловлено их возможностями фиксировать изменения шероховатости морской поверхности с высоким разрешением независимо от степени облачности и освещенности поверхности.

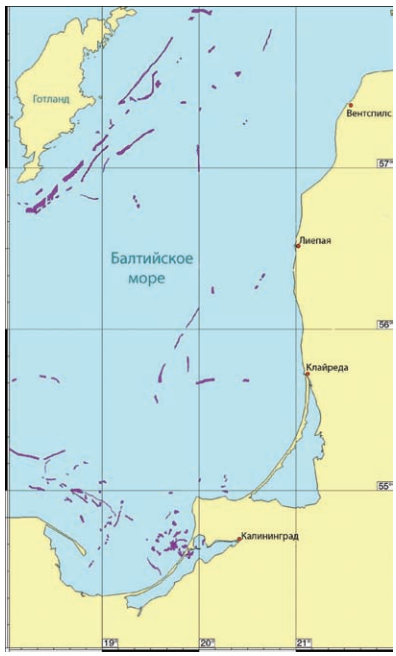


Рис. 1. ***Сводная карта нефтесодержащих судовых сбросов в юго-восточной части Балтийского моря, обнаруженных в результате анализа данных спутниковой радиолокации в 2009–2012 гг. [2]***

Однако на снимках РСА отображаются также подобные нефтяным пятнам пленки биогенного происхождения, молодой лед, зоны пониженных скоростей ветра, осадки, зоны восходящего течения, проявления внутренних волн, океанических и атмосферных фронтов. Существующие сегодня алгоритмы автоматического распознавания нефтяных плёнок дают до 50% ошибок. Вероятность обнаружения загрязнения зависит, в том числе, от таких параметров окружающей среды, как скорость приповерхностного ветра, высота волн, температура морской поверхности, количество и тип содержащейся в разливах нефти, поверхностное течение и его поле, наличие зон сдвига течения.

По данным различных исследований [3], эффективное выявление нефтяных загрязнений возможно только в рамках мультисенсорного подхода, основанного на обработке и анализе данных на основе всей доступной спутниковой и наземной информации о состоянии окружающей среды, после чего происходит моделирование и прогнозирование гидродинамических процессов, влияющих на эволюцию и распространение загрязнений. Модельные данные могут давать дополнительную информацию для интерпретации спутниковых данных, которые, в свою очередь, служат для оценки ряда параметров в целях совершенствования модели. Модели имеют невысокое пространственное разрешение и дают значительные ошибки в ряде случаев, например, при сильной вихревой активности в море. «Ложная тревога» при обнаружении нефтяных пленок влечет затраты на прибытие в эти районы судов береговой охраны, специализированных судов, доставку средств устранения загряз-

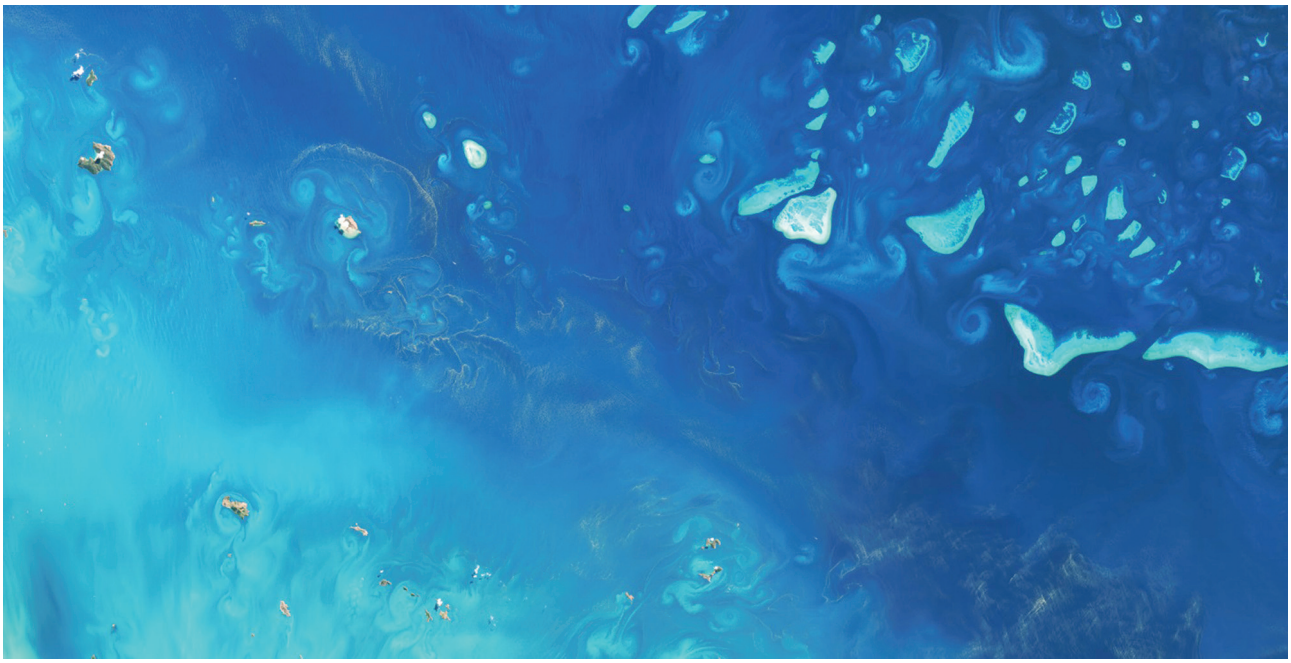


Рис. 2. ***Большой Барьерный риф в Австралии (снимок сделан радарным спутником Sentinel-1 08 06.2015 в 9:17). Данный спутник отслеживает нефтяные пятна и другие загрязнения, определяет направление ветра и течения. Его инструменты способны измерять температуру морской поверхности***

нений и др. Во избежание этих затрат и для решения проблемы эффективного обнаружения таких загрязнений с их последующей локализацией и устранением необходимо решение, сводящее возможность ошибки к минимуму.

Одним из таких решений является следующий комплекс мер:

1) сбор, предварительный просмотр, корреляция, анализ и архивирование данных РСА и данных высокого разрешения оптических сенсоров с использованием сведений из других источников;
2) разработка алгоритмов обнаружения нефтяных пятен по данным РСА и данным оптических сенсоров, выработка рекомендаций для их использования с привлечением данных других сенсоров, контактных измерений, а также информационных систем (таких как, например, спутниковый сервис See The Sea, предназначенный для решения задач исследования процессов, происходящих на морской поверхности [4]), определения масштабов загрязнения;
3) учет геофизических параметров и факторов, влияющих на перемещение и эволюцию нефтяных загрязнений, расчет траектории их перемещения и прогноз распространения;
4) расчет использования средств в ближней зоне и методов ликвидации загрязнений, выдача рекомендаций и инструкций по их применению.

Исследованием путей реализации этих мер и воплощением их в автоматизированной системе сбора информации и контроля загрязнения (далее – система) в инициативном порядке занимается АО «НПФ «Меридиан». Предприятие, имеющее в числе прочего внушительный опыт разработки и производства корабельных информационно-управляющих систем типа БИУС «Требование-М», в настоящее время прорабатывает варианты совместной работы в области контролирования нефтяных загрязнений с соответствующими институтами и организациями, такими как нефтяные компании, Пограничное управление Федеральной службы безопасности РФ и др. Планируется, что система будет объединять суда береговой охраны, вспомогательные суда, суда очистки поверхности моря от загрязнений и другие в единую сеть и решать следующие задачи:

- обмен данными с судами и береговыми объектами, ЛА;
- приём информации со всех источников (РСА, сенсоры и др.), её обработка и корреляция;
- интерпретация и отображение информации о местонахождении нефтяного пятна, экстраполяция его перемещения на фоне спутникового изображения (например, изображение на рис. 2);
- выдача рекомендаций по устранению нефтяного разлива, расчёт времени прибытия специализированных судов (нефтесборщиков, бонопостановщиков, универсальным судам и др.), поставки соответствующих средств устранения загрязнений;
- выдача судам информации о курсе и траектории следования, их корректировка в соответствии с траекторией перемещения загрязнения;
- прием информации от судов о ходе устранения загрязнений;
- выдача информации соответствующим абонентам об устранении загрязнения;
- распределение средств устранения загрязнений и их учет.

Оперативное определение нефтяного разлива позволит наиболее эффективно использовать методы локализации и ликвидации нефтяных загрязнений, такие как боновые заграждения, дамбы, скиммеры, нефтесборные системы, диспергенты и сорбенты, биоремедитация и другие для того, чтобы Мировой океан, наконец, стал выздоравливать.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Владимиров В.А.* Разливы нефти: причины, масштабы, последствия // Стратегия гражданской защиты: проблемы и исследования: научный журнал. – 2015. – С. 217–229.
2. *Митягина М.И., Лаврова О.Ю., Бочарова Т.Ю.* Спутниковый мониторинг нефтяных загрязнений морской поверхности // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2015. – Т. 12. – № 5. – С. 130–149.
3. *Бочарова Т.Ю., Byfield V., Gade M., Silva J.da, Ермаков С. и др.* Международный проект MOPED: «Мониторинг нефтяных загрязнений морской поверхности: синтез разнородных данных многих сенсоров и спутников». – Пятая юбилейная открытая всероссийская конференция, М., ИКИ РАН, 12–16 ноября 2007 г.
4. *Лупян Е.А., Матвеева А.А., Уваров И.А., Бочарова Т.Ю. и др.* Спутниковый сервис Sea the Sea – инструмент для изучения процессов и явлений а поверхности океана // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2012. – Т. 9. – № 2. – С. 251–261.
5. *Чурсин Ф.В., Горбунов С.В.* Аварийные разливы нефти: средства локализации и методы ликвидации. Каталог «Пожарная безопасность» – 2004. URL: secuteck.ru/articles2/prom_sec/avariynie_razlivi ■

СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА, КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ БЕСПЕРЕБОЙНЫМ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЕМ АВТОНОМНЫХ ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ КОМБИНИРОВАННОГО ПРИМЕНЕНИЯ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ ОБНАРУЖЕНИЯ И РАСПОЗНАВАНИЯ СОБЫТИЙ

И.О. Прутчиков, *д-р техн. наук, проф.,*
ст. науч. сотрудник НИИ (ВСИ МТО ВС РФ) ВА МТО,
В.В. Камлюк, *д-р техн. наук, генеральный директор ООО «НПО 122 УМР»,*
Е.Л. Каулин, *канд. техн. наук,*
доцент ФГБОУ ВО «ГУМРФ им. адмирала С.О.Макарова»,
В.И. Михайлов, *канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник,*
Л.С. Федяев, *инженер, НИИ (ВСИ МТО ВС РФ) ВА МТО,*
контакт. тел. 8 (812) 646 7290

В условиях наблюдаемого в настоящее время роста угроз энергетической, экологической, техногенной и других видов безопасности автономных объектов (АО) различного назначения возрастают роль и значение мониторинга, контроля и противоаварийного управления их технических систем. На крупных ответственных объектах обязательны к установке системы мониторинга инженерных систем (СМИС), позволяющие существенно повысить надежность и безопасность их эксплуатации [1]. Представляется, что современное состояние и развитие средств мониторинга, контроля и управления, прежде всего средств обнаружения и распознавания событий, позволяет распространить данный подход и на объекты других категорий, особенно автономных, с целью обеспечения их бесперебойного жизнеобеспечения.

Технические системы автономных объектов включают два доминирующих класса, предопределяющих основные характеристики эффективного функционирования, а именно инженерные системы (ИС) и системы безопасности (СБ) (рис. 1). Данные классы систем имеют свою нормативную и техническую базу, в настоящее время интенсивно развиваются, в том числе путем комбинированного применения. Например, все большее распространение находят интегрированные (ИСБ) и комплексные (КСБ) системы безопасности [2]. Высокоэффективные комбинированные ИС, например связанные с когенерацией, аккумулированием, частотным регулированием и преобразованием энергии, кондиционированием воздуха, использованием различных видов топлив и рабочих сред, также находят в автономных объектах все большее применение [3]. Наблюдается и определенное взаимопроникновение ИС и СБ, закрепленное, в частности, рядом руководящих и нормативных документов [2, 4]. Так, практически каждая ИС оснащается подсистемами противоаварийной защиты и сигнализации, существенно влияющими на техническую (техногенную) безопасность. В свою очередь, некоторые элементы ИС напрямую включаются в состав СБ [4]. В то же время ресурсы ИС и СБ в автономных объектах могли бы быть более рационально и эффективно использованы в случае комбинированного их применения. Для использования с целью контроля ИС ресурсов СБ особенно ценным является полное освоение последними всего спектра электромагнитного излучения от контролируемых объектов (рис. 2). Однако возможности, рамки, глубина и объем полноценного комбинированного применения ИС и СБ должны быть всесторонне исследованы и обоснованы. В этом отношении актуальными представляются анализ и

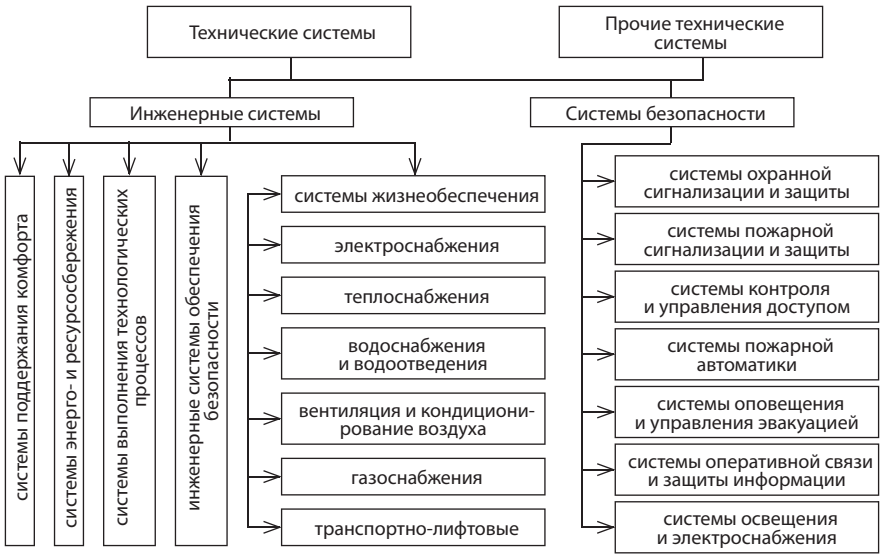


Рис 1. ***Состав и структура технических систем автономных объектов***

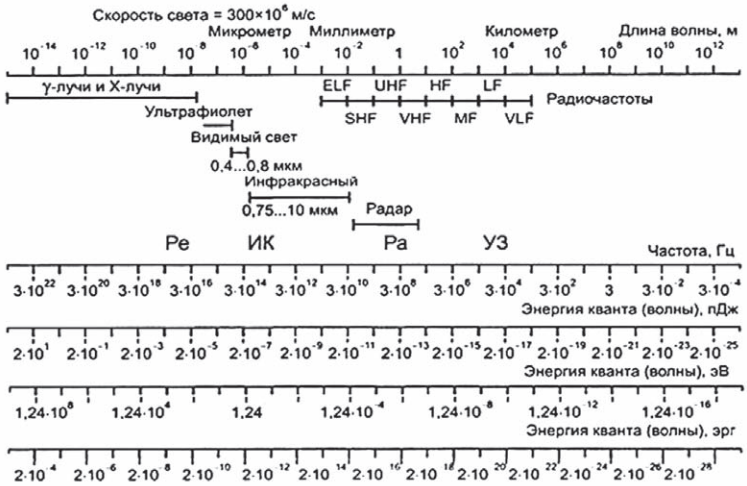


Рис. 2. ***Спектр и энергия излучения электромагнитных волн: Ре — рентгеновский, ИК — инфракрасный; Ра — радио (мм, см, дм); УЗ — ультразвуковой***

обобщение существующего опыта и перспектив комбинированного применения элементов ИС и СБ и распространение его на системы мониторинга, контроля и управления автономных объектов. Для автономных объектов, способных длительное время функционировать без связи с внешними ИС, особую роль из их состава играют системы жизнеобеспечения (СЖ) – электроснабжения, теплоснабжения, водоснабжения и т. п. Основные направления повышения эффективности функционирования СЖ в автономных объектах показаны на рис. 3.

Представляется, что с учетом определенной первичности ИС и СЖ по отношению к СБ, а также понимания единого процесса жизнеобеспечения

Рис 3. ***Основные направления повышения эффективности систем жизнеобеспечения автономных объектов***

как наиболее важного при технической эксплуатации автономных объектов рациональное комбинированное применение элементов ИС и СБ может быть реализовано на базе СЖ или даже их бесперебойной части, например, в виде комбинированных систем мониторинга контроля и управления жизнеобеспечением объектов (СМБЖ).

Как было отмечено ранее, среди технических систем автономных объектов наиболее важную роль, непосредственно предопределяющую уровень боеготовности, играют СЖ (энергоснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха, водоснабжения и водоотведения и т. п.). Выход из строя данных систем, по сути, приводит к невозможности выполнения объектом своих функций и выходу его из строя. В этой связи вопросы обеспечения безопасного функционирования данных систем представляются достаточно актуальными. Как правило, в рамках каждой из технических СЖ предусматривается наличие собственных отдельных подсистем противоаварийной сигнализации и защиты, например, автоматика безопасности котельных установок и систем теплоснабжения, системы аварийной предупредительной сигнализации и защиты автономных энергоисточников и систем энергоснабжения, релейная защита и автоматика электрических сетей и систем электроснабжения, защитные и блокировочные устройства оборудования систем водоснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха и т. д. Однако в современных условиях возрастания требований к технической безопасности СЖ автономных объектов следует признать целесообразность и перспективность комплексного рассмотрения вопросов их безопасного функционирования. Возможность реализации данного подхода подтверждается современной практикой разработки, создания и развития управления СЖ на общей аппаратной, элементной и алгоритмической базе, основанной на применении информационных технологий в составе общей автоматизированной системы управления (АСУ). В настоящее время на базе современных информационных технологий обозначились определенные перспективы построения комбинированных автоматизированных систем, таких как СМБЖ, позволяющих без значительных дополнительных затрат обеспечить безаварийную эксплуатацию автономных объектов, а при интегрированном применении – и другие виды безопасности: физическую, контроль доступа, экологическую, пожарную и т. п. Варианты структурного построения СМБЖ автономных объектов представлены на рис. 4. Согласно рис. 4 и ранее принятым подходам к разработке СМБЖ на базе комбинированного применения элементов СБ и СЖ, наиболее рациональным представляется структурное построение СМБЖ путем совместного применения бесперебойных подсистем жизнеобеспечения (БСЖ) и элементов обнаружения и распознавания событий (ЭОР) систем охранной сигнализации и защиты (СБО). Действительно, согласно проведенным исследованиям и анализу, реализация вариантов СМБЖ на базе КСБ, СМИС и АСУ, показанных на рис. 4, *а–в*, требует, по крайней мере, их наличия на объекте в достаточно полном объеме комплектации, что, однако, согласно руководящим документам и практике выполняется для ограниченного круга крупных, сложных, важных и опасных объектов. Таким образом, для большинства автономных объектов создание СМБЖ на базе комплексных сложных систем безопасности и управления, таких как КСБ (ИСБ), СМИС, АСУ ТП и т. п. следует признать нецелесообразным, прежде всего, из-за очевидно низкой их технико-экономической эффективности.

Ключевым вопросом при разработке и практической реализации автоматизированных систем управления, к которым могут быть отнесены СМБЖ, является сбор и переработка информации. Во многих случаях максимальный эффект для получения и последующего использования в целях контроля и управления информации могут обеспечить оптико-электронные средства и устройства (ОЭС), в частности, видеокамеры (ВК). Эффект от внедрения ОЭС в информационных системах доказывается многочисленными примерами успешного их применения в СБ, управления, мониторинга и диспетчеризации объектов различного назначения, в том числе и автономных [5].

Таким образом, в целях совершенствования управления СЖ автономных объектов, используя существующий задел по реализации информационных систем на базе применения ОЭС, представляется весьма перспективным, так как позволяет повысить уровни технической (технологической, техногенной), энергетической, экологической и других видов безопасности, значительно улучшить показатели технико-экономической эффективности автономных объектов, расширить возможности обеспечения их общей безопасности, автоматического управления, диагностики и мониторинга технического состояния.

Повышение эффективности информационных систем с ОЭС, наряду с совершенствованием собственно данных приборов (аналоговые и цифровые WEB и IP видеокамеры, тепловизионные приборы, приборы ночного видения и т. д.), в большой степени достигается комбинированным их применением. Однако простой механический подход к комбинированию ОЭС, например, последовательная коммутация, мультиплексирование и т.п, вследствие особенностей восприятия информации персоналом и автоматизирован-

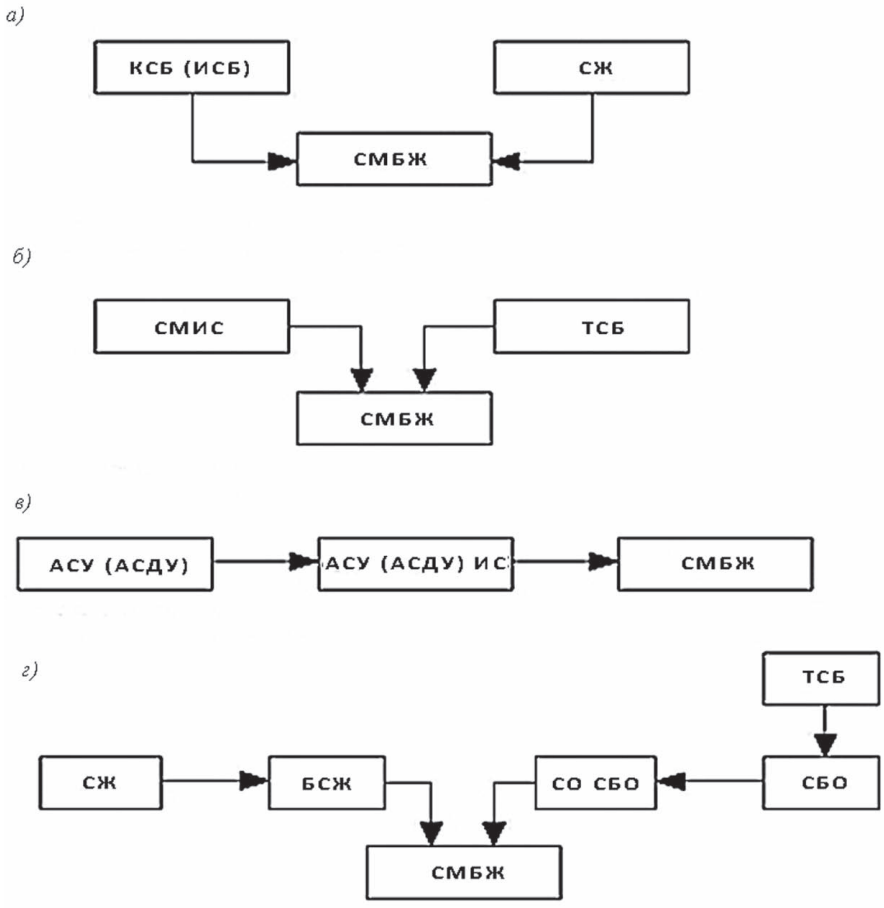


Рис. 4. ***Варианты структурного построения СМБЖ: а – СБМЖ на базе КСБ и ИСБ; б – СБМЖ на базе СМИС; в – СБМЖ на базе АСУ; г – СБМЖ на базе БСЖ и СБО***

ными средствами регистрации событий не позволяет в полном объеме использовать положительные характеристики отдельных ОЭС.

В ВАМТО было предложено при разработке и создании в рамках общих АСУ (АСДУ) объектов, систем мониторинга, контроля и противоаварийного управления с использованием средств обнаружения и распознавания событий (СО) из состава СБО, комбинированное применение ОЭС, например растровых дискретных (твердотельных) и аналоговых (трубочных) ОЭС, обеспечивающее визуализацию регистрируемых событий во всех диапазонах частотного спектра. Комбинирование растров в пространстве и по частотному спектру при этом позволяет улучшить визуализацию важных событий и повысить эффективность автоматической выработки управляющих сигналов. Подробные сведения о разработанных и перспективных для реализации в СМБЖ комбинированных средствах обнаружения и регистрации событий (КСО СМБЖ) во времени, пространстве, по электромагнитному и частотному спектрам представлены в работах [6–8]. Представляется, что разработка и реализация СМБЖ автономных объектов на базе комбинированного использования ОЭС (КОЭС) в настоящее время является важной и актуальной задачей, решение которой позволит значительно повысить эффективность и безопасность функционирования автономных объектов во всех нормальных эксплуатационных и аварийных режимах.

Кроме этого, применение ОЭС как в охранных системах, так и в других областях, на базе современных информационных технологий позволяет реализовать эффективные специальные СМБЖ, способствующие комплексно решать вопросы не только обеспечения надежного и безопасного функционирования автономных объектов во всех эксплуатационных режимах, но и удаленного дистанционного автоматизированного управления, диспетчеризации и мониторинга технического состояния.

Практическое внедрение СМБЖ на базе комбинированного применения ОЭС на автономных объектах, как показали выполненные исследования, позволяет:

– существенно повысить уровень безопасности функционирования СЖ автономных объектов за счет совместного применения более информативных средств обнаружения и распознавания событий;
– улучшить характеристики составляющих комплексной безопасности автономных объектов, прежде всего, физической, контроля доступа, пожарной, экологической и т. п. за счет как автономного применения, так и путем интеграции с существующими СБ;
– повысить эффективность и улучшить технико-экономические характеристики функционирования СЖ в нормальных и аварийных режимах путем применения комбинированных ОЭС, интеллектуальных систем и алгоритмов супервизорного и непосредственного видеоуправления (управления по видеосигналам обратной связи);
– улучшить технико-экономические характеристики и расширить возможности модернизации и реконструкции ИС и СБ автономных объектов за счет эффективного применения ранее установленных или новых недорогих аналоговых ОЭС;
– расширить область эффективного применения и номенклатуру технических систем на базе совмещенных ОЭС за счет повышенного быстродействия, помехоустойчивости, возможности работы в специальных условиях (радиационное и химическое заражения, аномальные условиях окружающей среды и т. п.).

Результаты определения наиболее перспективных направлений совершенствования и развития СЖ автономных объектов на основании выполненных анализа и исследовании могут быть оформлены в виде концепции развития данных систем в рассматриваемых современных условиях применения. Разработка общей концепции развития СЖ автономных объектов представляется в настоящее время достаточно сложной задачей, требующей учета всех особенностей, характеристик и условий применения ИС. Однако в случае выделения в качестве основного условия функционирования ИС объектов их безопасной удаленной автономной работы такая концепция может быть сформулирована. Общие положения данной концепции могут быть сведены к следующему:

1. СМБЖ разрабатывается в целях повышения эффективности функционирования автономных объектов в нормальных и аварийных режимах.
2. Объектами мониторинга, контроля и управления посредством СМБЖ выбираются бесперебойные подсистемы систем жизнеобеспечения (БСЖ), такие как системы гарантированного энергоснабжения, аварийного водо-, воздухо-, тепло-, топливоснабжения и т. п.

3. СМБЖ строятся в виде автономной подсистемы АСУ (АСДУ) инженерными системами с применением алгоритмов и средств удаленного интеллектуального управления.
4. Приоритетными показателями эффективной работы СМБЖ, исходя из целей назначения, следует считать обеспечение безопасной удаленной автономной работы объекта.
5. Структурно СМБЖ формируется путем комбинированного применения БСЖ и СБО.
6. В зависимости от объема и уровня оснащения автономных объектов бесперебойными подсистемами СЖ и техническими СБ (ТСБ) реализовать СМБЖ можно на базе СБО путем дооснащения их необходимыми БСЖ либо на базе БСК посредством дооснащения их ЭОС СБО.
7. Применяемые в СМБЖ элементы СЖ и ТСБ оснащаются средствами автоматизации, обеспечивающими требуемый период автономной удаленной работы объекта.
8. Разрабатываемые СМБЖ должны допускать комбинированное (интегрированное) использование с другими ИС и СБ, а также АСУ (АСДУ) верхнего и нижнего уровней.

В качестве объекта разработанной концепции развития СЖ путем реализации СМБЖ могут быть в первую очередь выделены такие бесперебойные подсистемы систем жизнеобеспечения (БСЖ), как системы гарантированного энергоснабжения, аварийного освещения, водо-, тепло-, топливоснабжения и т. п.

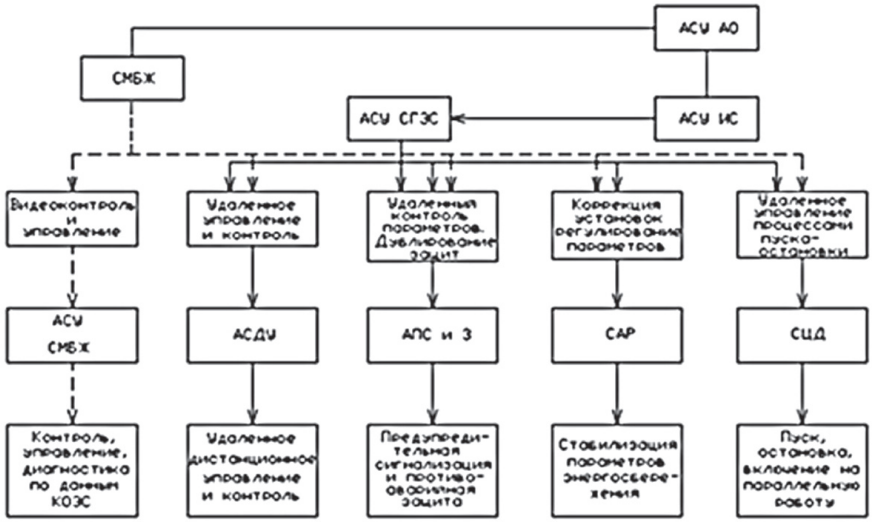


Рис .6 ***Функциональная схема включения СМБЖ СГЭС в состав АСУ автономного объекта***

СМБЖ на базе КОЭС могут быть разработаны так, как это показано на рис 5. Для практической реализации СМБЖ в АО требуются исследования возможности оптимизации структуры и параметров, оценки технико-экономической эффективности, разработки и испытаний опытных образцов. К настоящему времени в данной области выполнены исследования по нескольким направлениям, в частности, разработана функциональная схема включения СМБЖ СГЭС в состав АСУ автономного объекта (рис. 6).

Таким образом, разработка и создание систем мониторинга, контроля и управления бесперебойным жизнеобеспечением автономных объектов на основе комбинированного использования оптико-электронных средств обнаружения и распознавания событий представляется весьма актуальной.

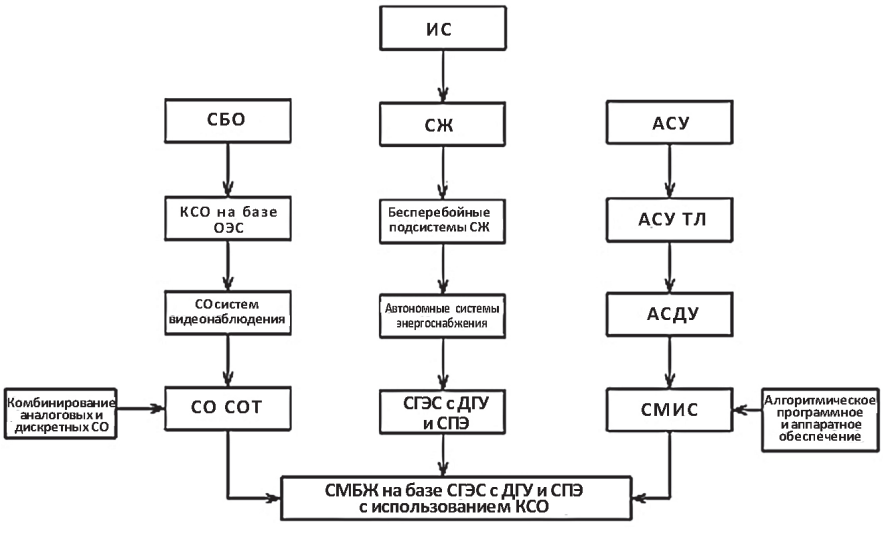


Рис. 5. ***Система мониторинга, контроля и управления бесперебойным жизнеобеспечением автономного объекта (на примере СГЭС с ДГУ и СПЭ)***

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 22.1.12–2005. Структурированная система мониторинга и управления инженерными системами зданий и сооружений. Общие требования. – М.: Стандартинформ, 2005.
2. ГОСТ Р 53704–2009 Системы безопасности комплексные и интегрированные. Общие технические требования. – М.: Стандартинформ, 2010.
3. *Прутчиков И. О., Камлюк В. В.* Комбинированные энергоустановки автономных объектов с частотным регулированием и преобразованием энергии. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 2007. – 448 с.
4. ГОСТ Р 53195.1–2008 Безопасность функциональная связанных с безопасностью зданий и сооружений систем. Часть 1.Основные положения. – М.: Стандартинформ, 2009.
5. *Петраков А. В., Федяев Л. С.* Защитные информационные технологии аудиовидеоэлектросвязи. – М.: Энергоатомиздат, 2010, с. 40–50.
6. *Федяев Л. С.* О комбинировании растровых устройств обнаружения и опознания в системах охраны объектов // Спецтехника и связь. – 2012. – № 2. – с. 14–16.
7. *Федяев Л. С.* Патент РФ № 69277. «Интегральный периферийный контроллер для магистральной системы телевизионного наблюдения и охранной сигнализации», 10.12.2007.
8. *Федяев Л. С.* К развитию современных средств телевизионного наблюдения для охраны государственной границы. – Тр. междунар. конфер. «Телекоммуникационные и вычислительные системы» – М., 2009, с. 275–277.

О СИСТЕМНОМ РЕШЕНИИ АКТУАЛЬНЫХ ПРОБЛЕМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ И ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНЫХ РАБОТ НА МОРЕ НА ОСНОВЕ УЧЕТА ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ

В.Н. Илюхин, *д-р техн. наук, проф., председатель НКО «АРПСТТ»,*
А.Б. Федоров, *зам. начальника центра инновационных исследований АО «ГНИНГИ»,*
контакт. тел. (812)927 8501, (812)322 6643

Анализ аварийности мирового флота показывает, что, несмотря на высокий уровень судостроения и развития навигации, аварии и гибель судов и морских объектов вследствие неблагоприятных гидрометеорологических условий (ГМУ) весьма высоки. Ежегодно примерно каждое третье из плавающих судов попадает в аварию, в Мировом океане погибают свыше 200 тыс. человек [1].

По данным [2], при авариях на морских плавающих нефтегазодобывающих комплексах (МПНК) погибло:

- 123 человека (58% персонала МПНК «Alexander L. Kielland») 7.03.1980 г. в Северном море;
- 84 человека (100% персонала МПНК «Ocean Ranger») 15.02.1982 г. в Северной Атлантике;
- 167 человек (75% персонала МПНК «Piper Alpha») 6.07.1988 г. в Северном море;
- 53 человека (80% персонала МПНК «Кольская») 18.12.2011 г. в Охотском море и др..

Указанная статистика показывает, что экстремальные природно-климатические условия, включая низкие температуры воздуха, сильные ветры, наличие ледяного покрова и дрейфующих льдов в арктических морях, рассматриваются как ключевые факторы рисков и угроз, оказывающие влияние на социально-экономическое развитие и формирование государственной политики в Арктической зоне РФ (АЗ РФ), что определено положениями «Стратегии развития Арктической зоны Р Ф и обеспечения национальной безопасности на период до 2020 года» [3] и Основы государственной политики Р Ф в Арктике на период до 2020 года и дальнейшую перспективу» [4].

При этом ГМУ накладывают значительные ограничения не только на мореведческую деятельность, но и на возможность и эффективность выполнения аварийно-спасательных работ (АСР) в море. Так, из-за неблагоприятных ГМУ в 2011 г. была прекращена спасательная операция затонувшей платформы «Кольская», в 2012 г. – АСР и поиски пропавших без вести членов экипажа затонувшего теплохода «Амурская», а в 2015 г. АСР и тушение пожара на месторождении «Гюнешли» продолжались более двух месяцев.

Приведенные факты свидетельствуют о том, что знание и учет аварийно-спасательными силами ГМУ на маршрутах перехода, в районах поиска терпящих бедствие в море и в районах выполнения АСР одно из важнейших условий эффективности их выполнения.

При принятии решения о проведении в море АСР оцениваются не только географическое положение района работ и навигационная обстановка на маршруте перехода и в районе работ, но также:

- ГМУ (температура и влажность воздуха; направление и сила ветра; видимость; облачность; ледовая обстановка; осадки; опасные гидрометеорологические явления; повторяемость гидрометеорологических явлений (туманы, осадки), затрудняющие визуальное обследование района поиска);
- гидрологическая обстановка (температура и соленость воды; волнение моря; распределение течений по глубине; колебание уровня воды, приливные явления; распределение скорости звука по глубине, слой скачка);
- условия освещенности (продолжительность светлого времени суток (время восхода и захода солнца).

Особые, повышенные, требования предъявляются к АСР, выполняемым в экстремальных природно-климатических условиях Арктики, обусловленных наличием полярного дня и полярной ночи, большим количеством штормов и метелей, большой повторяемостью дней с туманами, ограниченной видимостью, частым возникновением рефракции, низкими температурами воздуха, обледенением, наличием морских льдов и айсбергов, гидрофизическими условиями морей.

Ветер и волнение моря, туман, дымка, парение моря и осадки, облака, приливные явления и характер течений в районе выполнения АСР оказывают существенное влияние на силы и средства поисковых и спасательных отрядов. Дальность видимости объектов в море зависит от прозрачности атмосферы. В туман она может уменьшаться до нуля. Осадки, дождь и снег также уменьшают дальность видимости и радиолокационную наблюдаемость объектов. Особенно сильное влияние на дальность видимости оказывает падающий в тихую погоду снег. Осадки при сильном ветре выпадают зарядами, и дальность видимости в самое короткое время может измениться очень резко. Наличие дождя и снега уменьшает радиолокационную наблюдаемость объектов.

Поиск объектов на поверхности воды осуществляется одновременно визуально и техническими средствами в течение всего периода проведения поисковой операции. При этом надо учитывать, что при визуальном и звуковом обнаружении и обнаружении инфракрасными и телевизионными средствами существенное влияние оказывают ГМУ, волнение моря и время суток, а при обнаружении радиотехническими, радиолокационными и навигационными – гидрометеорологические и гидрологические условия.

Поиск объектов, находящихся на грунте, ведется гидроакустическим и телевизионным способами и визуально водолазами. Одновременно проводится обследование водной поверхности визуально и техническими средствами в целях обнаружения признаков объекта на поверхности воды – масляных или бензиновых пятен, воздушных пузырей, предметов, относящихся к объекту или плавающим людям. На дальность обнаружения объектов гидроакустическим способом оказывают влияние гидрологические условия и состояние моря, а телевизионным способом и визуально – прозрачность воды.

К поиску объектов в море привлекается авиация, на эффективность сил и средств которой оказывают влияние осадки, лед, ветер, облачность, туман, время суток, состояние моря.

Опыт проведения спасательных операций свидетельствует о том, что гибель людей, как правило, происходят до прибытия сил аварийно-спасательного обеспечения (АСО).

В чем же причина, на что надо обратить внимание, какие надо принять

первоочередные меры, чтобы обеспечить выживание терпящих бедствие людей?

Очевидно, что при существующей удаленности мест дислокации морских аварийно-спасательных формирований от возможных мест возникновения аварий на морских объектах или с морскими объектами, особенно в АЗ РФ, и прямой зависимости сил и средств АСО от ГМУ, своевременное спасание людей не всегда представляется возможным.

Следовательно, особый приоритет должен быть отдан развитию и созданию современных и эффективных спасательных средств, в первую очередь, индивидуальных и коллективных средств самостоятельного спасания, размещаемых на морских объектах.

При авариях кораблей, морских и воздушных судов на море, авариях на морских объектах нефтегазовой отрасли, оставшиеся в живых люди могут быть размещены на коллективных средствах спасания (спасательных шлюпках, плотах) или оказаться в воде в индивидуальных спасательных средствах (в спасательных жилетах, нагрудниках, гидрокостюмах). Под воздействием ветровых волн и приливно-отливных течений суда, шлюпки, плоты и люди в индивидуальных спасательных средствах будут дрейфовать, поэтому при проведении операций по поиску и спасению на море в дополнение к прогнозам ветра и волн существенное значение имеет указание направления и скорости дрейфа. А также необходимо знать температуру поверхности моря, поскольку она является важным фактором при определении времени выживания людей в воде (табл. 1).

ГМУ при ведении мореведческой деятельности, в том числе и проведении АСР, постоянно воздействуют на морские объекты, а при превышении предельно-допустимых показателей, заложенных проектантами, приводят к аварийным ситуациям и авариям с гибелью самих морских объектов и находящихся на них людей.

Основным индивидуальным средством спасения (ИСС) людей в море должны быть гидротермокостюмы (ГТК), которые уменьшают опасность для спасаемых и обеспечивать время, необходимое для прибытия сил АСО и оказания им помощи, в том числе и в условиях Арктики. С учетом указанных выше факторов, а также исходя из многовариантности возможных чрезвычайных ситуаций и особенностей проведения спасательных работ, создание эффективного ИСС для морских объектов является актуальной научно-технической задачей.

В табл. 2 приведены характеристики некоторых из применяемых в настоящее время в различных ведомствах (Минобороны, Минтранс, МЧС России, БОХР ФСБ России, Росрыболовство, ПАО

Таблица 1

Сроки выживания человека в воде в зависимости от ее температуры

Температура воды, °С	Время до наступления (без спецодежды и снаряжения)		Способ нахождения в воде	Прогнозируемое время выживания, ч, при температуре 10 °С
	потери сознания	вероятная смерть		
10	15–30 мин.	15 мин. – 1,5 ч	Плавание без спасательного жилета	До 1,5
11–12	30–60 мин.	1–2 ч	Плавание в спасательном жилете	2
13–15	2–4 ч	6–8 ч	Нахождение в неподвижной позе в спасательном жилете	Ок.3
16–18	2–4 ч	6–8 ч	Нахождение в спасательном жилете (в положении сгруппировавшись)	4
19–21	3–7 ч	8–10 ч	Нахождение в воде группы в спасательных жилетах, тесно прижавшись друг к другу	4
26	12 ч	Безопасно для жизни		

«Газпром» и др.) отечественных и зарубежных ГТК, а на рис. 1 показаны испытания отечественного ГТК.

Рис. 1. ***Испытания отечественного ГТК***

В отечественных ГТК (модели ГТК-СА–2004, ГТКС–2004, ГТКС–6, ГТКС) теплоизоляционный контур (вкладыш) закреплен внутри водонепроницаемого комбинезона. В качестве теплоизоляционного материала применены неопрен (губчатая резина), изолон (пенополиэтилен) толщиной до 7 мм, обеспечивающий в течение 6 часов защиту от переохлаждения в воде с температурой от –2 °С до +30 °С.

В гидрокостюмах Arctic (Норвегия, фирма Viking), Hansen Protection (Норвегия), Typhoon Int.Ltd (Великобритания) и других также использован неопрен толщиной до 6 мм, обеспечивающий защиту в течение 6 часов от переохлаждения в воде с температурой от –2 °С до +30 °С.

Отечественные и зарубежные модели ГТК обладают аналогичными параметрами теплозащиты. Практически все модели гидрокостюмов в качестве теплозащиты используют материалы с ячеистой структурой, обеспечивающие относительный тепловой комфорт при температуре морской воды до –2 °С. В отдельных моделях ГТК используются объемные нетканые материалы на основе искусственных волокон.

Согласно Кодексу ЛСА [5] гарантируют выживание человека существующие зарубежные и отечественные модели ГТК, изготовленные из материала, обладающего теплоизоляционными свойствами, благодаря которым внутренняя температура тела человека не падает более чем на 2 °С после пребывания его в течение 6 ч в циркулирующей воде с температурой от 0 до 2 °С при отсутствии волнения. Требования к температуре окружающего воздуха при этом не устанавливаются.

Требования к ГТК, установленные Российским морским регистром судоходства (РМРС) в «Правилах по оборудованию морских судов». (Ч. 2: Спасательные средства») [6], соответствуют международным требованиям Кодекса

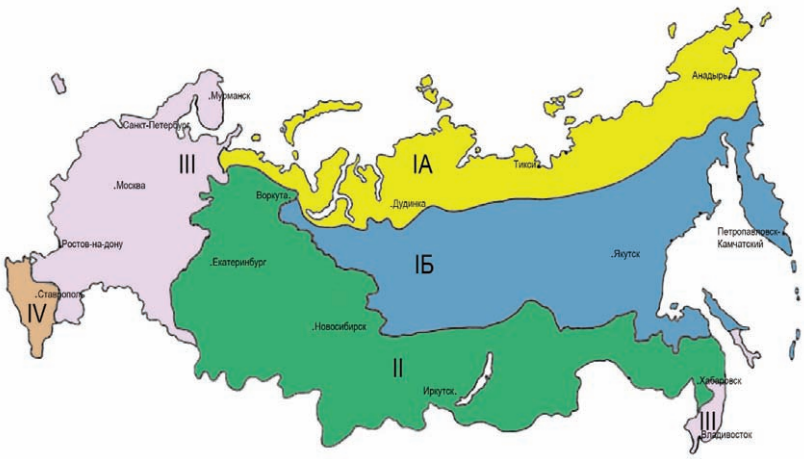


Рис. 2. ***Схема районирования территории РФ по климатическим поясам***

Таблица 2

Характеристики отечественных и зарубежных гидротермокостюмов

Страна-производитель	Фирма	Модель	Теплоизоляция (материал/констр.)	Макс. допуст. время нахождения в цирк. воде (0 ÷ +2 °С.) ч	Диапазон темп-ры хранения, ° С.	Диапазон темп-ры эксплуатации (водная среда) ° С.	Оснащение костюма	Необходимость применения жилета спасательного
Норвегия	HANSEN PROTECTION	SEA BASIC/ NORDIC/ ARCTIC	Неопрен 5 мм	6	–30° С +65° С	–2° С +30° С	Строп, спас. линь, огонь, свист. Защит. капюшон для лица, мешок переворота («лицом вверх»)	Нет
Норвегия	HANSEN PROTECTION	SEA AIR1	2-контурный	6	–30° С +65° С	–2° С +30° С	Строп, спас. линь, огонь, свист. Мешок перев, М.6. укомплек. переносной р/с УКВ, дых. устр. ЕКВЗ, УКВ поиск Н1.Р-1, сапоги	Нет
Норвегия	HANSEN PROTECTION	SEA ECO	Неопрен 5 мм	6	–30° С +65° С	–2° С +30° С	Строп, спас. линь, огонь, свист.	Да
Великобритания	Typhoon International Limited	TS10 5JU	»»	6	–30° С +65° С	–2° С +30° С	Строп, спас, линь, огонь, свист.	Да
Россия	АО УЗЭМИК	ГТК-А	2-контурный	6	–30° С +65° С	–2° С +30° С	Строп, спас. линь, огонь, свист.	Да
Россия	ОАО «Курскрезинотехника»	ГТКС	Неопрен 7 мм	6	–30° С +65° С	–2° С +30° С	Строп, спас. линь, огонь, свист.	Да
Россия	НПП МСС/ООО «АЛЬФА-КОРАБЕЛ»	ГТКСА-2004	»»	6	–30° С +65° С	–2° С +30° С	Строп, спас. линь, огонь, свист.	Да
Россия	НПП МСС/ООО «АЛЬФА-КОРАБЕЛ»	ГТКС-6	2-контурный	6	–30° С +65° С	–2° С +30° С	Строп, спас. линь, огонь, свист.	Нет
Россия	ООО «НПП СЗМА»»	ГТКС-2004	Неопрен 5 мм	6	–30° С +65° С	–2° С +30° С	Строп, спас. линь. Огонь, свист.	Да
Россия	ООО «АКВАТИКС-ПРО»	ГТКС-М	»»	6	–30° С +65° С	–2° С +30° С	Строп, спас. линь, огонь, свист.	Нет
Дания	VIKING	PS4170.10A/B	2-контурный	6	–30° С +65° С	–2° С +30° С	Строп, спас. линь, огонь, свист.	Нет
Дания	VIKING	P85337	Неопрен 5 мм	6	–30° С +65° С	–2° С +30° С	Строп, спас. линь, огонь, свист.	Да
Дания	VIKING	P55002	2-контурный	6	–30° С +65° С	–2° С +30° С	Строп, спас. линь, огонь, свист.	Нет
Дания	VIKING	P52014	Неопрен 5мм	6	–30° С +65° С	–2° С +30° С	Строп, спас. линь, огонь, свист.	Да
Германия	Aquata	AROv20	»»	6	–30° С +65° С	–2° С +30° С	Строп, спас. линь, огонь, свист.	Нет
Германия	Aquata	AROv40	Неопрен 7 мм	6	–30° С +65° С	–2° С +30° С	Строп, спас. линь, огонь, свист.	Нет
Китай	WUXI XINGTAI CO LTD	XTBFK1/II	2-контурный / Неопрен 5 мм	6	–30° С +65° С	–2° С +30° С	Строп, спас. линь, огонь, свист.	Да

ЛСА [5]. Требования РМРС к ГТК распространяются и на МПНК.

Схема районирования территории Российской Федерации по климатическим поясам (регионам) (рис. 2) охватывает все северные моря России, а также Дальнего Востока.

Климатические условия климатического пояса (региона) IA характеризуются рядом показателей – см. табл. 3:

Основными факторами, влияющими на эффективность проведения АСР, а значит, время наступления переохлаждения человека, в АЗ РФ являются:

– низкая температура воздуха (до – 50 °С) и морской воды (до – 2,0 °С);
– штормовые ветры (до 25 м/с);
– сильное волнение моря (до 7 баллов);

Таблица 3

Характеристика климатического пояса (региона) IA

Наименование	Зима	Лето
Температура воды:		
средняя по поясу IA	От +6,0°С до +7,0 °С	+10,0 °С
минимальная по поясу IA	От –0,8°С до –1,9 °С	От +2,0°С до +14,0 °С
Температура воздуха:		
средняя по поясу IA	–25,0 °С	От –1,0°С до +14,0 °С
минимальная по поясу IA	–50,0 °С	-1,0 °С
Скорость ветра:		
средняя годовая	6–8 м/с	
средняя зимняя	⩾ 8 м/с	
штормовые ветра	До 25 м/с	

– ледовое покрытие (в течение 7 месяцев, кроме Баренцева моря);
– значительные расстояния сил АСО до предполагаемого местонахождения человека в аварийной ситуации (сотни километров);
– ограниченное время для принятия решения о проведении АСР;
– снижение психологических и физиологических показателей человека при переохлаждении и т. д.

У человека, находящегося в ГТК на плаву, около 50–70% поверхности ГТК находится в воздухе, теплофизические параметры которого отличаются от соответствующих параметров воды. Штормовой ветер буквально «сдувает» тепло с надводной поверхности ГТК, многократно увеличивая его тепловые потери, несмотря на то, что погруженная в воду часть ГТК находится в относительно теплой по сравнению с воздухом среде. Это предъявляет дополнительные требования к теплозащите фронтальной поверхности ГТК, топографии размещения теплозащитных участков у теплогенерирующих зон тела человека.

В соответствии с требованиями национальных стандартов [10, 12] в ГТК должны быть предусмотрены:
– обязательная защита лица и органов дыхания во избежание локальных поражений и других видов патологий;
– защита от переохлаждения головы, верхнего затылочного участка спины, груди, кистей рук, ног.

Анализ требований национальных стандартов по индивидуальным средствам спасения и ведомственных нормативных документов показал отсутствие требований ко времени защитного действия, учитывающего параметры внешних температурных (вода, воздух) и динамических (волнение, скорость ветра) воздействий применительно к АЗ РФ, определяющих декларируемое время защитного действия ГТК.

Коллективные спасательные средства (КСС) (спасательные плоты и спасательные шлюпки) должны обеспечивать надежное и безопасное оставление морского объекта с учетом возможных неблагоприятных погодных условий (рис. 3) во время чрезвычайных ситуаций, эвакуацию и выживание людей в покрытых льдами водах либо непосредственно на льду в течение максимального ожидаемого времени прибытия сил спасания.

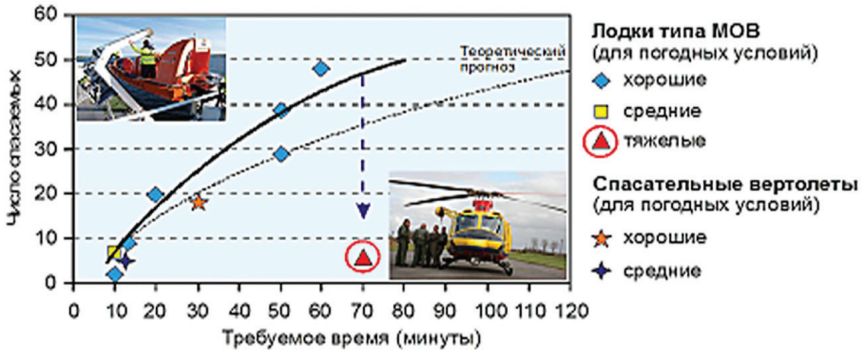


Рис. 3. ***Зависимость требуемого времени эвакуации от погодных условий и числа спасаемых людей***
И с т о ч н и к: Jan Enk Vinnem «Offshore Risk Assesment», 2007

а) *б*)

Рис. 4. ***Внешний вид сбрасываемой спасательной шлюпки (а) и спасательного плота (б)***

Существующие коллективные спасательные средства (рис. 4) обеспечивают спасание людей только на «чистой» воде, но не отвечают требованиям Полярного Кодекса [7].

Это подтверждается материалами исследований в ходе российско-норвежского проекта «Баренц 2020» [8], задачей которого является оценка существующих стандартов. Было отмечено, что в сложных ГМУ, в том числе в ледовых условиях АЗ РФ, применение существующих спасательных средств, широко используемых на морских судах и нефтегазодобывающих платформах в незамерзающих морях, малоэффективно, они не обеспечивают выживание человека при сверхнизких температурах.

Поэтому в качестве перспективного коллективного спасательного средства в Арктике в настоящее время рассматриваются многоцелевые амфибии на роторно-винтовом движителе (рис. 5).

Коллективное спасательное средство амфибийного типа позволяет персоналу и экипажу оставить аварийный объект при возникновении чрезвычайных си-

Рис. 5. ***Многоцелевые амфибии на роторно-винтовом движителе***

туаций и удалиться от аварийного объекта на безопасное расстояние по льду и/или воде для передачи спасенных силам АСО.

Коллективное спасательное средство амфибийного типа можно эксплуатировать:

– по воде, заболоченной местности, любой твердой относительно ровной поверхности, в том числе заснеженной или поросшей травой и мелким кустарником, по гладкому и торосистому льду при средней высоте неровностей до 0,9 м;
– до скорости ветра 20 м/с при сохранении уверенной управляемости и курсовой устойчивости;
– на поверхностях со сложным рельефом (поперечный склон – 10 °, не менее, подъемы и спуски – 15 °, не менее) при сохранении уверенной управляемости и курсовой устойчивости.

Кроме того, такое средство способно преодолевать кромку ледяного поля (высотой над поверхностью воды не менее 0,5 м) при выходе с воды на лед и обратно; базироваться на борту морских объектов на открытой площадке.

Облик перспективной автоматизированной системы безопасного спуска многоцелевой амфибии с морской буровой платформы представлен на рис. 6.

Рис. 6. ***Облик перспективной автоматизированной системы безопасного спуска многоцелевой амфибии***

Рис. 7. ***Структура организации поиска и спасания на море и внутренних водах РФ***

Основной задачей взаимодействия при проведении АСР является обеспечение быстрых скоординированных и эффективных действий по спасанию людей и аварийных объектов силами и средствами участников федеральной системы поиска и спасания на море. (рис. 7).

Одним из условий успешного взаимодействия ведомственных аварийно-спасательных служб при выполнении АСР на море является соответствие ведомственных руководящих и нормативно-правовых документов возможностям их сил.

В систему нормативных документов действующих в РФ входят:

– документы, регламентирующие общие вопросы обеспечения безопасности персонала;
– документы, регламентирующие специфические вопросы охраны человеческой жизни, поиска и спасания людей и судов, терпящих бедствие на море;
– ведомственные документы, регламентирующие частные вопросы АСО в том или ином ведомстве.

К документам, строго регламентирующим условия выполнения работ на акваториях портов и в море, относятся:

– Правила по охране труда на судах морского и речного флота (утверждены приказом Министерства труда и социальной защиты РФ 5 июня 2014 г. № 367н) [13], которые разрешают швартовные операции, производство грузовых и пассажирских операций и стоянку плавсредств у бортов транспортных судов в открытом море и на рейдах выполнять только с учетом ГМУ и только в тех случаях, когда углы крена и дифферента судов, максимальная высота волны, а также скорость ветра и течения в районе стоянки судов не превышают значений, предусмотренных инструкциями проектантов судов.

– Правила охраны труда в морских портах (ПОТ РО-152-31.82.03–96) (утверждены Приказом Департамента морского транспорта Министерства транспорта РФ 9 января 1996 г. № 2) [14], которые определяют, что:

· перевозка людей на транспортные суда, стоящие на рейде, допускается при силе ветра не выше 3 баллов, волнении моря не выше 2 баллов и благоприятном прогнозе погоды;

· работа кранов в случаях непосредственного участия людей при строповке-отстроповке грузов допускается при скорости ветра не более 15 м/с, если в паспорте не указана меньшая величина;

· при плохой видимости (из-за недостаточной освещенности, тумана, атмосферных осадков и т. п.), когда крановщик плохо различает команды сигнальщика или перемещаемый груз, работа крана должна быть прекращена;

· проведение погрузочно-разгрузочных работ на рейде должно быть прекращено при высоте волны свыше 1,25 м.

– Межотраслевые правила по охране труда при проведении водолазных работ (утв. приказом Министерства здравоохранения и социального развития РФ 13 апреля 2007 г. № 269) [15], которые устанавливают требования к охране труда при выполнении водолазных спусков и работ на глубинах до 60 м, при аварийных ситуациях – до 80 м и при спусках в барокамере – до 100 м вод. ст.:

· максимальная глубина спуска – в соответствии с эксплуатационными характеристиками используемого типа водолазного снаряжения, но не более 12 м;

· светлое время суток от начала спуска до выхода из воды (или перевода спускающегося водолаза в декомпрессионную барокамеру при смешанной декомпрессии);

· подводная работа выполняется на чистом грунте или открытой палубе затонувшего судна;

· температура воздуха у поверхности воды выше 0 °С;

· атмосферное давление выше 700 мм рт. ст.;

· температура воды у поверхности от +4 до +37 °С;

· видимость под водой не менее 1 м;

· скорость течения воды не более 0,5 м/с;

· волнение водной поверхности не более 2 баллов;

· отсутствие загрязнения воды (вода не заражена отравляющими и радиоактивными веществами, не содержит нефтепродуктов, хозяйственно-бытовых отходов и пр.).

Правила запрещают проводить водолазные спуски и работы:

– в неисправном, непроверенном или некомплектном водолазном снаряжении, при отсутствии средств связи, без водолазного ножа, с использованием для дыхания воздуха, не прошедшего химического анализа в соответствии с установленными требованиями;
– в вентилируемом снаряжении при температуре воздуха ниже –30 °С, а в гидрокомбинезонах – ниже –20 °С. При отсутствии защитных приспособлений над майной запрещаются спуски при температуре воздуха ниже –10 °С и силе ветра 7 баллов (14 м/с), а также при температуре воздуха ниже –15 °С и силе ветра 5 баллов (8,5 м/с);
– на течении свыше 2 м/с;
– с борта неостойчивых плавсредств (байдарок, каноэ, шверботов, и т. п.);
– с судов, не имеющих надежной установки над местом работ способом, исключающим дрейф под влиянием течения, ветровой нагрузки и волнения водной поверхности;
– с борта судов и плавсредств (кроме специальных плавсредств), а также с береговых объектов при степени волнения более 2 баллов (при спасении людей допускаются спуски при волнении более 3 баллов с принятием дополнительных мер безопасности);
– под корпусом судна при минимальном расстоянии между грунтом и днищем судна менее 2 м по всей длине с учетом колебания судна на волнении;
– при удалении водолаза в вентилируемом снаряжении от спускового конца более чем на 20 м;
– – с погружением в бензин и другие жидкости, интенсивно разрушающие водолазное снаряжение

В то же время, в частных случаях (спасение людей, аварии и т. п.), правила допускают по специальному разрешению руководителя водолазных работ спуски при более низких температурах и большей силе ветра с обязательным применением всех возможных мер безопасности в зависимости от конкретных условий.

Эти же Правила запрещают плавание водолазов на подводных средствах передвижения (ПСД) при наличии хотя бы одного из нижеперечисленных факторов:

– при скорости течения воды более 1 м/с;
– при волнении свыше 2 баллов;
– при видимости под водой грунта на расстоянии менее 3 м;
– при атмосферной видимости менее 500 м;
– при силе ветра более 3 баллов;
– при наличии в районе обследования льда, в том числе битого или шуги.

– Российский морской регистр судоходства и Российский речной регистр [16, 17], осуществляющие освидетельствование поднадзорных судов с целью обеспечения условий безопасности их плавания, охраны жизни и здоровья пассажиров и судовых экипажей, сохранности перевозимых грузов, предотвращения загрязнения с судов, проводят их классификацию и выдают с классом регистра документы соответственно, удостоверяющие годность к плаванию в море морских судов с установленными районами плавания и речных судов в водных бассейнах с установлением разрядов в зависимости от их ветро-волнового режима.

– Инструкции по эксплуатации поисково-спасательных средств и оборудования, технических средств, применяемых при выполнении АСР, устанавливают условия и ограничения их использования по гидрометеорологическим условиям.

Таким образом, состояние нормативной правовой базы АСО на море в России в целом отражает невысокий уровень развития морского законодательства в области поиска и спасания на море и характеризуется недостаточным совершенством.

В настоящее время каждое ведомство федеральной системы поиска и спасания на море организует свою систему поисково-спасательного обеспечения, издает свои нормативные документы, организует подготовку спасателей, разрабатывает и принимает на снабжение поисковые и аварийно-спасательные технические средства.

В ведомственных документах (в руководствах, наставлениях, инструкциях, справочниках) приводятся тактико-технические характеристики корабельных и авиационных средств поиска и спасания (навигационных радиолокационных станций (РЛС), корабельных навигационных РЛС, радиотехнических, инфракрасных и телевизионных средств, стоящих на вооружении, и технические характеристики спасательных средств с указанием критических сроков пребывания в них человека в воде, а также плавсредств с указанием их мореходности.

Ведомственные документы определяют организацию поиска терпящих бедствие в море и организацию работ по спасанию людей, тушению пожаров, буксировке аварийных объектов и др.

Такое положение дел приводит к тому, что *в Российской Федерации до настоящего времени не выработаны единые требования к аварийно-спасательной технике и оборудованию и к выполнению поисковых и аварийно-спасательных работ на море и внутренних водах. Причинами такого положения является отсутствии комплексного подхода к функционированию федеральной системы поиска и спасания на море и внутренних водах и ведомственной ее разобщенности.*

При поиске и спасании на море ведомственные службы выполняют сходные задачи, зачастую в одних и тех же регионах, но из-за несовершенства нормативно-правовой базы и преобладания ведомственных задач, не решают задачу поиска и спасания на море в комплексе. Вместе с тем принцип взаимодействия при выполнении АСР предполагает гармонизацию требований к руководящим документам, силам и средствам АСО каждого из ведомств.

Поскольку в РФ координатор развития системы АСО морской деятельности нормативно не определен, то и реализация мероприятий по развитию систем спасания на море, осуществляемых по отдельным ведомственным программам и планам соответствующих министерств и ведомств, приводит к негативным последствиям:

– несовершенству нормативно-правовой базы, несоответствию поисково-спасательного обеспечения морской деятельности современным условиям;
– несовершенству технической нормативной базы (ГОСТов, общих технических требований, технических регламентов и т. п.);
– отсутствию единой государственной технической политики по созданию

новой поисково-спасательной техники, поддержанию и модернизации существующих сил и средств;
- отсутствию системы обязательной сертификации поисково-спасательной техники, в том числе и приобретаемой за рубежом;
- отсутствию единой системы подготовки морских спасателей;
- недостаточному уровню автоматизации процессов управления и информационной поддержки АСО морских спасательных операций внутри ведомств;
- отсутствию достаточного взаимодействия оперативных органов управления поисково-спасательным обеспечением различных ведомств реализуемого на основе современных информационных технологий.

ВЫВОДЫ

1. Производимые в России и в зарубежных странах средства спасания и выполнения АСР соответствуют действующим международным требованиям обеспечения спасения жизни человека, терпящего бедствие на море, но не учитывают комплекс ГМУ во время пребывания в воде и сверхнизкие температуры при пребывании в воздушной среде на льду, что в итоге осложняет спасение и выживание человека в арктических условиях.

2. Действующая национальная нормативная база к ИСС не учитывает в должной степени арктические природно-климатические условия и требования Полярного Кодекса при регламентации требований к средствам спасания и выполнения АСР. Национальные стандарты и ведомственные нормативные документы к средствам спасания морских судов необходимо актуализировать в части учета реальных природно-климатических условий Арктики.

3. Создание средств спасания и выполнения АСР для морских объектов на основе сформулированных базовых требований должно быть одним из приоритетных направлений развития отечественной поисково-спасательной техники и технологий.

4. Поскольку национальные руководящие документы регламентируют только общие вопросы обеспечения безопасности персонала и разрешают проводить работы по поиску и спасанию людей в «благоприятных» погодно-климатических условиях, а в частных случаях (спасение людей, аварии и т. п.) – по решению руководителя работ под его ответственность и с обязательным применением всех возможных мер безопасности в зависимости от конкретных условий, целесообразно определить координатором развития системы аварийно-спасательного обеспечения морской деятельности в структуре Федеральной системы поиска и спасания на море Минтранс России и поручить ему возглавить работу:
- по выработке единых требований к АСР, выполняемых в море, в различных ГМУ, в том числе в АЗ РФ;
- по корректуре и разработке новых нормативных документов, касающихся организации и выполнения работ по поиску и спасанию людей, терпящих бедствие в море, и по поиску и оказанию помощи аварийным объектам в море;
- по руководству разработками образцов поисково-спасательной техники и оборудования;
- по сертификации отечественной и зарубежной поисково-спасательной техники и оборудования.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Пономарев В. Е.* Условия безопасности мореплавания. – М., 1976, с. 10.
2. *Караев Р. Н.* Оценка аварийности морских нефтегазовых сооружений. // «Морской вестник». – 2016. –№3,4.
3. Стратегия развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2020 года – http://government.ru/info/18360/(Дата обращения 30.03.2017).
4. Основы государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2020 года и дальнейшую перспективу –http://government.ru/info/18359/(Дата обращения 30.03.2017).
5. Международный Кодекс по спасательным средствам (Кодекс ЛСА) –http://docs.cntd.ru/document/499032094/(Дата обращения 30.03.2017).
6. НД № 2–020101–088 Правила по оборудованию морских судов. Ч. II. Спасательные средства – http://docs.cntd.ru/document/1200131972 (Дата обращения 30.03.2017).
7. Международный Кодекс для судов, эксплуатирующихся в полярных водах (Полярный кодекс). РЕЗОЛЮЦИЯ МЕРС. 264 (68). Принята 15 мая 2015 г.
8. Оценка международных стандартов для безопасной разведки, добычи и транспортировки нефти и газа в Баренцевом море: Отчет российско-норвежского проекта «Баренц–2020» – http://www.ru/fileadmin/f/activity/barents2020/fourth_stage/Barents_2020_report_phase_3_RUS.pdf (Дата обращения 30.03.2017).
9. ГОСТ Р 52265–2004. Спасательные средства экипажей инженерных сооружений, эксплуатируемых на акваториях. Классификация. – М., 2004,13 с.
10. ГОСТ Р 54596–2011. Индивидуальные средства спасения экипажей инженерных сооружений, эксплуатируемых на акваториях. Технические требования. – М., 2011, 18 с.
11. ГОСТ Р 52451–2009. Коллективные средства спасения экипажей инженерных сооружений, эксплуатируемых на акваториях. Технические требования. –М., 2009,19 с.
12. ГОСТ Р 12.4.236–2011. Одежда специальная для защиты от пониженных температур. Система стандартов безопасности труда. –М., 2011, 31 с.
13. Правила по охране труда на судах морского и речного флота, утверждены приказом Министерства труда и социальной защиты РФ 5 июня 2014 г. № 367 н.
14. Правила охраны труда в морских портах ПОТ РО 152–31.82.03–96, утв. Приказом Департамента морского транспорта Министерства транспорта РФ 9 января 1996г. № 2.
15. Межотраслевые правила по охране труда при проведении водолазных работ, утверждены приказом Министерства здравоохранения и социального развития РФ 13 апреля 2007 г. № 269.
16. ГОСТ Р 12.0.010–2009. Системы управления охраной труда. Определение опасностей и оценка рисков. Правила Российского морского регистра судоходства. Правила по оборудованию морских судов, Правила по грузоподъемным устройствам морских судов, Правила о грузовой марке морских судов.
17. Правила Российского речного регистра (с изменениями на 1 сентября 2016 г. – Т. 1: Положение о классификации судов внутреннего и смешанного (река¬море) плавания. Правила освидетельствования судов в эксплуатации (ПОСЭ) Руководство Р.035–2010. Правила технического наблюдения за постройкой судов и изготовлением материалов и изделий (ПТНП) Руководство Р.036–2010. ■

БУКСИРОВОЧНЫЙ ДРЕЙФ: ДВИЖЕНИЕ БУКСИРУЕМОГО ОБЪЕКТА ПРЯМЫМ КУРСОМ ЗА ИДЕАЛЬНЫМ БУКСИРОВЩИКОМ

П.В. Гуров, *канд. техн. наук, доцент,*
А.Е. Жуков, *доцент, Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева,*
Б.П. Ионов, *д-р техн. наук, проф., ученый секретарь АО «ОСК», контакт. тел. (812) 494 1755*

Важное эксплуатационное качество буксирного состава – его управляемость, которая обеспечивается при выполнении следующих двух условий:

- устойчивость буксируемого объекта по боковым перемещениям и рысканью;
- эффективность рулевых органов буксира.

Рассмотрим первое условие – прямолинейное движение буксируемого объекта в заданном направлении, назовем это движение буксировочным дрейфом. Выполнение условия достигается за счёт стабилизирующего действия троса. Однако эффективность стабилизации зависит и от свойств самого буксируемого объекта [1]. При недостаточной эффективности стабилизирующего действия троса возникают боковые перемещения и рысканье, носящие характер автоколебаний.

Для оценки устойчивости и определения равновесных положений буксируемого объекта Е.Б. Юдин и А.Г. Маковский [2] предложили использовать относительные значения плеч позиционных сил $\overline{X}_\beta$ и демпфирующих сил $\overline{X}_\omega$, а также плеча приложения тяги $\overline{X}_F$. В качестве рекомендаций по улучшению устойчивости движения авторы предлагают:

- смещение точки крепления буксирного троса как можно далее в нос;
- оборудование буксируемого объекта подкорпусными стабилизаторами в кормовой части;
- увеличение сопротивления буксируемого объекта.

Следует отметить, что предлагаемые критерии оценки устойчивости движения буксируемого объекта не всегда удобны.

Цель работы – определить новые критерии оценки устойчивости, соблюдение которых позволило бы уменьшить автоколебательный характер движения буксируемого объекта.

Объектом исследований является буксирный состав (ордер) состоящий из буксирного судна и буксируемого объекта. Под действием внешних сил (действием буксирной связи, в том числе) в процессе буксировочного дрейфа корпус буксируемого объекта занимает некоторое положение с углом дрейфа β_2 и поперечным смещением η_2, при этом движется прямолинейно вдоль оси Oξ с некоторой скоростью $\overline{V}_2 = \text{const}$ (рис. 1). Для буксирного состава этот режим движения основной.

Уравнения движения буксируемого объекта в проекциях на оси связанной системы координат будут иметь вид

$$\begin{aligned} R_{X2}^{\text{БС}} + X_2^{\text{К}} + X_2^{\text{ВН}} &= 0; \\ R_{Y2}^{\text{БС}} + Y_2^{\text{К}} + Y_2^{\text{ВН}} &= 0; \\ R_{Y2}^{\text{БС}} \cdot L_2^{\text{К}} + M_{\text{К2}}^{\text{ПОЗ}} + M_2^{\text{ВН}} &= 0. \end{aligned} \qquad (1)$$

где $X_2^{\text{К}}$, $Y_2^{\text{К}}$ – продольная и поперечная позиционные гидродинамические силы на корпусе буксируемого объекта; $M_{\text{К2}}^{\text{ПОЗ}}$ – позиционный гидродинамический момент; $R_{X2}^{\text{БС}}$, $R_{Y2}^{\text{БС}}$ – продольная и поперечная силы от буксирной связи; $X_2^{\text{ВН}}$, $Y_2^{\text{ВН}}$, $M_2^{\text{ВН}}$ – другие внешние силы и момент, приложенные к корпусу буксируемого объекта.

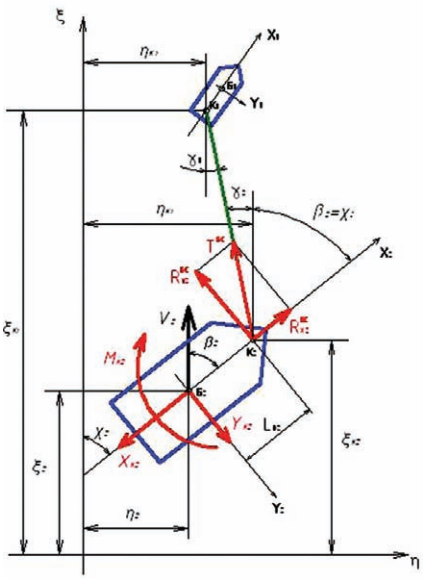


Рис. 1. ***Схема буксировочного дрейфа***

Буксировочный дрейф будем рассматривать как один из возможных режимов движения буксируемого объекта под действием буксирной связи и гидродинамических сил на корпусе. Введем следующие допущения:

- буксировщик предполагаем идеальным (рис. 2), т.е. в виде клюзовой точки K_1. Он движется прямолинейно вдоль оси Oξ с постоянной скоростью, поэтому скорости буксировщика и буксируемого объекта одинаковы $V_1 = V_2$;
- буксирная связь – трос, который полагаем невесомым и нерастяжимым, фиксированной длины $l^{\text{БС}} = \text{const}$. В тросе действует только постоянное растягивающее усилие $T^{\text{БС}}$;
- ограничимся случаем буксировки на тихой воде;
- будем полагать, что углы курса χ_2, дрейфа β_2 и угол отклонения буксирной связи γ_2 являются малыми величинами, это позволяет считать $\sin\beta_2 \approx \beta_2$; $\cos\beta_2 \approx 1$, а также применить для определения гидродинамических сил на корпусе буксируемого объекта линейные зависимости.

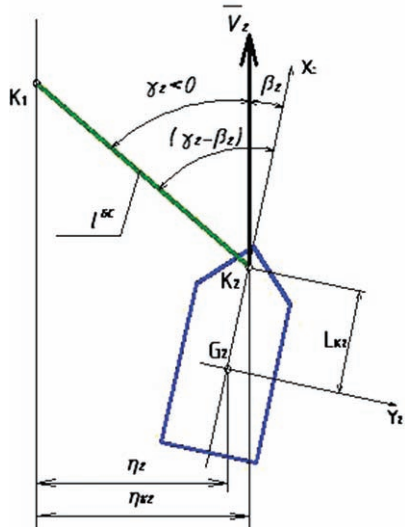


Рис. 2. ***Расчетная схема***

Такая идеализация необходима для построения познавательной модели движения буксирного состава и получения зависимостей между гидродинамическими характеристиками корпуса буксируемого объекта, положением клюзовой точки K_2, длиной буксирной связи $l^{\text{БС}}$ и кинематическими характеристиками движения буксируемого объекта. При сделанных допущениях уравнения движения буксируемого объекта (1) принимают такой вид:

$$\begin{aligned} R_{X2}^{\text{БС}} + X_2^{\text{К}} &= 0; \\ R_{Y2}^{\text{БС}} + Y_2^{\text{К}} &= 0; \\ M_2^{\text{БС}} + M_{2\text{К}}^{\text{ПОЗ}} &= 0, \end{aligned} \qquad (2)$$

где $M_2^{\text{БС}} = R_{\text{К2}}^{\text{БС}} \cdot L_2^{\text{К}}$ – восстанавливающий момент буксирной связи;

$$X_2^{\text{К}} = k_{10}\frac{\rho}{2}F_d V_2^2;\ Y_2^{\text{К}} = k_{21}\beta_2\frac{\rho}{2}F_d V_2^2;$$

$$M_{2\text{К}}^{\text{ПОЗ}} = k_{31}\beta_2\frac{\rho}{2}F_d L V_2^2.$$

В этих зависимостях принято:

$k_{10} = -\dfrac{R_2^{\text{БО}}}{\frac{\rho}{2}F_d V_2^2} < 0$ – коэффициент продольной силы; $k_{21} > 0$ – коэффициент поперечной силы; $k_{31} > 0$ – коэффициент позиционного момента.

Знаки $Y_2^{\text{К}}$ и $M_2^{\text{К}}$ определяются знаком угла дрейфа. Составляющие натяжения буксирной связи определяются, как это следует из схемы на рис. 1, следующими выражениями:

$$R_{X2}^{БС} = T^{БС}\cos(\gamma_2 - \chi_2);$$

$$R_{Y2}^{БС} = T^{БС}\sin(\gamma_2 - \chi_2).$$

Угол отклонения буксирной связи от направления движения $\overline{V}_2$ определим так: $\gamma_2 = \arcsin(\frac{\eta_{K1} - \eta_{K2}}{l^{БС}})$. Угол дрейфа β_2 при буксировочном дрейфе равен углу курса: $\beta_2 = \chi_2$. Из уравнений движения буксируемого объекта (2) определим величину натяжения в буксирной связи:

$$T^{БС} = -k_{10}\frac{1}{\cos(\gamma_2 - \beta_2)}\cdot\frac{\rho}{2}F_d V_2^2 \approx k_{10}\frac{\rho}{2}F_d V_2^2.$$

Тогда ее поперечная составляющая будет равна

$$R_{Y2}^{БС} = T^{БС}\sin(\gamma_2 - \beta_2) =$$

$$= -k_{10}\frac{\sin(\gamma_2 - \beta_2)}{\cos(\gamma_2 - \beta_2)}\cdot\frac{\rho}{2}F_d V_2^2 \approx \qquad (3)$$

$$\approx k_{10}(\gamma_2 - \beta_2)\frac{\rho}{2}F_d V_2^2.$$

Общий случай буксировочного дрейфа ($\eta_2 \neq 0$; $\beta_2 = 0$) рассмотрим как суперпозицию двух частных движений:

Дрейф при отсутствии поперечного смещения буксируемого объекта $\eta_2 = 0$, $\gamma_2 = \gamma_2^{\beta}$ (рис. 3).

Поперечное смещение клюзовой точки обусловлено только наличием угла дрейфа $\chi_2 = \beta_2 \neq 0$. Тогда

$$\eta_{K2} = L_{K2}\sin\beta_2 \approx L_{K2}\beta_2;$$

$$\gamma_2 = \gamma_2^{\beta} = \arcsin\left(\frac{0 - \eta_{K2}}{l^{БС}}\right) =$$

$$= \arcsin\left(\frac{0 - L_{K2}\beta_2}{l^{БС}}\right) \approx -\frac{L_{K2}}{l^{БС}}\beta_2.$$

Дрейф при нулевом угле дрейфа $\beta_2 = 0$, $\eta_2 \neq 0$ (рис. 4).

В этом случае

$$\gamma_2 = \gamma_2^{\eta} = \arcsin\left(\frac{0 - \eta_2}{l^{БС}}\right) \approx -\frac{\eta_2}{l^{БС}}.$$

Рассматривая одновременно оба движения, получаем

$$\gamma_2 = \gamma_2^{\beta} + \gamma_2^{\eta} = -\left(\frac{L_{K2}}{l^{БС}}\beta_2 + \frac{\eta_2}{l^{БС}}\right).$$

Подставим полученное выражение в (3):

$$R_{Y2}^{БС} = k_{10}\beta_2\left(1 + \frac{L_{K2}}{l^{БС}} + \frac{\eta_2}{l^{БС}\beta_2}\right)\frac{\rho}{2}F_d V_2^2.$$

Из уравнений движения (2) для поперечных сил ($Y_2^K = -R_{Y2}^{БС}$) получим соотношение, определяющее значения коэффициента поперечной силы:

$$k_{21} = -k_{10}\left(1 + \frac{L_{K2}}{l^{БС}} + \frac{\eta_2}{l^{БС}\beta_2}\right). \qquad (4)$$

Данное соотношение приводит в соответствие гидродинамические характеристики корпуса буксируемого объекта k_{10} и k_{21}, продольную координату клюза L_{K2}, длину буксирной связи $l^{БС}$, параметры дрейфа η_2 и β_2, для удовлетворения уравнениям движения (2).

Отношение $\frac{\eta_2}{l^{БС}\beta_2} = -\frac{\gamma_2^{\eta}}{\beta_2}$ (5)

представляет собой отношение угла γ_2^{η}, вызванного поперечным смещением буксируемого объекта, к величине угла дрейфа β_2.

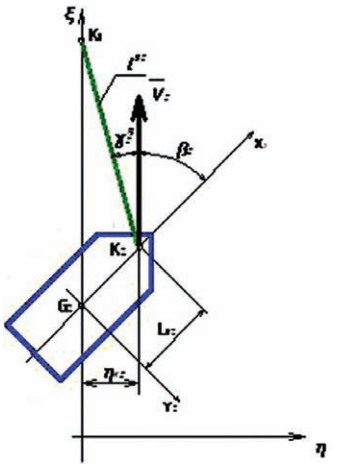


Рис. 3. ***Отсутствие поперечного смещения***

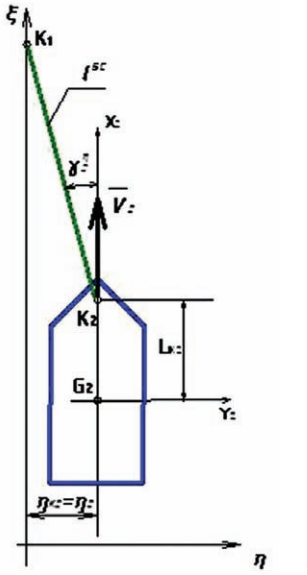


Рис. 4. ***Нулевой угол дрейфа***

Подставим отношение (5) в выражение (4), после преобразований получим

$$\frac{\gamma_2^{\eta}}{\beta_2} = 1 + \frac{L_{R2}}{l^{БС}} + \frac{k_{21}}{k_{10}}. \qquad (6)$$

Данное уравнение показывает, что равновесие по поперечным и продольным силам возможно при условии

$$\frac{\gamma_2^{\eta}}{\beta_2} = \text{const}.$$

Уравнение (6) выражает равенство поперечных сил $R_{Y2}^{БС}$ и Y_2^K, это уравнение прямой линии *2* (рис. 5), проходящей через начало координат.

Момент от действия буксирной связи

$$M_2^{БС} = R_2^{БС}L_{K2} = \qquad (7)$$

$$= k_{10}\beta_2\left(1 + \frac{L_{K2}}{l^{БС}} + \frac{\eta_2}{l^{БС}\beta_2}\right)L_{K2}\frac{\rho}{2}F_d V_2^2.$$

В уравнение движения системы (2) по моментам $M_{2K}^{ПОЗ} = -M_2^{БС}$ сделаем подстановку выражения (7) и получим

$$k_{31} = -k_{10}\frac{L_{K2}}{L}\left(1 + \frac{L_{K2}}{l^{БС}} - \frac{\gamma_2^{\eta}}{\beta_2}\right). \qquad (8)$$

В явном виде

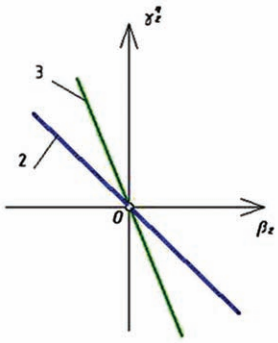


Рис. 5. ***Графики уравнений (6) и (8)***

$$\frac{\gamma_2^{\eta}}{\beta_2} = 1 + \frac{L_{K2}}{l^{БС}} + \frac{L}{L_{K2}}\cdot\frac{k_{31}}{k_{10}}. \qquad (9)$$

Данное уравнение также представляет собой прямую линию *3* (рис. 5) и выражает на этой линии равенство моментов $M_{2K}^{ПОЗ}$ и $M_2^{БС}$.

Совместное удовлетворение уравнений движения (2) имеет тривиальное решение: (0,0) – точка пересечения линий *2* и *3* на рис. 5.

Буксировочный дрейф осуществим, если линии *2* и *3* на рис. 5 будут совпадать, т.е.

$$1 + \frac{L_{K2}}{l^{БС}} + \frac{k_{21}}{k_{10}} = 1 + \frac{L_{K2}}{l^{БС}} + \frac{L}{L_{K2}}\cdot\frac{k_{31}}{k_{10}},$$

откуда $k_{21} = \frac{L}{L_{K2}}\cdot k_{31}.$ (10)

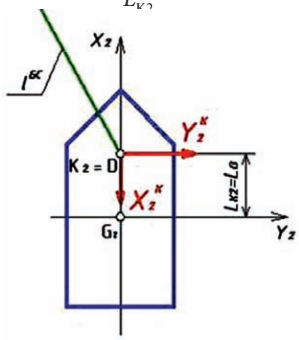


Рис. 6. ***Координаты клюзовой точки***

Выражение (10) показывает, что буксировочный дрейф может существовать, если клюзовая точка K2 совпадает с центром давления D, т.е. $L_{K2} = L_D$ (рис. 6). Если $L_{K2} > L_D$, то это будет тривиальное решение, которое является устойчивым $M_2^{БС} > M_2^K$:

$$M_2^K = k_{31}\beta_2\frac{\rho}{2}F_d L V_2^2 = Y_2^K L_D = k_{21}\beta_2\frac{\rho}{2}F_D L_D V_2^2;$$

$$k_{21} = \frac{L}{L_D}k_{31},$$

где L_D – продольная координата центра давления.

Проблема состоит в техническом решении условия буксировочного дрейфа

$$L_{K2} \geq \frac{k_{31}}{k_{21}}L \quad \text{или} \quad \frac{L_{K2}}{L} \geq \frac{k_{31}}{k_{21}}. \qquad (11)$$

Это означает, что момент завышен по сравнению с поперечной силой. Пройдя равновесие, момент продолжает поворачивать корпус буксируемого объекта. Конструктивно предельно возможная координата $L_{K2} \approx 0{,}5L$ или $L_{K2}/L \approx 0{,}5$,

это соответствует носовой точке корпуса буксируемого объекта. Обычно из практики $k_{31}/k_{21} \approx 0{,}7 \div 0{,}8$ для разных корпусов судов. Поэтому, чтобы выполнялось соотношение (11), точку К2 крепления буксирной связи необходимо выносить за крайнюю носовую точку корпуса буксируемого объекта на расстояние, равное $(0{,}2 \div 0{,}3)L$, что подтверждает выводы, сделанные в работе [2]. Технически это выполняется установкой жесткой выносной штанги либо «штанов» (рис. 7).

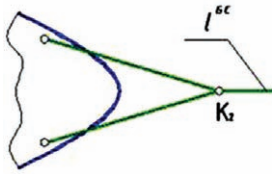


Рис. 7. ***«Штаны»***

Зависимости (4) и (8) позволяют заранее определить допустимые значения коэффициента продольной силы, при которых возможен устойчивый дрейф буксируемого объекта:

$$k_{10}^{*} = \frac{-k_{21}}{\left(1 + \frac{L_{K2}}{l^{БС}} + \frac{\eta_2}{l^{БС} \cdot \beta_2}\right)} \qquad (12)$$

– по условию равновесия поперечных сил;

$$k_{10}^{**} = \frac{-k_{31}}{\frac{L_{K2}}{L}\left(1 + \frac{L_{K2}}{l^{БС}} + \frac{\eta_2}{l^{БС} \cdot \beta_2}\right)} \qquad (13)$$

– по условию равновесия моментов.

Заметим, что отношение $\frac{\eta_2}{l^{БС} \cdot \beta_2} = \frac{\gamma_2^{\eta}}{\beta_2}$, входящее в выражения (12) и (13), можно регламентировать. Например, $\eta_2 \le \eta_2^{max} \approx 20$ м – максимальное смещение от оси судового хода; $\beta_2 \le \beta_2^{max} \approx 0{,}1$рад $(5^{\circ} \div 6^{\circ})$ – максимальный угол дрейфа буксируемого объекта.

С целью проверки полученных результатов проведены расчеты на математической модели [3] буксировки судна пр. 19610 за идеальным буксировщиком. Состав двигался со скоростью $V_1 = 2$ м/с и углом курса $\chi = 45^{\circ}$. Буксирная связь представлена тяжелой провисающей нитью длиной $l^{БС} \approx 2L = 200$ м.

Отношение $\frac{\eta_2}{l^{БС} \cdot \beta_2} = \frac{20}{200 \cdot 0{,}1} \approx 1$. Тогда для буксируемого объекта, имеющего $L_{K2} = 60$ м, $L = 100$ м, $k^0_{21} = 0{,}102$, $k^0_{31} = 0{,}058$, $k^0_{10} = -0{,}0182$, в соответствии с формулами (12) и (13) оптимальные значения коэффициентов получились равными: $k_{10}^{*} = -0{,}0443$, $k_{10}^{**} = -0{,}0475$.

Р а с ч е т 1. Значения $k^0_{10} = 0{,}0182$, $k^0_{21} = 0{,}102$, $k^0_{31} = 0{,}058$.

Р а с ч е т 2. Значения $k^0_{10} = 0{,}0307$, $k^0_{21} = 0{,}102$, $k^0_{31} = 0{,}058$.

Р а с ч е т 3. Значения $k^0_{10} = 0{,}0455$, $k^0_{21} = 0{,}102$, $k^0_{31} = 0{,}058$.

Траектории движения буксируемого объекта приведены на рис. 8, а результаты расчетов – в табл. 1.

Проверочные расчеты показали, что при значениях коэффициента $k^0_{10} < k^{*}_{10}$ или $k^0_{10} < k^{**}_{10}$ (расчет 1) буксируемый объект имеет слишком большие амплитуды колебаний по всем параметрам. С увеличением коэффициента k^0_{10} (расчет 2) процесс улучшился, амплитуды колебаний существенно уменьшились, но характер движения остался по-прежнему автоколебательным. При значениях $k^{*}_{10} < k^0_{10} < k^{**}_{10}$ (расчет 3) процесс буксировки принял устойчивый характер. Действие демпфирующего момента $M_К^{демф} = -k_{32}\frac{\rho}{2}F_d L V^2$ погасило колебания, что привело буксировочный дрейф к тривиальному решению, и движение стало устойчивым.

Выводы. В данной работе предложен новый критерий оценки устойчивости движения буксируемого объекта – коэффициент продольной силы k_{10}. Полученные формулы (12), (13) позволяют определить интервал значений коэффициента, при которых возможен устойчивый дрейф буксируемого объекта. Обоснован алгоритм вывода предложенных зависимостей.

Проведенные исследования предоставляют возможность определения оптимального соотношения между длиной буксирного троса $l^{БС}$, координатой места его крепления L_{K2} и гидродинамическими характеристиками корпуса буксируемого объекта: k_{10}, k_{21} k_{31}. Используя выражения (4) и (8), можно принять решение о длине буксирного троса $l^{БС}$. Выбор достаточно короткой буксирной связи за счет роста отношения $L_{K2}/l^{БС}$ позволяет добиться приемлемых значений коэффициентов k^{*}_{10}, k^{**}_{10} и сделать процесс буксировки устойчивым.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Маковский А.Г., Юдин Е.Б.* Влияние свойств буксируемого на тросе судна на управляемость буксирной системы. – Сб. статей по гидродинамике транспортных судов. – Л., 1981. – С.141–147.
2. *Юдин Е.Б., Маковский А.Г.* Анализ самопроизвольного рысканья буксируемых судов // Судостроение. – 1985. – №4. – С.15–17.
3. *Ваганов А.Б., Гуров П.В.* Моделирование движения сложного буксирного состава // Наука и технологии: Краткие сообщения XXVII Российской школы, посвященной 150-летию К.Э.Циолковского, 100-летию С.П.Королева и 60-летию Государственного ракетного центра «КБ им. акад. В.П.Макеева», 2007, с. 84–86.
4. *Ваганов, А.Б., Гуров П.В., Костюнин А.С., Сазонов К.Е.* Анализ ухудшения маневренности судна при знакопеременных перекладках рулей // Тр. ЦНИИ им. акад. А.Н.Крылова. – 2012. – №1(66). – С.33–42.

Таблица 1

Результаты расчетов

Расчет	Δη, м	Δχ, град	$\Delta\bar{\omega}_2$	$\Delta\beta_2$, град	ΔV_2, м/с	$\Delta T_{БС}$, кН	$\bar{T}^{БС}$, кН	$\Delta\gamma_2^{*}$, град
1	50÷60	34	0,45	10	0,1	10	30	55
2	30	16	0,2	≈ 0	0,05	2,5	30	25
3	1÷2	1	»0	≈ 0	≈ 0	≈ 0	39	≈ 0

Здесь Δη – амплитуда поперечных смещений; Δχ – амплитуда рысканий по курсу; $\Delta\bar{\omega}_2$ – амплитуда относительной угловой скорости: $\Delta\beta_2$ – амплитуда угла дрейфа; ΔV_2 – амплитуда продольной скорости; $\Delta T_{БС}$ – амплитуда изменения величины натяжения буксирной связи; $\bar{T}^{БС}$ – среднее значение натяжения буксирной связи; $\Delta\gamma_2^{*}$ – амплитуда угла между буксирной связью и диаметральной плоскостью буксируемого объекта.

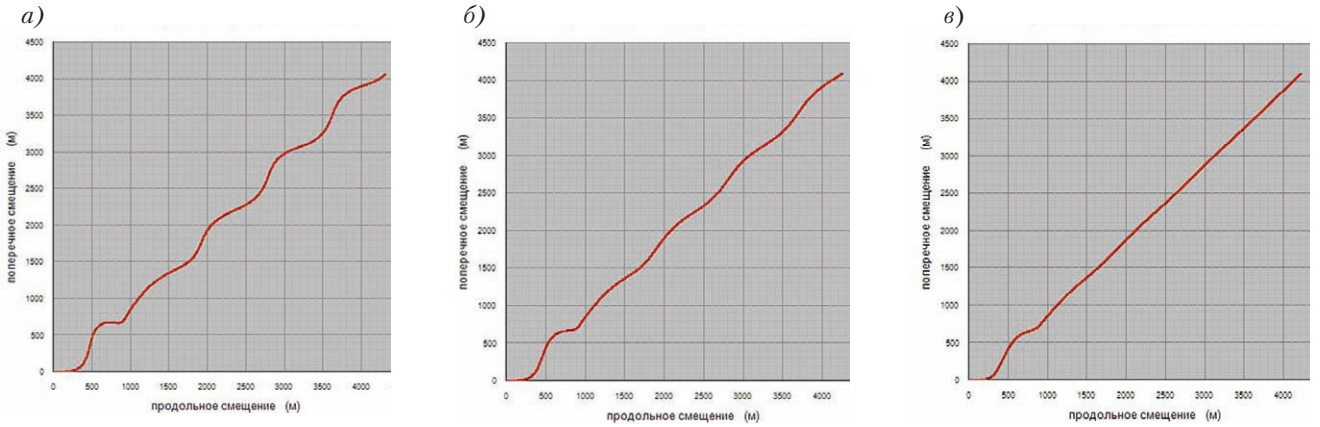


Рис. 8. ***Траектория движения: а – расчет 1, б – расчет 2, в – расчет 3***

УЧАСТИЕ АО «ЦМКБ «АЛМАЗ» В МЕЖДУНАРОДНОМ ВОЕННО-МОРСКОМ САЛОНЕ-2017

Д.Е. Цыганков, *начальник отдела маркетинга АО «ЦМКБ «Алмаз», контакт. тел. (812) 373 8300*

С 28 июня по 2 июля 2017 г. на территории выставочного комплекса «Ленэкспо» в Санкт-Петербурге был проведен восьмой Международный военно-морской салон («МВМС–2017»). По данным ООО «Морской Салон» – устроителя выставки, в мероприятии приняли участие более 400 предприятий, в том числе 50 иностранных компаний. В экспозиционной части Салона внушительной доли зарубежных участников, как ранее, не наблюдалось, да и экспозиция порядочно похудела по сравнению с предыдущим Салоном 2015 г.: пятый павильон вообще оказался незадействованным в мероприятии.

На этом фоне стенд АО «Объединенная судостроительная корпорация» (ОСК) оказался чемпионом Салона по размерам и насыщению. Сказалось и то, что 2017-й год для ОСК юбилейный: компания отметила своё первое десятилетие.

АО «ЦМКБ «Алмаз» приняло участие в Салоне в составе единой экспозиции ОСК. Экспонатная часть стенда ОСК насчитывала 46 моделей судов и кораблей, из них 13 ед., т.е. 28%, были представлены моделями проектов нашего бюро. Тематически экспонатная часть стенда ОСК была условно поделена на шесть разделов: подводные лодки; боевые надводные корабли; патрульные корабли и катера; суда обеспечения; корабли и суда ледового класса; гражданские проекты. Часть макетов была представлена в переговорных комнатах.

Модели проектов нашего бюро были представлены во втором (3 из 10 ед.), в третьем (9 из 12 ед.) и в четвертом разделах (1 из 4 ед.).

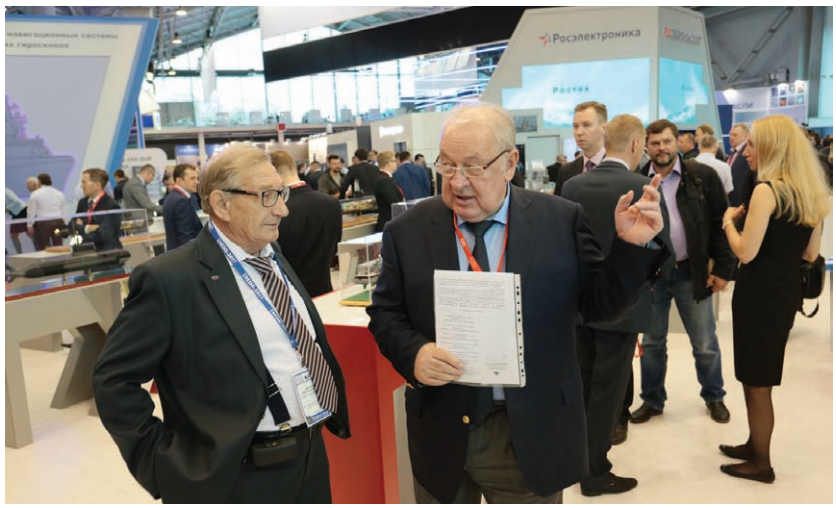
Территориально все экспонаты открытой части экспозиции (кроме пятого раздела) были разбиты на две крупные группы по 16 позиций (модели четвертой группы были оформлены обособленно на специальном подмакетном столе). Из этих 16 позиций 9 заняли модели бюро, т.е. 56%. Таким образом, АО «ЦМКБ «Алмаз» было представлено более чем внушительно.

В демонстрационном разделе у причалов Морского вокзала и на акватории были представлены корабли и катера из состава Министерства обороны, ФСБ и МЧС России.

У причалов выставочного комплекса демонстрировались 32 катера предприятий–участников экспозиции, в том числе катер «Алмаз» (РЛЕ 19–84).

Этот катер в ходе Салона продемонстрировал эксплуатационно-технические характеристики в действии, кроме того, на его борту состоялся прием высокопоставленных гостей Салона кроме этого, он доставлял по акватории высокопоставленных гостей до места назначения, например в Кронштадт, и др.

Экспозиция ОСК на МВМС–2017



Генеральный директор АО «ЦМКБ «Алмаз» А.В. Шляхтенко беседует с главным конструктором АО «Зеленодольское ПКБ» В.Н. Кашкиным

Быстроходный глиссирующий катер «Алмаз» пр. 12150М «Мангуст»

Корабль противоминной обороны «Александр Обухов» пр. 12700

Корабли, спроектированные АО «ЦМКБ «Алмаз», традиционно привлекали внимание большого числа гостей. В частности, корвет «Стойкий» посетили делегации из Южной Кореи, Нидерландов, Алжира, Вьетнама, Китая и Германии. Вообще с 28 июня по 1 июля 2017 г. у нас побывали еще делегации из Бразилии, Греции, Египта, Индии, Ирана, Италии, Марокко, ОАЭ, Пакистана.

Не обошел нас своим вниманием заместитель Председателя Правительства РФ Д. О. Рогозин. Его встретил президент ОСК А. Л. Рахманов, который представил такие проекты АО «ЦМКБ «Алмаз», как пограничный сторожевой корабль пр. 22100 «Океан» и перспективный патрульный корабль ледового класса.

Вьетнамскую делегацию, посетившую нашу экспозицию 1 июля, возглавил президент Социалистической Республики Вьетнам Чан Дай Куанг. Вице-президент ОСК Л. В. Стругов познакомил его с кораблем противоминной обороны базовой зоны пр. 12701 разработки АО «ЦМКБ «Алмаз».

А. Л. Рахманов знакомит Д. О. Рогозина с проектом пограничного сторожевого корабля пр. 22100 «Океан»

Главный советник президента АО «ОСК» по военному кораблестроению В. В. Чирков дает интервью

Подводя итоги МВМС–2017, можно сказать, что Салон, в том числе и проекты АО «ЦМКБ «Алмаз», по-прежнему привлекают внимание делегаций зарубежных стран. Судя по публикациям как в печатных, так и в электронных СМИ, последовавшим после закрытия Салона, он стал ключевым событием сезона. ■

Демонстрационная часть МВМС–2017

ВЕРТОЛЕТЫ НА КОРАБЛЯХ

В.Е. Юхнин, *д-р техн. наук, проф.,*
советник ген. директора АО «Северное ПКБ»,
контакт. тел. (812) 784 7674, 936 7132

К концу 50-х гг. XIX в. было признано, что наиболее эффективным средством поиска подводных лодок являются вертолеты, обладающие большой поисковой скоростью и способные самостоятельно обнаруживать и атаковать подводную лодку.

В СССР с конца 40-х гг. конструкторские бюро М.Л. Миля, Н.И. Камова и И.П. Братухина вели разработки вертолетов для ВМФ. К началу 60-х гг., благодаря удачно найденной соосной винтовой схеме, позволяющей компактно размещать вертолет в корабельных условиях, КБ Камова стало монополистом в проектировании корабельных вертолетов. В сентябре 1959 г. ВМФ определил облик корабля противолодочной обороны с групповым базированием вертолетов. Впоследствии в соответствии с разработанной концепцией было построено два корабля пр. 1123 «Москва» и «Ленинград».

Противолодочный вертолет Ка-25ПЛ

Эсминец «Светлый» пр. 56 с ВППл для вертолета Ка-15

БПК пр. 57А – носитель вертолета Ка-25ПЛ

Еще в 1958–1959 гг. на эсминце пр. 56 «Светлый», построенном на заводе им. А.А. Жданова, с дооборудованной в корме взлетно-посадочной площадкой проводились испытания вертолета Ка-15, доказавшие возможность его базирования на кораблях этого класса.

Первым подобным кораблем с авиационным вооружением должен был стать корабль пр. 57бис. Вертолет использовался для выдачи целеуказания ударному комплексу КСЩ. В кормовой части располагались взлетно-посадочная полоса (ВПП) и стартово-командный пост управления полетами, а также цистерна с авиационным топливом на пять вертолетовылетов. Однако из-за того, что на вооружение не была принята корабельная система «Груша», которая должна была обеспечивать прием информации с вертолета, ни один из кораблей пр. 57бис вертолета не имел.

БПК пр. 57А стал первым носителем авиационного противолодочного вооружения. Ка-25ПЛ мог с корабля атаковать ПЛ самостоятельно. Для этого в корабельном погребе хранились самонаводящаяся противолодочная торпеда АТ-1 (АТ-1М) и восемь глубинных бомб ПЛАБ-250, а также 36 радиогидроакустических буев «Чинара», которые в зависимости от полетного задания размещались на восьми внешних узлах подвески вертолета. Правда, из-за незначительной массы общей боевой нагрузки (всего 1,1 т) этот вертолет мог использоваться либо в ударном, либо в поисковом варианте. Осложнялось использование вертолетов в штормовых условиях северных морей из-за отсутствия ангара для них.

Впервые в отечественном флоте вертолет с постоянным базированием разместили на кораблях пр. 1134 и пр. 1134А. На них размещался авиационный комплекс, включающий ВПП, ангар, стартово-командный пост вертолета, керосинохранилище, помещение дежурных экипажей и все необходимое для полноценного функционирования авиационного комплекса.

Наиболее радикальным усовершенствованием в области противолодочной обороны (ПЛО) стало оснащение кораблей вертолетом постоянного ангарного базирования, благодаря увеличившимся размерам и водоизмещению корабля. Если на вертолетной площадке крейсера пр. 58 Ка-25 был «редким гостем», появлявшимся лишь от случая к случаю, при благоприятной метеорологической обстановке, то на БПК 1134-го проекта он мог базироваться постоянно. При этом на борту БПК мог размещаться как вертолет целеуказания Ка-25Ц, так и противолодочный вертолет Ка-25ПЛ. Для вооружения последнего на борту пре-

Корабль пр. 1134 с постоянным базированием вертолета

Складной ангар-хранилище на ПСКР пр. 22460

дусматривался запас из пяти торпед ПЛАТ-1 или ПЛАТ-1М, а также до 54 радиоакустических буев.

Сам по себе Ка-25 оказался неплохой машиной, по боевым возможностям близкой к зарубежным аналогам, но надежность его оставляла желать лучшего – он заслужил «славу» самого аварийного летательного аппарата морской авиации, с ним произошло около двух десятков катастроф.

Первое, с чем столкнулись конструкторы – турбулентность воздушного потока над ВПП в поперечном направлении за ангаром на кораблях пр. 1134. Она существенно ограничивала взлетно-посадочные характеристики вертолета. Основным недостатком являлось низкое относительно ватерлинии расположение ВПП. Ее заливаемость даже при умеренном волнении стала причиной реализации на кораблях пр. 1135А вертолетного подъемника для размещения Ка-25, что потребовало разработки необычной конструкции закрытия ангара, состоящего из ворот и крыши. Первое же испытание механизмов подъемника и крыши ангара показало высокую надежность всей схемы и механизмов устройства. Однако в процессе расширенных испытаний вертолетного комплекса на РКР «Адмирал Зозуля» было отмечено явление сильной турбулентности воздушного потока за ангаром, что привело к необходимости исследования конструкций кораблей–носителей вертолетов в аэродинамической трубе. По опыту эксплуатации БПК пр. 1134 «Адмирал Зозуля» были определены соотношения размеров ВПП и ее отстояние от ангара.

Следует отдать должное мужеству летчиков, совершавших взлет и посадку с качающейся палубы корабля в условиях сильной турбулетности. Осенью 1967 г. главком ВМФ СССР С. Г. Горшков, будучи на Северном флоте, разрешил летно-морские испытания, проведенные ВНТК им. Н. И. Камова засчитать как государственные испытания. Вместе с тем только после выпуска полетной инструкции для летчика средней квалификации корабль с вертолетным вооружением считается боевой единицей.

Министерством судостроительной промышленности ЦКБ-53 (Северное ПКБ) было определено базовой организацией при проектировании кораблей с вертолетным базированием. Летные испытания на БПК (РКР) «Адмирал Зозуля» позволили установить, в частности, оптимальные размеры ВПП, ограждающего бруса и ячейки тормозной сетки на ВПП, при которой вертолет при крене до 12° не соскальзывает за борт. Конструкторы КБ Камова в итоге получили бесценный материал для совершенствования ряда узлов корабельного вертолета.

На БПК «Надежный» («Раджпут») пр. 61МЭ по просьбе индийской стороны был оборудован полуутопленный ангар для вертолета за счет снятия кормовой 76,2-мм артустановки.

В 1980 г. на эсминце пр. 956 был установлен сдвижной телескопический ангар оригинальной конструкции. Было предусмотрено временное базирование вертолета Ка-27, предназначенного как для борьбы с подводными лодками, так и для выдачи целеуказания ракетному комплексу «Москит».

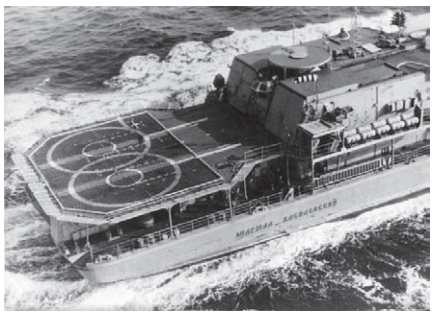
Французы на эсминце «Ля Галиссоньер» еще в начале 60-х гг. XX в. применяли складной ангар для размещения корабельного вертолета оригинальной конструкции. Изюминкой конструкции являлось то, что ангар мог трансформироваться во взлетно-посадочную площадку. Стены и крыша ангара раскладывались во все четыре стороны, превращаясь таким образом в ВВП. Для посадки винтокрылой машины в условиях качки в центре площадки установили решетку, в которую пилот должен был попасть спускавшимся на тросе гарпуном. После закрепления гарпуна трос выбирался установленной на вертолете лебедкой, притягивая машину к палубе и предохраняя ее от соскальзывания в воду.

Но остроумная конструкция на практике оказалась очень неудобной: «исчезающий» ангар не позволял разместить в нем необходимое для обслуживания вертолета оборудование и служил лишь своего рода «палаткой», прикрывающей хрупкую авиатехнику от непогоды. К тому же система была рассчитана на применение только легкого вертолета «Алуэтт-3», обладавшего крайне ограниченными противолодочными возможностями. Тем не менее такая схема может оказаться весьма перспективной так как позволяет разместить вертолетный ангар и ВВП на минимальной длине корабля, соответствующей длине вертолета (с необходимыми зазорами).Оригинальное устройство посадки и хранения легкого корабельного вертолета у нас в стране было разработано для пограничного сторожевого корабля пр. 22460 (главный конструктор А. Ю. Наумов). ВПП на корабле размещалась по традиционной схеме в корме корабля, а вот складной ангар-хранилище был размещен носовее ВПП между двумя дымовыми трубами, размещенными побортно над главными двигателями.

На ракетном крейсере пр. 1164 в качестве авиационного вооружения базировался вертолет разведки и целеуказания Ка-25Ц, размещаемый в ангаре. Планировалось, что в перспективе (после 1983 г.) он будет заменен на новый Ка-252РЦ. Однако ОКБ им. Н. И. Камова до распада СССР такой вариант машины так и не создало. В настоящее время с крейсерами этого типа, как правило, работают противолодочные вертолеты Ка-27ПЛ.

Ракетный крейсер пр. 1164

Впоследствии был сделан существенный шаг в развитии корабельного базирования вертолетов благодаря размещению на БПК пр. 1155 второго вертолета, что значительно увеличило противолодочный потенциал корабля.



Ангары и ВППл БПК пр. 1155

Нужно сказать, что ранее отечественные боевые корабли, за исключением противолодочных крейсеров, имели лишь по одному вертолету на борту (пр. 1134, 1134А, 1134Б и 1164).

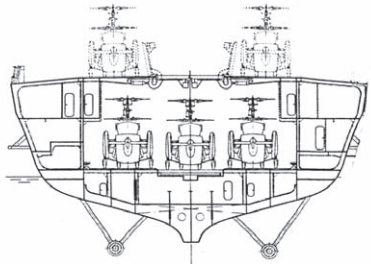
Достаточно тяжелые противолодочные вертолеты разместили в двух ангарах. Следует сказать, что базирование на борту корабля среднего водоизмещения двух вертолетов тяжелого класса (с взлетной массой более

10 т) стало возможным в значительной мере благодаря уникальной, предельно «компактной» компоновке камовских вертолетов, выполненных по соосной схеме. Для обеспечения всепогодного использования вертолетов на корабле установили систему привода и посадки «Привод-В».

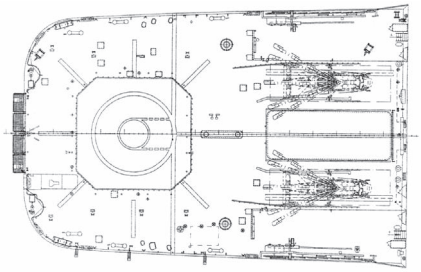
Корабли пр. 1155 строились на судостроительном заводе «Янтарь» в Калининграде (8 ед.) и на Ленинградском судостроительном заводе им. А. А. Жданова (4 ед.). Девятый корабль был построен по пр. 1155.1 на заводе «Янтарь».

Значительно увеличивали противолодочные возможности крейсеров пр. 1144 вертолеты. На кораблях имелось по три винтокрылых машины: два противолодочных вертолета Ка-27ПЛ и один Ка-25РЦ, предназначенный для разведки и целеуказания противокорабельному комплексу. Крейсера пр. 1144 стали первыми (и остающимися пока единственными в нашем флоте) неавианосными кораблями с полностью подпалубными ангарами и лифтом-вертолетоподъемником. Это позволило решить многие проблемы, связанные с размещением большого количества оружия и вооружения в корме. Однако вертолеты могли храниться не только в ангаре внутри корпуса корабля, но и на его верхней палубе, побортно от палубной крышки ангара. В этом случае общее количество вертолетов, находящихся на борту корабля, теоретически могло доходить до 5 ед. Конечно, такое количество вертолетов корабль мог принять только в экстренных случаях в перегруз, поскольку количество топлива, а также погреба боезапаса были рассчитаны лишь на три вертолета, а также на три места отдыха экипажа.

а)



б)



Ангар ТАРКР пр. 1144: а – вид в нос; б – вид сверху

Ракетный крейсер «Фрунзе» пр. 11442

В 1979 г. Северное ПКБ по заданию КГБ и ВМФ разработало технический пр. 1135.1 «Нерей» пограничного сторожевого корабля (ПСКР) на базе корпуса, главных механизмов и основного оборудования корабля пр. 1135. Новый сторожевик был предназначен для контроля 200-мильной экономической зоны СССР. Технический пр. 1135.1, утвержденный в июле 1980 г., предусматривал постоянное базирование на корабле вертолета Ка-27ПС с размещением в ангаре. Это потребовало снятия ПЛРК «Метель», сокращения вдвое (по сравнению с пр. 1135М) числа ЗРК и 100-мм артустановок. Ослабление вооружения было частично компенсировано размещением батареи 30-мм шестиствольных автоматов АК-630М. Предусматривалось и обновление радиолокационных средств: РЛС МР-310 заменялась на более совершенную станцию типа «Фрегат».

В конце 1990-х гг. была разработана техническая документация на новый фрегат (пр. 11356) по заказу индийского флота. Наличие вертолета на корабле в стационарном ангаре было обязательным требованием заказчика, поэтому главным конструктором корабля В. А. Переваловым было принято решение разместить вертолет по хорошо отработанной схеме пограничного корабля пр. 1135.1.

ПСКР пр. 11351

На новейшем отечественном фрегате пр. 22350 «Адмирал Горшков» также предусмотрено размещение универсального вертолета проекта Ка-28, при этом просматривается тенденция увеличения количества летательных аппаратов на кораблях.

Фрегат пр. 11356 – вид на ВПП и ангар

Авиационный комплекс фрегата «Адмирал Горшков» пр. 22350

Транспортно-боевой вертолет Ка-29 был разработан на базе корабельного противолодочного вертолета Ка-27. Основные требования, предъявляемые к нему и комплексу вооружения, были практически такими же, как и к Ми-24, отличались требования к их базированию и летной эксплуатации – Ка-29 должны базироваться на кораблях различного класса, а также десантировать с кораблей 16 чел. в штатной экипировке.

Конструкторам ОКБ им. Н. И. Камова совместно с разработчиками комплекса вооружения пришлось проделать серьезную работу по защите целей вооружения от опасных токов наводки от электромагнитного излучения РЛС кораблей.

За последние десятилетия вертолеты различного назначения стали неотъемлемой частью вооружения боевых надводных кораблей мира. Для решения задач ПЛО вертолеты оснащаются опускаемыми ГАС и гидроакустическими буями, а для решения задач УРО – РЛС целеуказания по надводным целям и ударным ракетным оружием.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вместе с флотом России: К 65-летию ОАО «Северное ПКБ»/ Под общей редакцией ген. директора ОАО «Северное ПКБ» В.И. Спиридопуло. – СПб.: ИД «ИНформ ВС», 2011. ■

45-Я АССАМБЛЕЯ САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОГО МОРСКОГО СОБРАНИЯ

Санкт-Петербургское Морское Собрание,
контакт. тел. (812) 312 5396

27 июля 2017 г. в канун Дня Военно-Морского Флота России и военно-морского парада в Санкт-Петербурге, в Государственной резиденции К-2, состоялась 45-я Ассамблея Морского Собрания Санкт-Петербурга, посвященная Дню Военно-Морского Флота России.

В ожидании торжественного начала ассамблеи и прибытия Главнокомандующего ВМФ адмирала В. И. Королёва все присутствующие могли прослушать великолепный концерт солистов Мариинского театра, который открылся исполнением песни о легендарном крейсере «Варяг».

После его окончания, перед присутствующими выступил председатель МС СПб Н. В. Орлов, который напомнил о необходимости помнить историю образования МС СПб и зачитал наиболее важные документы из Российского государственного архива ВМФ о дате образования МС СПб, его целях и задачах и его статусе, полученном в феврале 1910 г.: Морское Собрание было образовано не как общественная, а как государственная организация с формой общественного управления.

Выступает Главнокомандующий ВМФ адмирал В. И. Королёв

На современном этапе МС СПб неуклонно следует флотским традициям, сложившимся со дня своего образования, сохраняет и приумножает их. Н. В. Орлов подчеркнул специфику работы МС СПб, связанной со многими лицами, учреждениями, предприятиями и организациями. В его задачи входит проведение различных тематических встреч в формате «круглых столов», посвященных памятным датам в истории флота России, участие в общегородских конференциях, большая издательская деятельность. Н. В. Орлов доложил присутствующим о выходе из печати книги «Главный военно-морской парад России», повествующей об истории зарождения во времена Петра Великого и проведения в Российском флоте военно-морских парадов как одних из главных высоких государственных церемониалов в честь особо значимых и торжественных событий. В заключение Н. В. Орлов сердечно поздравил присутствующих с

Главнокомандующий ВМФ адмирал В. И. Королёв вручает контр-адмиралу Б. Е. Богданову медаль «За службу в надводных силах»

Днем ВМФ и пожелал всем крепкого здоровья, счастья и успехов.

Затем первый заместитель председателя СПб МС адмирал В. П. Иванов зачитал приказы по СПб МС от 26 июля 2017 г., в соответствии с которым за безупречное служение МС СПб, активное участие в решении его задач, укрепление авторитета, честное и добросовестное исполнение своих общественных и служебных задач и обязанностей были награждены:

– золотым нагрудным знаком «*За 20 лет безупречной службы в СПб МС*» действительный член МС С. Н. Ирютин, почетный член МС А. А. Нефедов, И. А. Пашкевич;

– золотым нагрудным знаком «*За 15 лет безупречной службы в СПб Морском Собрании*» действительный член МС Ю. Н. Курганский;

– золотым нагрудным знаком «*За 10 лет безупречной службы в СПб МС*» К. К. Кокоев.

Другим приказом были награждены:

– орденом «*За трудовую доблесть*» *1-й степени* член МС П. П. Паринов;

– орденом «*За заслуги в морской деятельности*» *1-й степени* контр-адмирал В. А. Тряпичников;

– орденом «*За заслуги*» *2-й степени* контр-адмирал В. И. Земсков, контр-адмирал В. Н. Кочемазов, контр-адмирал А. Г. Штукатуров;

– орденом «*За воинскую доблесть*» *2-й степени* контр-адмирал Д. В. Березовский, капитан 1 ранга Д. Ю. Еремин, капитан 1 ранга О. А. Сурганов;

– орденом «*За трудовую доблесть*» *2-й степени* полковник Н. В. Воробьев, полковник И. Г. Мосягин;

– орденом «*За заслуги в морской деятельности*» *2-й степени* капитан 1 ранга Д. А. Жегалин, капитан 1 ранга В. В. Куташов;

– золотой медалью «*Петр Великий*» пресс-секретарь МС И. А. Лещенко;

– серебряной медалью «*Адмирал Флота Советского Союза Н. Г. Кузнецов*» капитан 1 ранга А. А. Пивачев, капитан 1 ранга С. В. Саитов, капитан 1 ранга С. П. Павлов, капитан 2 ранга М. Н. Четвериков.

Награды вручал председатель СПб МС Н. В. Орлов, который пожелал награжденным здоровья и успехов во благо нашей Родины.

После награждения были зачитаны выписки из приказов Главнокомандующего ВМФ адмирала В. И. Королёва от 20 июля 2017 г., в соответствии с которыми были награждены члены собрания:

– за оказание содействия в развитии и совершенствовании Военно-Морского Флота РФ медалью «*Адмирал Флота Советского Союза С. Г. Горшков*» С. О. Барышников, К. К. Кокоев, С. В. Литвинов, А. А. Нефедов, С. С. Пустынников.

– за безупречную службу в объединениях и соединениях подводных лодок ВМФ в течение пяти лет и более в календарном исчислении медалью «*За службу в подводных силах*» С. А. Фарков;

– медалью «*За службу в надводных силах*»Б. Е. Богданов;

– за оказание содействия в решении задач, возложенных на ВМФ, медалью «*За службу в надводных силах*» В. Л. Васюков, К. А. Смирнов;

– за содействие ВМФ в решении задач в районах Арктики медалью «*За морские заслуги в Арктике*» Л. Б. Горохов, В. П. Иванов;

Председатель МС СПб Н. В. Орлов награждает контр-адмирала В. А. Тряпичникова орденом «За заслуги в морской деятельности»

– за оказание непосредственного содействия ВМФ в решении задач, связанных с освоением Арктического региона и Северного морского пути медалью «*За морские заслуги в Арктике*» Г. С. Казанин, Н. В. Орлов, Г. А. Фокин, С. Г. Фокин.

Награды вручал Главнокомандующий ВМФ адмирал В. И. Королёв. ■

Фото И. А. Лещенко

ИТОГИ ЮБИЛЕЙНОГО СОБРАНИЯ АССОЦИАЦИИ СУДОСТРОИТЕЛЕЙ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА И ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ И СЕКЦИИ СУДОСТРОЕНИЯ МОРСКОГО СОВЕТА ПРИ ПРАВИТЕЛЬСТВЕ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

Ассоциация судостроителей Санкт-Петербурга и Ленинградской области,
контакт. тел. (812) 786 1172

8 июля 2017 г. состоялось собрание членов Ассоциации судостроителей Санкт-Петербурга и Ленинградской области и Секции по судостроению Морского Совета при правительстве Санкт-Петербурга, на котором присутствовали директора или заместители директоров 41 предприятия из 49 предприятий–членов Ассоциации, вице-губернатор С. Н. Мовчан, ответственный секретарь Морского Совета при правительстве Санкт-Петербурга Т. И. Чекалова, председатель Комитета по науке и высшей школе правительства Санкт-Петербурга А. С. Максимов, главный специалист Комитета по образованию правительства Санкт-Петербурга Э. Н. Колесников, представители НТО им. акад. А. Н. Крылова, пресса и TV.

Слева-направо: Д. Ю. Колодяжный, Л. Г. Грабовец, С. Н. Мовчан, В. Л. Александров, В. Г. Левченко

С определением целей и задач технической политики ОСК выступил вице-президент ОСК Д. Ю. Колодяжный. В их числе – безусловное выполнение государственного заказа, рост объемов судостроения в 5 раз к 2030 г. по сравнению с 2013 г., обеспечение внутреннего спроса на 70% к 2030 г.

Отмечено, что нормативная база технической политика ОСК формируется на основе Морской доктрины РФ до 2020 г., Стратегии развития морской деятельности РФ до 2030 г., Стратегии развития арктической зоны, Государственной программы «Развитие судостроения и техники для освоения шельфовых месторождений на 2015–2030 гг.

Затем президент Ассоциации В. Л. Александров напомнил о 25-летии Ассоциации судостроителей Санкт-Петербурга и Ленинградской области. В своем докладе он отметил основателей организации, заострил внимание на том, что Ассоциация судостроителей расширила рамки своей деятельности, включив в состав членов ведущие НИИ морского и военно-морских флотов России. В 2017 г. Ассоциация судостроителей вступила в Союз промышленников и предпринимателей Петербурга. В. Л. Александров также подвел юбилейные итоги и обозначил задачи Ассоциации на будущее.

Ю. М. Коновалов

После этого состоялась презентация автобиографической книги В. Л. Александрова «Полвека в профессии». Модератором была Ю. И. Сыроежина. С отзывами о книге выступили А. С. Бузаков, В. А. Половинкин, А. В. Перелыгин, Г. Г. Ковалев, Ю. М. Коновалов, отец Богдан протоиерей Николо-Богоявленского Морского собора. Все они подчеркивали, что работа В. Л. Александрова «Полвека в профессии» актуальна и может быть полезна не только для действующих работников судостроения и студентов судостроительных профессий, но и других специалистов.

В. Л. Александров

Далее Т. И. Чекалова довела до собрания сведение о Постановлении Правительства РФ от 30.05.2017 г. № 659 об установлении профессионального праздника – Дня кораблестроителя, который будет ежегодно отмечаться 29 июня. ■

ТРЕБОВАНИЯ ПО ПОДГОТОВКЕ СТАТЕЙ И УСЛОВИЯ ИХ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ

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 (полутоновые), TIFF BITMAP (штриховые), EPS, JPEG, с разрешением 300 dpi для полутоновых, 600 dpi для штриховых и в размерах, желательных для размещения.

2. Статья должна содержать реферат объемом до 300 знаков, ключевые слова и библиографо-библиотечный индекс УДК. Автор указывает ученую степень, ученое звание, место работы, должность и контактный телефон, а также дает в письменной форме разрешение редакции журнала на размещение статьи в Интернете и Научной электронной библиотеке после публикации в журнале. Статья представляется с рецензией.

3. Статьи соискателей и аспирантов принимаются к публикации на бесплатной и безгонорарной основе.

4. Контрольное рецензирование этих статей осуществляет редакционная коллегия с привлечением при необходимости профильных специалистов. Рецензии на статьи хранятся в редакции журнала в течение 5 лет.

5. В случае отказа в публикации автору высылается рецензия. Копии рецензий направляются в Минобрнауки России при поступлении соответствующего запроса в редакцию журнала.

6. Содержание журнала ежеквартально представляется на рассмотрение редакционному совету. Решение о выпуске очередного номера оформляется протоколом.

РЕФЕРАТЫ

УДК 629.562.3 **Ключевые слова**: ОАО «ЛСЗ»Пелла», кормовой траулер, судно ярусного лова краба, морозильный траулер, строительство, характеристики

И.Л. Вайсман, И.И. Машура. ОАО «Пелла» строит промысловые суда для обновления российского флота // Морской вестник. 2017. № 3 (63). С. 1

Приведены технические характеристики трех рыбопромысловых судов – кормового траулера, краболова и морозильного траулера, постройку которых ведет ОАО «Пелла» для отечественного флота. Ил. 1.

УДК 629.5 **Ключевые слова**: танкер, паром, сжиженный природный газ, MARPOL Tier III

Г.В. Егоров, Д.В. Колесник, Е.А. Осадчий. Суда смешанного плавания и железнодорожные паромы нового поколения, работающие на СПГ // Морской вестник. 2017. № 3 (63). С. 7

На примере танкера пр. RST27 и парома пр. CNF19M рассмотрены технические решения по использованию сжиженного природного газа в качестве топлива, которые позволят решить проблему с выбросами от двигателей перспективных серий судов смешанного река-море плавания и паромов.Т. 2. Ил. 6. Библиогр. 13 назв.

УДК 629.5.035 **Ключевые слова**: плавниковый движитель, швартовый режим, тяга движителя при работе в покоящейся среде

А.И. Короткин, Е.А. Морозова (Бусоргина). Тяга плавникового движителя на швартовном режиме // Морской вестник. 2017. № 3 (63). С. 13

Объектом научного исследования стали особенности работы плавникового движителя на швартовном режиме. Цель работы – выявить условия достижения максимальной тяги при заданных габаритах движителя. Методом исследований является теоретический подход на базе общих уравнений гидродинамики. Из общих соотношений теоретической гидромеханики получены соотношения, позволяющие оптимизировать работу плавникового движителя на швартовном режиме. Ил. 3. Библиогр. 6 назв.

УДК 621.039 **Ключевые слова:** плавучие косы, донная сейсморазведка, пневматические излучатели, параваны, сейсмические станции

Р.Н. Караев. Особенности сейсморазведочных судов с учетом специфики их эксплуатации//Морской вестник. 2017. № 3 (63). С. 15

Рассмотрены сейсморазведочные суда, обозначены особенности их использования. Проанализирован опыт эксплуатации сейсморазведочных судов типа «X-BOW». Даны рекомендации по их использованию в суровых ледовых условиях. Ил. 6. Библиогр. 3 назв.

УДК 629.576 **Ключевые слова**: скоростное амфибийное судно, воздушная подушка, экранный эффект, технологии CFD

П.С. Кальясов, М.П. Лобачев, А.И. Лукьянов, А.В. Февральских, В.В. Шабаров. Сравнительный анализ двух подходов к разработке аэрогидродинамической компоновки скоростного амфибийного судна // Морской вестник. 2017. № 3 (63). С. 22

Представлен анализ двух различных технологических подходов к разработке аэрогидродинамической компоновки скоростного амфибийного судна. Первый подход базируется на экспериментах в аэродинамической трубе и опытовом бассейне. Второй подход связан с применением вычислительных технологий CFD. В основе анализа лежит опыт проектирования судна на воздушной подушке с аэродинамической разгрузкой «Тунгус» и экраноплана «Стриж». Т. 2. Ил. 5. Библиогр. 8 назв.

УДК 629.12 **Ключевые слова**: гражданские суда, стоимость постройки, рынок, конкуренция, способы повышения конкурентоспособности отечественного судостроения

Н.В. Ворошилов. Актуальные проблемы формирования стоимости постройки гражданских судов в Российской Федерации. Пути повышения конкурентоспособности российских верфей на отечественном и международном судостроительном рынках // Морской вестник. 2017. № 3 (63). С. 31

Дан анализ современного состояния рынка гражданского судостроения в РФ, его перспектив и влияния на развитие отечественных верфей. Рассмотрен процесс формирования стоимости строительства судов на верфях, выделены основные причины низкой конкурентоспособности отечественных, предложены пути повышения их конкурентоспособности при дальнейшей работе как на внутреннем, так и на внешнем рынках. Ил. 1.

УДК 629.12.011.63 **Ключевые слова**: корабельное перекрытие, переборка, полимерный композитный материал, металл, прочность, устойчивость, критерий, эффективность, масса, сравнительный анализ

Д.А. Бардадим, А.Е. Калиничев, В.С. Яковлев. Анализ весовой эффективности судовых переборочных перекрытий различных архитектурных типов и материалов // Морской вестник. 2017. № 3 (63). С. 34

Рассмотрены перекрытия традиционной архитектуры, монолитной и пакетной структуры, выполненные из металла, стекло-, угле- и органопластика. Численный эксперимент выявил, что эффективность с увеличением нагрузки переборок традиционной архитектуры и гладких возрастает, а пакетных переборок снижается.

Неподкрепленные монолитные переборки из ПКМ выгодно отличаются по весовым и технологическим характеристикам по сравнению с металлическими переборками традиционной архитектуры. Переборки пакетного типа имеют существенно более высокий (40% и более) показатель эффективности по сравнению с традиционными и монолитными переборками. Т. 1. Ил. 6. Библиогр. 5 назв.

УДК 629.12373 **Ключевые слова**: протекторная защита, алюминиевая, катодная, электрохимическая, корпус корабля, корабли иностранной постройки

К.Л. Новиков. Защита корпусов судов и кораблей иностранной постройки // Морской вестник. 2017. № 3 (63). С. 41

Специалисты АО «51 ЦКТИС» как назначенного проектанта кораблей иностранной постройки, исходя из опыта эксплуатации кораблей со стальным корпусом, пришли к выводу, что протекторная электрохимическая защита всей подводной части корпуса (с применением алюминиевых протекторов) необходима. Предложенный способ электрохимической защиты получил положительное экспертное заключение в ФГУП «ЦНИИ КМ «Прометей». В настоящее время «51 ЦКТИС» разрабатывает и согласовывает схемы электрохимической защиты подводной части корпуса для кораблей всех проектов, проектантом которых является. Ил. 2. Библиогр. 4 назв.

УДК 629.551.001.18 **Ключевые слова**: судостроение, отраслевое управление, стратегическое управление, стратегия, потенциал, производительность

А.В. Иванкович. Стратегии прошлые и будущие // Морской вестник. 2017. № 3 (63). С. 42

Проанализированы возможности повышения потенциала судостроительной отрасли, необходимые инструменты для перехода отраслевой системы стратегического управления на качественно новый уровень. Кроме того, обсуждаются контуры создания стратегических документов нового поколения. Библиогр. 3 назв.

УДК 629.12.014 **Ключевые слова:** рулевая машина, роторная машина, гидравлический привод

Ю.А. Лебедев, В.Ю. Ситников. Проблемы проектирования рулевых машин роторного типа // Морской вестник. 2017. № 3 (63). С. 47

Показаны основные вехи развития роторных рулевых машин, описаны их конструктивные особенности, даны рекомендации по проектированию. Ил. 10. Библиогр. 8 назв.

УДК 621.643.43–036:629.5 **Ключевые слова**: микропористость, герметизация, Резинол 88С

П.А. Лебедева. А.С. Суханов. АО «Армалит» вывело качество литья на новый уровень // Морской вестник. 2017. № 3 (63). С.53

Рассмотрен автоматический комплекс с применением акрилатного продукта Резинол 88С производства компании Хенкель-Локтайт для герметизации микропористости изделий из металлических сплавов и сталей. Ил. 1

УДК621.3.032.531 **Ключевые слова**: плетеная медная шина, диффузионная сварка, электрооборудование, вибрационная защита, компенсация теплового расширения, кабель

И.М. Рагузин. Передовые технологии АО «Новая ЭРА»: плетеная медная шина – альтернатива кабелю // Морской вестник. 2017. № 3 (63). С. 54

Рассмотрены сфера и преимущества применения плетеной медной шины. Описаны конструктивные элементы и технологии производства таких шин. Обозначены преимущества применения технологии, используемой АО «Новая ЭРА», по сравнению с распространенными технологиями изготовления гибких шин. Приведены примеры некоторых технических характеристик плетеных медных шин. Ил. 4.

УДК 621.372.632 **Ключевые слова**: многоуровневые преобразователи частоты, каскадные преобразователи частоты, гребные электроустановки, качество электроэнергии

Д.В. Умяров, А.Я. Кокин, О.И. Самойлов. Многоуровневые преобразователи частоты в системах электродвижения судов // Морской вестник. 2017. № 3 (63). С. 57

Рассмотрены многоуровневые преобразователи частоты, применяемые для снижения негативного влияния работы мощных преобразователей частоты на качество электроэнергии судовой сети и гребные электродвигатели.Т. 1. Ил. 17. Библиогр. 4 назв.

УДК 517.9:629.5.0 **Ключевые слова**: ЯЭУ, надежность, живучесть, безопасность, проектное решение

М.И. Говоровская. Разработка математических методов структурного анализа СУ ЯЭУ // Морской вестник. 2017. № 3 (63). С. 63

Приведены результаты анализа существующих математических методов обоснованного выбора структуры корабельной ЯЭУ и поиска альтернативного метода для решения практических задач проектирования. Для удобства использования найденного метода предложен инструментальный программный аппарат. Ил. 4. Библиогр. 3 назв.

УДК. 621.316.722.016.3 **Ключевые слова**: ключевой блок, трехфазный инвертор напряжения, широтно-импульсная модуляция, коэффициент гармоник, частотный спектр

Б.Ф. Дмитриев, С.Я. Галушин, А.М. Лихоманов, А.Ю. Розов. Мостовые выпрямители с импульсно-модуляционным управлением // Морской вестник. 2017. № 3 (63). С. 68

Рассмотрена зависимость качественных показателей регулируемого напряжения и потребляемого тока мостовых выпрямителей с импульсно-модуляционным управлением от законов управления, видов модуляции и частоты квантования сигналов. Ил. 9. Библиогр. 5 назв.

УДК 656.61 + 621.643.43 **Ключевые слова**: ООО «Винета», ЦАГИ им. проф. Жуковского, система очистки воздуха, конструкция композитный материал, импортозамещение

П.В. Наливкин, И.В. Плещенков, А.С. Витковский. Системы очистки воздуха судовых двигателей и освоение композитных материалов для их изготовления в ООО «Винета» // Морской вестник. 2017. № 3 (63). С. 71

Проанализированы опыт разработки и создания сепаратора инновационного с применением композитного материала для очистки воздуха, предназначенного для газотурбинных и дизельных энергетических установок. Работа была успешно выполнена специалистами ООО «Винета» и ГНЦ ФГУП «Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского». Ил. 4.

УДК 621.165 **Ключевые слова**: сопловой аппарат, турбина, эффективность, сопло, микротурбина, коэффициент скорости

А.А. Юртаев, А.А. Юртаев, А.А. Семенихин, Д.И. Ибрагимов. Изученность методов повышения эффективности сопловых аппаратов малорасходных турбин // Морской вестник. 2017. № 3 (63). С. 76

Обзор работ, посвященных исследованиям эффективности микротурбин и их сопловых аппаратов. Рассмотрены методы повышения эффективности микротурбин на основе применения новых технических решений в области рабочего цикла или конструкции проточной части сопловых аппаратов и рабочих колес. Выявлены различные современные подходы к определению параметров течения газа. Проанализированы вопросы оптимального профилирования сопловых аппаратов. Изучены совокупности геометрических и режимных параметров сопл, соответствующих максимальному значению коэффициента скорости. Библиогр. 34 назв.

УДК 629.764.7 **Ключевые слова**: мониторинг, беспилотный летательный аппарат, целеуказание, система поддержки принятия решений, освещение обстановки, полетное задание, сценарий поиска

Д.А. Кондратьев, А.Г. Юрескул, В.В. Каманин, Ю.Ф. Подоплёкин. Гражданское применение беспилотных летательных аппаратов морского базирования для решения задач мониторинга водных биоресурсов // Морской вестник. 2017. № 3 (63). С. 79

Рассмотрено применение системы мониторинга водной поверхности на базе беспилотного летательного аппарата морского базирования с целью оценки водных биоресурсов. Предложены структура системы мониторинга, алгоритм функционирования комплекса, включая подготовку полетных заданий и геопривязку полученной информации, в том числе с использованием интеллектуальной системы поддержки и принятия решений. Т. 1. Ил. 5. Библиогр. 11 назв.

УДК.004.51 **Ключевые слова**: экран, сенсор, деятельность, оператор, граф, матрица инциденций, укрупнение, анализ, управление

В.В. Кобзев, А.П. Чернёв. Моделирование управляющих действий оператора при работе с сенсорным экраном // Морской вестник. 2017. № 3 (63). С. 83

Представлен анализ взаимодействия оператора с сенсорным экраном в процессе управления корабельными техническими средствами и определена его специфика. Выявлены новые формы действий, обусловленные совмещением моторного и сенсорного полей деятельности оператора. Математические модели действий оператора построены на основе теории функциональных сетей, ключевой моделью которой является базовая модель деятельности. Предложен метод укрупнения вероятностного графа процесса «Работа-Контроль» с помощью последовательного преобразования матриц инциденций. Укрупнение дает возможность сводить сложные исходные структуры управляющих действий оператора к простым моделям с эквивалентными характеристиками их реализаций. Т. 1. Ил. 6. Библиогр. 6 назв.

УДК 621.396.969.13 **Ключевые слова**: угол места, низколетящая цель, интерференция сигналов, точность измерений, алгоритм сопровождения, пеленгационная характеристика

В.А. Горнаков, В.Р. Лошаков. Метод точного сопровождения по углу места низколетящей цели в условиях интерференции // Морской вестник. 2017. № 3 (63). С. 90

Описан метод точного сопровождения по углу места низколетящей цели радиолокационной станцией, построенной на активных фазированных антенных решетках с цифровым диаграммообразованием в условиях интерференции над отражающей подстилающей морской поверхностью. Ил.6. Библиогр. 6 назв.

УДК 658.012: 656.61: 629.12.037 **Ключевые слова:** системы автоматического управления движением МПО, математическая модель движения МПО, идентификация параметров математической модели МПО, авторулевой, отладочно-сдаточный стенд

В.М. Амбросовский, Д.В. Казунин. Идентификация параметров математической модели движения морского подвижного объекта // Морской вестник. 2017. № 3 (63). С. 95

Рассмотрена задача параметрической идентификации математической модели движения судна, предназначенная для отладки и тестирования систем автоматического управления движением морских подвижных объектов. Проанализированы типовые маневры, структура математической модели движения, предложены корректирующие коэффициенты и критерии оптимизации, приведены результаты настройки математической модели движения морских подвижных объектов в различных режимах движения (циркуляция, зигзаг и др.). Ил. 10. Библиогр. 10 назв.

УДК 623.98: 681.3.06 **Ключевые слова**: Мировой океан, нефтяное загрязнение, мультисенсорный подход, спутниковый сервис, радиолокатор с синтезированной апертурой, метод локализации и ликвидации нефтяных загрязнений, БИУС, автоматизированная система сбора информации и контроля загрязнения

Ю.А. Мальченко. Спасение океана в наших руках // Морской вестник. 2017. № 3 (63). С. 99

Обозначена проблематика нефтяных загрязнения Мирового океана, предложен комплекс мер по его эффективному обнаружению. Представлена планируемая к разработке автоматизированная система сбора информации и контроля загрязнения. Ил. 2. Библиогр. 5 назв.

УДК 681.76 **Ключевые слова**: автономные объекты, технические системы, системы безопасности, системы жизнеобеспечения, мониторинг, контроль, управление, оптико-электронные средства обнаружения и распознавания событий, комбинированное применение

И.О. Прутчиков, В.В. Камлюк, Е.Л. Каулин, В.И. Михайлов, Л.С. Федяев. Системы мониторинга, контроля и управления бесперебойным жизнеобеспечением автономных объектов на основе комбинированного применения оптико-электронных средств обнаружения и распознавания событий // Морской вестник. 2017. № 3 (63). С. 102

Уделено внимание вопросам автоматизированного мониторинга, контроля и противоаварийного управления жизнеобеспечением автономных объектов. Особо говорится о комбинированном применении в целях управления оптико-электронных средств обнаружения и распознавания событий. По результатам выполненных исследований обоснована и предложена концепция развития систем жизнеобеспечения автономных объектов. Ил.5. Библиогр. 8 назв.

УДК 656.61.0128 **Ключевые слова**: аварийно-спасательные работы, гидрометеорологические условия, индивидуальные спасательные средства, коллективные спасательные средства, гидротермокостюм, арктические условия, федеральная система поиска и спасания, нормативные правовые документы, национальные стандарты

В.Н. Илюхин, А.Б. Фёдоров. О системном решении актуальных проблем обеспечения безопасности и эффективности выполнения аварийно-спасательных работ на море на основе учета гидрометеорологических условий // Морской вестник. 2017. № 3 (63). С. 107

Рассмотрены подходы к учету гидрометеорологических условий, совершенствованию спасательных средств и морского законодательства в области поиска и спасания на море. Т. 3. Ил. 7. Библиогр. 17 назв.

УДК 629.124: 532 **Ключевые слова:** буксируемый объект, идеальный буксировщик, траектория, автоколебания, критерий оценки устойчивости движения

П.В. Гуров, А.Е. Жуков, Б.П. Ионов. Буксировочный дрейф: движение буксируемого объекта прямым курсом за идеальным буксировщиком//Морской вестник. 2017. № 3 (63). С. 114

Прямолинейное движение буксируемого объекта в заданном направлении характеризуется буксировочным дрейфом. Объектом исследований является буксирный состав, состоящий из буксирного судна и буксируемого объекта. В ходе исследования введены допущения: буксировщик представлен идеальным в виде клюзовой точки, буксирная связь – невесомый и нерастяжимый трос, буксировка происходит на тихой воде, для определения гидродинамических сил на корпусе буксируемого объекта используются линейные зависимости. Предложен новый критерий оценки устойчивости движения буксируемого объекта при подготовке к проведению буксирной операции. Приведены зависимости для определения границ допустимых значений критерия. Обоснован алгоритм получения предложенных зависимостей. Показаны результаты проверочного расчета буксировки реального судна, подтвердившие правильность сделанных выводов. Расчет выполнен на математической модели буксирного состава с идеальным буксировщиком. Т. 1. Ил. 8. Библиогр. 4 назв.

УДК 061.43:623.8 **Ключевые слова**: МВМС–2017, АО «ЦМКБ «Алмаз», проекты, итоги

Д.Е. Цыганков. Участие АО «ЦМКБ «Алмаз» в Международном военно-морском салоне–2017 // Морской вестник. 2017. № 3 (63). С. 117

Об участии АО «ЦМКБ «Алмаз» в МВМС–2017, стенде компании на Салоне, его экспонатах как итогах работы фирмы. Особо говорится о зарубежных делегациях, которые проявили интерес к работе ОСК в целом и «ЦМКБ «Алмаз» в частности. Ил. 7.

УДК 629.5 **Ключевые слова**: вертолеты корабельного базирования, ангар, конструкция, развитие

В.Е. Юхнин. Вертолеты на кораблях // Морской вестник. 2017. № 3 (63). С. 121

Знакомит с историей появления вертолетов на кораблях отечественной постройки, особенностях их размещения и модернизации кораблей. Ил. 12. Библиогр. 1 назв.

REQUIREMENTS FOR THE PREPARATION OF ARTICLES AND THE TERMS OF THEIR SUBMISSION

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 629.562.3 **Keywords**: OJSC Pella, forage trawler, longline crab vessel, freezing trawler, construction, characteristics

I.L. Vaisman, I.I. Mashura. OJSC Pella builds commercial vessels for the renovation of the russian fleet // Morskoy Vestnik. 2017. № 3(63). P. 1

The technical characteristics of the three fishing vessels – a stern trawler, a crab and a freezing trawler, are built by OJSC Pella for the domestic fleet. Fig. 1

UDC 629.5 **Keywords**: tanker, ferry, liquefied natural gas, MARPOL Tier III

G.V. Egorov, D.V. Kolesnik, E.A. Osadchy. Vessels of mixed navigation and new-generation rail ferries operating on LNG // Morskoy Vestnik. 2017. № 3(63). P. 7

The example of the tanker project RST27 and ferry project CNF19M considered technical solutions for the use of liquefied natural gas as a fuel that will solve the problem with emissions from engines of the prospective series of ships of mixed river-sea navigation and ferries. T.2. Fig. 6. Bibliography 13 titles.

UDC 629.5.035 **Keywords**: fin propeller, mooring mode, propulsion thrust when operating in a stationary medium

A.I. Korotkin, E.A. Morozova (Busorgina). Thrust of the fin engine at the mooring mode // Morskoy Vestnik. 2017. № 3(63). P. 13

The object of scientific research was the peculiarities of the operation of the fin engine on the mooring regime. The purpose of the work is to reveal the conditions for achieving maximum thrust at a given thruster dimensions. The method of research is a theoretical approach based on general equations of hydrodynamics. From the general relations of theoretical hydromechanics, the ratios allowing to optimize the operation of the fin engine on the mooring regime are obtained. Fig. 3. Bibliography 6 titles.

UDC 621.039 **Keywords**: floating braids, seismic survey, pneumatic emitters, paravans, seismic stations

R.N. Karaev. Features of seismic survey vessels taking into account the specifics of their operation // Morskoy Vestnik. 2017. № 3(63). P. 15

Seismic survey vessels are considered, features of their use are indicated. The experience of operating seismic vessels of the «X-BOW» type is analyzed. Recommendations are given on their use in severe ice conditions. Fig. 6. Bibliography 3 titles.

UDC 629.576 **Keywords**: high-speed amphibious vessel, air cushion, screen effect, CFD technology

P.S. Kal'yasov, M.P. Lobachev, A.I. Luk'yanov, A.V. Fevral'skikh, V.V. Shabarov. Comparative analysis of two approaches to the development of aerohydrodynamic configuration of a high-speed amphibian vessel // Morskoy Vestnik. 2017. № 3(63). P. 22

The analysis of two different technological approaches to the development of aerohydrodynamic layout of a high-speed amphibian vessel is presented. The first approach is based on experiments in a wind tunnel and an experimental basin. The second approach is related to the use of CFD computing technologies. The analysis is based on the experience of designing a hovercraft with aerodynamic unloading «Tungus» and WIG-craft «Strizh». T. 2. Fig. 5. Bibliography 8 titles.

UDC 629.12 **Keywords:** civil vessels, construction cost, market, competition, ways to increase the competitiveness of domestic shipbuilding

N.V. Voroshilov. Actual problems of forming the cost of building civil vessels in the Russian Federation. Ways of increasing the competitiveness of Russian shipyards in the domestic and international shipbuilding markets // Morskoy Vestnik. 2017. № 3(63). P. 31

The analysis of the current state of the civil shipbuilding market in the Russian Federation, its prospects and influence on the development of domestic shipyards is given. The process of forming the cost of building ships at shipyards is considered, the main reasons for the low competitiveness of domestic shipbuilding are outlined, and ways of increasing their competitiveness are suggested for further work both in the domestic and foreign markets. Fig. 1.

UDC 629.12.011.63 **Keywords:** ship floor, bulkhead, polymer composite material, metal, strength, stability, criterion, efficiency, mass, comparative analysis

D.A. Bardadim, A.E. Kalinichev, V.S. Yakovlev. Analysis of the weight efficiency of ship bulkheads of different architectural types and materials // Morskoy Vestnik. 2017. № 3(63). P.34

The overlapping of traditional architecture, monolithic and package structure, made of metal, glass, coal and organoplastics are considered. A numerical experiment revealed that the efficiency with increasing load of bulkheads of traditional architecture and smooth increases, and the bulkheads are reduced. Unfixed monolithic bulkheads from PCM favorably differ in weight and technological characteristics in comparison with metal bulkheads of traditional architecture. Bulkheads have a significantly higher (40% or more) efficiency index compared to traditional and monolithic bulkheads. T. 1. Fig. 6. Bibliography 5 titles.

UDC 629.12373 **Keywords**: tread protection, aluminum, cathodic, electrochemical, ship hull, ships of foreign construction

K.L. Novikov. Protection of hulls of ships and ships of foreign construction // Morskoy Vestnik. 2017. № 3(63). P.41

Specialists of JSC 51 CDTISR as a designated designer of ships of foreign construction, based on the experience of operating ships with a steel hull, came to the conclusion that protector electrochemical protection of the entire underwater part of the hull (using aluminum protectors) is necessary. The proposed method of electrochemical protection received a positive expert opinion in CRISM «Prometey». At present, 51 CDTISR develops and coordinates electrochemical protection schemes for the underwater part of the hull for ships of all projects, the designer of which is. Fig.2. Bibliography 4 titles.

UDC 629.551.001.18 **Keywords**: shipbuilding, sectoral management, strategic management, strategy, potential, productivity

A.V. Ivankovich. Strategies past and future // Morskoy Vestnik. 2017. № 3 (63). P.42

The possibilities of increasing the potential of the shipbuilding industry, the necessary tools for the transition of the sectoral system of strategic management to a qualitatively new level are analyzed. In addition, the contours of the creation of strategic documents of the new generation are discussed. Bibliography 3 titles.

UDC 629.12.014 **Keywords**: steering machine, rotary machine, hydraulic drive

Yu.A. Lebedev, V.Yu. Sitnikov. Problems in the design of rotary-type steering machines // Morskoy Vestnik. 2017. № 3(63). P.47

The main milestones of development of rotary steering cars are shown, their design features are described, recommendations on designing are given. Fig. 10. Bibliography 8 titles.

UDC 621.643.43–036: 629.5 **Keywords**: microporosity, sealing, Resinol 88C

P.A. Lebedeva. A.S. Sukhanov. JSC «Armalit» brought the quality of casting to a new level // Morskoy Vestnik. 2017. № 3(63). P. 53

An automatic complex with the use of the acrylate product Resinol 88C from Henkel-Lockteit to seal the microporosity of products made of metal alloys and steels is considered. Fig. 1

UDC621.3.032.531 **Keywords**: braided copper bus, diffusion welding, electrical equipment, vibration protection, thermal expansion compensation, cable

I.M. Raguzin. Advanced technologies of the OJSC «NE»: braided copper bus – an alternative to the cable // Morskoy Vestnik. 2017. № 3(63). P.54

The scope and advantages of using a braided copper bus are discussed. The design elements and production technologies of such tires are described. The advantages of using the technology used by OJSC «NE» are indicated, compared with the widespread technologies of manufacturing flexible tires. Examples of some technical characteristics of braided copper busbars are given. Fig. 4.

UDC 621.372.632 **Keywords:** multilevel frequency converters, cascade frequency converters, propulsion systems, power quality

D.V. Umyarov, A.Ya. Kokin, O.I. Samoilov. Multilevel frequency converters in the systems of electromotion of ships // Morskoy Vestnik. 2017. № 3(63). P.57

Multilevel frequency converters are used to reduce the negative impact of high-power frequency converters on the power quality of the ship's power network and propulsion motors. T.1. Fig.17. Bibliography 4 titles.

UDC 517.9: 629.5.0 **Keywords**: nuclear power plant, reliability, survivability, safety, design solution

M.I. Govorovskaya. Development of mathematical methods for structural analysis of the nuclear power unit control system // Morskoy Vestnik. 2017. № 3(63). P.63

The results of the analysis of existing mathematical methods for the justified choice of the structure of a ship nuclear power plant and the search for an alternative method for solving practical design problems are presented. For the convenience of using the method found, an instrumental program apparatus is proposed. Fig. 4. Bibliography 3 titles.

UDC. 621.316.722.016.3 **Keywords**: key unit, three-phase voltage inverter, pulse width modulation, harmonic coefficient, frequency spectrum

B.F. Dmitriev, S.Ya. Galushin, A.M. Likhomanov, A.Yu. Rozov. Bridge rectifiers with pulse-modulation control // Morskoy Vestnik. 2017. № 3(63). P.68

The dependence of the quality parameters of the regulated voltage and the current consumption of bridge rectifiers with pulse-modulation control on the control laws, modulation types and the frequency of signal quantization is considered. Fig. 9. Bibliography 5 titles.

UDC 656.61 + 621.643.43 **Keywords**: JSC Vineta, TsAGI named after Prof. N.E. Zhukovsky, air purification system, composite material construction, import substitution

P.V. Nalivkin, I.V. Pleshchenkov, A.S. Witkowsky. Systems of air purification of ship engines and mastering of composite materials for their manufacture in JSC Vineta // Morskoy Vestnik. 2017. № 3(63). P.71.

The experience of developing and creating an innovative separator with the use of a composite material for air purification intended for gas turbine and diesel power plants has been analyzed. The work was successfully carried out by specialists of Vineta and «Central Aerohydrodynamic Institute named after Prof. N.E. Zhukovsky». Fig. 4.

UDC 621.165 **Keywords**: nozzle apparatus, turbine, efficiency, nozzle, microturbine, speed coefficient

A.A. Yurtaev, A.A. Yurtaev, A.A. Semenikhin, D.I. Ibragimov. The study of methods for increasing the efficiency of nozzle apparatus of low-flow turbines // Morskoy Vestnik. 2017. № 3(63). P.76

A review of papers devoted to studies of the efficiency of microturbines and their nozzle apparatus. Methods for increasing the efficiency of microturbines based on the application of new technical solutions in the field of a working cycle or the design of a flowing part of nozzle apparatuses and impellers are considered. Various modern approaches to the determination of gas flow parameters have been identified. The problems of optimal profiling of nozzle apparatuses are analyzed. The sets of geometric and regime parameters of nozzles corresponding to the maximum value of the velocity coefficient are studied. Bibliography 34 titles.

UDC 629.764.7**Keywords**: monitoring, unmanned aerial vehicle, target designation, decision support system, situation lighting, flight task, search scenario

D.A. Kondrat'ev, A.G. Yureskul, V.V. Kamanin, Yu.F. Podoplyokin. Civil application of sea-based unmanned aerial vehicles for solving the problems of monitoring of aquatic biological resources // Morskoy Vestnik. 2017. № 3(63). P.79

The application of a water surface monitoring system based on a sea-based unmanned aerial vehicle for the purpose of assessing aquatic biological resources is considered. The structure of the monitoring system is proposed, the algorithm of the complex functioning, including the preparation of flight tasks and georeferencing of the received information, including using an intelligent system of support and decision-making.T. 1. Fig. 5. Bibliography 11 titles.

UDC.004.51 **Keywords**: screen, sensor, activity, operator, graph, incidence matrix, integration, analysis, control

V.V. Kobzev, A.P. Chernyov. Simulation of control actions of the operator when working with a touch screen // Morskoy Vestnik. 2017. № 3(63). P.83

The analysis of interaction of the operator with the touch screen in the process of control of shipborne technical means is presented and its specificity is determined. New forms of actions were identified, due to the combination of the motor and sensory fields of the operator's activity. Mathematical models of operator actions are based on the theory of functional networks, the key model of which is the basic model of activity. The method of enlargement of the probabilistic graph of the «Work-Control» process by means of a successive transformation of incidence matrices is proposed. Enlargement makes it possible to reduce complex initial structures of control actions of the operator to simple models with equivalent characteristics of their realizations.T.1. Fig. 6. Bibliography 6 titles.

UDC 621.396.969.13 **Keywords**: elevation angle, low-flying target, signal interference, measurement accuracy, tracking algorithm, direction-finding characteristic

V.A. Gornakov, V.R. Loshakov. The method of accurate tracking by the elevation angle of a low-flying target under interference conditions // Morskoy Vestnik. 2017. № 3(63). P.90

A method is described for accurately tracking the elevation of a low-flying target by a radar station built on active phased array antennas with digital beamforming under interference conditions over a reflecting underlying sea surface. Fig.6. Bibliography 6 titles.

UDC 658.012: 656.61: 629.12.037 **Keywords**: automatic movement control systems MPO, mathematical model of MPO motion, identification of parameters of mathematical model of MPO, autopilot, debugging test stand

V.M. Ambrosovsky, D.V. Kazunin. Identification of the parameters of the mathematical model of the motion of a marine mobile object // Morskoy Vestnik. 2017. № 3(63). P.95

The problem of parametric identification of the mathematical model of vessel motion is considered, intended for debugging and testing of automatic control systems for the motion of marine mobile objects. Typical maneuvers, the structure of the mathematical model of motion are analyzed, correction coefficients and optimization criteria are proposed, and the results of tuning the mathematical model of motion of mobile mobile objects in various modes of motion (circulation, zigzag, etc.) are presented. Fig. 10. Bibliography 10 titles.

UDC 623.98: 681.3.06 **Keywords**: world ocean, oil pollution, multisensory approach, satellite service, synthetic aperture radar, localization and liquidation of oil pollution, BIU, automated information collection and control system

Yu.A. Mal'chenko. Salvation of the ocean in our hands // Morskoy Vestnik. 2017. № 3(63). P.99

The problems of oil pollution of the World Ocean are designated, a set of measures for its effective detection is proposed. An automated system for collecting information and controlling pollution is planned to be developed. Fig. 2. Bibliography 5 titles.

UDC 681.76 **Keywords:** autonomous objects, technical systems, security systems, life support systems, monitoring, control, control, optoelectronic means of detection and recognition of events, combined application

I.O. Prutchikov, V.V. Kamlyuk, E.L. Kaulin, V.I. Mikhailov, L.S. Fedyaev. Systems of monitoring, control and management of uninterrupted life support of autonomous objects on the basis of combined application of opto-electronic means of detection and recognition of events // Morskoy Vestnik. 2017. № 3(63). P.102

Attention is paid to the issues of automated monitoring, control and emergency control of life support for autonomous objects. Particular mention is made of the combined use for the management of optoelectronic means of detection and recognition of events. Based on the results of the studies carried out, the concept of the development of life support systems for autonomous objects is justified and proposed. Fig.5. Bibliography 8 titles.

UDC 656.61.0128 **Keywords**: rescue operations, hydrometeorological conditions, individual life-saving appliances, collective life-saving appliances, hydrothermal suits, Arctic conditions, federal search and rescue system, regulatory legal documents, national standards

V.N. Ilyukhin, A.B. Fedorov. On the systemic solution of urgent problems of ensuring safety and efficiency of emergency rescue operations at sea on the basis of metering of hydrometeorological conditions // Morskoy Vestnik. 2017. № 3(63). P.107

Approaches to accounting for hydrometeorological conditions, improvement of life-saving appliances and maritime legislation in the field of search and rescue at sea are considered.T. 3. Fig. 7. Bibliography 17 titles.

UDC 629.124: 532 **Keywords**: towed object, ideal tow, trajectory, auto-oscillations, criterion of stability estimation of movement

P.V. Gurov, A.E. Zhukov, B.P. Ionov. Towing drift: the movement of a towed object by a straight course behind an ideal towing vehicle // Morskoy Vestnik. 2017. № 3(63). P.114

The rectilinear motion of the towed object in a given direction is characterized by a tow drift. The object of research is a towing structure consisting of a towing vessel and a towed object. In the course of the study, assumptions are made: the tow is presented as an ideal in the form of a pivot point, towing is a weightless and inextensible cable, towing takes place in quiet water; linear dependencies are used to determine the hydrodynamic forces on the body of the towed object. A new criterion for assessing the stability of the movement of a towed object in preparation for a towing operation is proposed. Dependencies are provided for determining the limits of the admissible values of the criterion. The algorithm for obtaining the proposed dependencies is substantiated. The results of a verification calculation of the towing of a real vessel are shown, which confirmed the correctness of the conclusions drawn. The calculation is made on a mathematical model of a towing structure with an ideal tow.T. 1. Fig. 8. Bibliography 4 titles.

UDC 061.43: 623.8 **Keywords**: IMDS–2017, JSC CDMB Almaz, projects, results

D.E. Tsygankov. Participation of JSC CDMB Almaz in the International Naval Salon–2017 // Morskoy Vestnik. 2017. № 3(63). P.117

On the participation of Almaz JSC in IMDS–2017, the stand of the company at the Salon, its exhibits as the results of the firm's work. Particular mention is made of foreign delegations that showed interest in the work of USC as a whole and CDMB Almaz in particular. Fig. 7

UDC 629.5 **Keywords**: ship-based helicopters, hangar, structure, development

V.E. Yukhnin. Helicopters on ships // Morskoy Vestnik. 2017. № 3(63). P.121

Familiar with the history of the appearance of helicopters on ships of domestic construction, the features of their deployment and modernization of ships. Fig.12. Bibliography 1 title.