

Александр Васильевич Шляхтенко родился 26 апреля 1949 г. в Омске. В 1966 г. поступил, а в 1972 г. окончил Ленинградский кораблестроительный институт (ныне – СПбГМТУ) и поступил на работу в ЦМКБ «Алмаз». В это время уже массово строились и эксплуатировались суда на подводных крыльях, проводились интенсивные исследования в области амфибийных судов на воздушной подушке. ЦМКБ «Алмаз» уже тогда занимало лидерские позиции в проектировании кораблей с динамическими принципами поддержания. И молодой специалист, защитивший диплом как раз по данной тематике, был подключен к серьезному проекту – созданию уникального 1000-тонного катамарана с «аэростатической разгрузкой», который сегодня известен как ракетный корабль на воздушной подушке скегового типа «Сивуч». Оригинальные компоновочные решения, предложенные А. В. Шляхтенко, нашли свое применение в этом проекте и были зарегистрированы в качестве изобретений.

Затем была работа над проектом штурмового десантного катера на воздушной подушке (КВП) амфибийного типа «Омар», после чего был десантный КВП «Мурена». Кстати, «Мурены» позднее строились не только для отечественного, но и для зарубежного заказчика: серьёзный интерес к этому проекту проявили ВМС Южной Кореи, заказавшие серию этих катеров.

Вторая половина 80-х гг. была посвящена разработке лицензионной документации на строительство ракетных катеров типа «Молния» в Индии. К этому времени А. В. Шляхтенко занимал должность заместителя главного конструктора, и основные тяготы связанной с этим организационной работы легли на его плечи. После этого в течение трех лет, с 1987 по 1990 г., он возглавлял группу отечественных специалистов, отве-

К 70-ЛЕТИЮ А. В. ШЛЯХТЕНКО

АО «ЦМКБ «Алмаз»,
контакт. тел. (812) 369 1211



чавших за техническое содействие при строительстве и испытаниях головного катера «Vibhuti» на верфи Mazagon Dock Ltd. в Бомбее.

По возвращении из Индии А. В. Шляхтенко назначают главным конструктором катеров радиационной и химической разведки, в 1991 г. – главным инженером предприятия. На следующий год он становится начальником – главным конструктором и продолжает руководить им по сей день, теперь в должности генерального директора АО «ЦМКБ «Алмаз».

Возглавив предприятие в сложных условиях перехода российской экономики на рыночные принципы хозяйствования, А. В. Шляхтенко за счет высоких

организаторских способностей, личного профессионализма и деловых качеств сумел обеспечить высокоэффективную стабильную работу конструкторского бюро, сохранить его кадровый потенциал, обеспечить достижение высоких производственных результатов и уровень конструкторской работы, соответствующий самым высоким отечественным и международным стандартам в области судостроения.

Нельзя не сказать о личных выдающихся заслугах А. В. Шляхтенко перед государством. За последние годы под его руководством и при непосредственном участии разработаны и созданы уникальные корабли и катера, имеющие важное значение для повышения



Ракетный корабль «Самум» типа «Сивуч»

Продолжение см. с. 6

Морской Вестник



№ 1 (69)

м а р т

2 0 1 9

Morskoy Vestnik

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Редакционный совет

Председатель

А.Л. Рахманов, президент

АО «Объединенная судостроительная корпорация»

Сопредседатели:

М.В. Александров, генеральный директор АО «ЦТСС»,

президент Ассоциации судостроителей СПб и ЛО

В.С. Никитин, президент Международного

и Российского НТО судостроителей

им. акад. А.Н. Крылова

Г.А. Турчин, ректор СПбГМТУ

Члены совета:

М.А. Александров, директор

ЗАО «ЦНИИ СМ»

А.С. Бузakov, 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»

М.А. Иванов, генеральный директор

АО «Системы управления и приборостроения»

В.Н. Илюхин, председатель НО «АРПСТТ»

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

А.Г. Родионов, генеральный директор

АО «Кронштадт Технологии»

С.В. Савков, генеральный директор

АО «Новая ЭРА»

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»

В.А. Титлянов, генеральный директор АО «ГНИНГИ»

А.Л. Ульянов, генеральный директор

ООО «Нева-Интернэшнл»

С.Г. Филимонов, генеральный директор

АО «Концерн Морфлот»

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

К 70-летию А. В. Шляхтенко	1
Д. Е. Цыганков. Краткие итоги деятельности АО «ЦМКБ «Алмаз» в 2018 году.	6
В. И. Спиридопуло – 70 лет	9
Е. М. Апполонов, А. Б. Ваганов, Б. П. Ионов, Ю. П. Кузнецов, А. Г. Ларин, Ю. Ф. Орлов. Экспериментальное исследование погружения подводного судна во льду	10
И. И. Ремизов, И. В. Говорун. Об оценке целесообразности использования системы регулирования плавучести подводного аппарата на основе принципа изменения его объема	14
Г. В. Егоров, А. Г. Егоров. Анализ закономерностей списания речных круизных судов и прогноз состава речного флота с определением наиболее востребованных типов судов для конверсии и модернизации	21

ТЕХНОЛОГИЯ СУДОСТРОЕНИЯ, СУДОРЕМОНТА И ОРГАНИЗАЦИЯ СУДОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

И. Л. Вайсман, А. А. Юрчак. О развитии и диверсификации предприятий оборонно-промышленного комплекса (проблемы и пути их решения)	29
К. О. Будников. Кооперационное взаимодействие предприятий при строительстве судов с учетом актуальных мировых тенденций	35
А. С. Мешков. Анализ применения деревянных настилов открытых участков палуб надводных кораблей и судов ВМФ	39
Г. А. Сорокин, В. Л. Сулов. Системы управления риском усталости на рабочем месте для безопасности при организации судостроительного производства	43

СУДОВЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ И ИХ ЭЛЕМЕНТЫ

В. Н. Половинкин. Флагману корабельных инженеров-механиков ВМФ России – 95 лет. К юбилею академика А. А. Саркисова	48
А. А. Бабичев. Проблемы реализации потенциальных возможностей теплового цикла в перспективных корабельных газотурбинных двигателях	51
А. А. Борискин. Параметрическая оптимизация силового привода малогабаритной пусковой установки	57
П. Г. Васильев, Д. А. Лебедев, С. С. Остапенко, О. А. Голубенко. Обеспечение требуемого ресурса трехэксцентрикковых дисковых затворов	61
В. К. Румб, Хоанг Ван Ты. Определение упругих и демпфирующих свойств упорного подшипника при расчете осевых колебаний судовых валопроводов	64
Л. А. Мальшев, В. С. Дворцов. Приготовление технических газов в корабельных условиях	69
А. С. Шаратов. Совершенствование пропульсивного комплекса по параметрам гребного винта путем дополнительного струйного воздействия воды, подаваемой на лопасти	72
АО «Новая ЭРА» – авторизованный сервисный партнер АО «Шнейдер Электрик»	77



ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ И УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ

<i>Г. А. Коржавин, Ю. Ф. Подоплёкин, О. Г. Мальцев. Использование координатных признаков для повышения вероятности распознавания вида источника радиоизлучений</i>	79
<i>В. М. Амбросовский, Д. В. Казунин. Интегрированная система управления морскими подвижными объектами</i>	83
<i>В. В. Новиков, К. Н. Осипов, Н. И. Варминская. Стохастическое моделирование сложных технических систем по результатам измерений</i>	88
<i>В. А. Колесник, А. В. Махианов. Возможные пути решения проблемы динамической и статистической неопределенностей при решении задач оценки состояния технических систем и прогнозирования его изменения</i>	92
<i>Ю. И. Нечаев. Проблемы и парадоксы нормирования динамических характеристик судна в нестационарной среде на основе современной компьютерной математики</i>	99
<i>М. А. Александров, Е. Н. Ефремов, А. А. Ивлев, Д. С. Свечков. Разработка системы управления погружного бурового комплекса</i>	105
<i>Н. А. Нестеров, С. А. Груничев, Дмитрий Екимов. Система для измерения вертикального профиля скорости звука на ходу</i>	111
<i>В. А. Зинков, В. М. Медунецкий. Повышение точности электромеханического прибора-датчика для измерения угла поворота судового оборудования</i>	112

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА, СУДОВОЖДЕНИЕ

<i>С. В. Решетняк. История развития навигационно-гидрографического обеспечения в акватории Северного морского пути. Часть 2: Комплексная система НГО акватории СМП в конце XX – начале XXI в. (1990 г. – настоящее время)</i>	117
---	-----

НА КНИЖНОЙ ПОЛКЕ

<i>В сфере внимания – ступени развития и новаторские технологии океанотехники</i>	123
---	-----

В АССОЦИАЦИИ СУДОСТРОЕНИЯ

<i>Решения совместных собраний Ассоциации судостроителей Санкт-Петербурга и Ленинградской области и Секции по судостроению Морского Совета при Правительстве Санкт-Петербурга</i>	124
---	-----

В МОРСКОМ СОБРАНИИ

<i>Г. А. Гребеницкова. 48-я ассамблея Санкт-Петербургского Морского Собрания</i>	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.А. Кротов, д-р истор. наук, проф.

П.И. Малеев, д-р техн. наук

Ю.И. Нечаев, д-р техн. наук, проф.

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

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

Л.А. Промыслов, канд. техн. наук

А.В. Пустошный, чл.-корр. РАН

А.А. Родионов, д-р техн. наук, проф.

К.В. Рождественский, 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 № 317

Ответственность за содержание информационных и

рекламных материалов, а также за использование

сведений, не подлежащих публикации в открытой

печати, несут авторы и рекламодатели. Перепечатка

допускается только с разрешения редакции



Editorial Council

Chairman

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

Co-chairman:

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

V.S. Nikitin,

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

G.A. Turichin, Rector SPbSMTU

Council Members:

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 SPMDB 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

E.A. Konov, Director

JSC Publishing House Mor Vest

A.A. Kopanov, General Director

JSC SPF Meridian

G.A. Korzhavin, General Director

JSC Concern Granit-Elektron

A.V. Kuznetsov, General Director JSC Armatit

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

A.G. Rodionov, General Director

JSC Kronstadt Technologies

S.V. Savkov, General Director

JSC NE

I.V. Scherbakov, General Director JSC PDB Petrobalt

V.V. Shatalov, General Director

JSC DB Vympel

K.Yu. Shilov, General Director

JSC Concern SPA Aurora

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

V.A. Tityanov, General Director JSC SRNHI

G.R. Tsaturov, General Director

OJSC Pella

A.L. Ulyanov, General Director

LLC Neva International

N.M. Vikhrov, General Director

JSC Kanonersky Shiprepairing Yard

CONTENTS

SHIP DESIGN AND CONSTRUCTION

- To the 70th anniversary of A. V. Shlyakhtenko*..... 1
- D. E. Tsygankov**. Brief results of the activities of JSC CMDB Almazin 6
- V. I. Spiridopulo – 70 years*..... 9
- E. M. Appolonov, A. B. Vaganov, B. P. Ionov, Yu. P. Kuznetsov, A. G. Larin, Yu. F. Orlov**. Experimental study of diving underwater ship in the ice 10
- I. I. Remizov, I. V. Govorun**. On assessing the feasibility of using a system for controlling the buoyancy of an underwater vehicle based on the principle of changing its volume 14
- G. V. Egorov, A. G. Egorov**. Analysis of the regularities of the write-off of river cruise ships and the forecast of the composition of the river fleet with the definition of the most popular types of vessels for conversion and modernization..... 21

TECHNOLOGY OF SHIPBUILDING, SHIP REPAIR AND ORGANISATION OF SHIPBUILDING

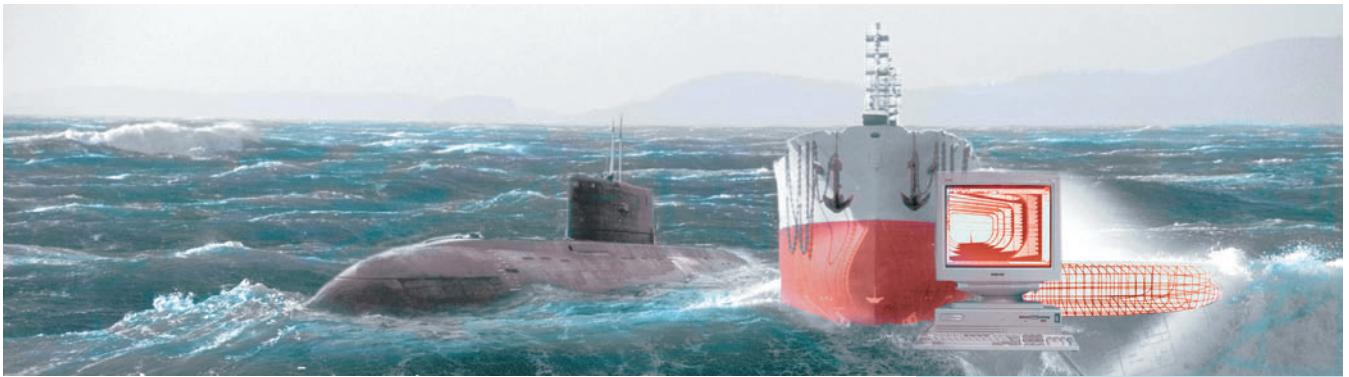
- I. L. Vaisman, A. A. Yurchak**. On the development and diversification of enterprises of the military-industrial complex (problems and solutions)..... 29
- K. O. Budnikov**. Cooperative interaction of enterprises in the construction of ships with current global trends 35
- A. S. Meshkov**. Analysis of the use of wooden decking open areas of decks of surface ships and ships of the Navy 39
- G. A. Sorokin, V. L. Suslov**. Systems for managing risk of fatigue in the workplace for safety in the organization of shipbuilding production 43

SHIP POWER PLANTS AND THEIR ELEMENTS

- V. N. Polozinkin**. The flagship of the naval engineers of the Russian Navy is 95 years old. On the anniversary of Academician A.A. Sarkisov 48
- A. A. Babichev**. Problems of realization of the potential of the heat cycle in promising ship gas turbine engines 51
- A. A. Boriskin**. Parametric optimization of the power drive of a small-sized launcher 57
- P. G. Vasil'ev, D. A. Lebedev, S. S. Ostapenko, O. A. Golubenko**. Providing the required resource of three-eccentric butterfly valves 61
- V. K. Rumb, Hoang Wang Ty**. Determination of the elastic and damping properties of the thrust bearing when calculating the axial oscillations of ship shafting 64
- L. A. Malyshev, V. S. Dvortsov**. Preparation of technical gases in ship conditions 69
- A. S. Sharatov**. Improving the propulsion complex on the parameters of the propeller by the additional jet effect of the water supplied to the blades 72
- JSC NE – an authorized partner of JSC Schneider Electric..... 77

INFORMATION-MEASURING AND MANAGEMENT SYSTEMS

- G. A. Korzhavin, Yu. F. Podoplyokin, O. G. Maltsev**. Use of coordinate signs for improving probability of recognition of type of radioemission source..... 79



V. M. Ambrosovsky, D. V. Kazunin. *Integrated control system of marine motion vehicle*..... 83

V. V. Novikov, K. N. Osipov, N. I. Varminskaya. *Stochastic modeling of complex technical systems based on measurement results*..... 88

V. A. Kolesnik, A. V. Makshanov. *Possible solutions to the problem of dynamic and statistical uncertainties in solving problems of assessing the state of technical systems and predicting its change* 92

Yu. I. Nechaev. *Problems and paradoxes of rationing the dynamic characteristics of a ship in a non-stationary environment based on modern computer mathematics* 99

M. A. Aleksandrov, E. N. Efremov, A. A. Ivlev, D. S. Sverchikov. *Development of a control system for a submersible drilling complex* 105

N. A. Nesterov, S. A. Grunichev, Dmitry Ekimov. *System for measuring the vertical profile of the speed of sound on the go* 111

V. A. Zinkov, V. M. Medunetsky. *Improving the accuracy of the electromechanical instrument-sensor for measuring the angle of rotation of ship equipment* 112

OPERATION OF WATER TRANSPORT, SHIP NAVIGATION

S. V. Reshetnyak. *The history of the development of navigation and hydrographic support in the waters of the Northern Sea Route. Part 2: Integrated NGO system in the NSR water area at the end of the XX – beginning of the XXI century (1990 – present)* 117

ON A BOOKSHELF

In the sphere of attention – the stage of development and innovative technologies of ocean engineering..... 123

IN THE SCIENTIFIC AND TECHNICAL ASSOCIATION OF SHIPBUILDERS

Decisions of joint meetings of the Association of Shipbuilders of Saint-Petersburg and the Leningrad Region and the Shipbuilding Section of the Maritime Council under the Government of Saint-Petersburg..... 124

IN THE ASSOCIATION OF SHIPBUILDERS

The decision of the visiting joint meeting of the Association of Shipbuilders of Saint-Petersburg and the Leningrad Region and Shipbuilding Section of the Maritime Council under the Government of Saint-Petersburg..... 125

IN THE MARITIME ASSEMBLY

G. A. Grebenshchikova. *48th Assembly of the Saint-Petersburg Maritime Assembly*..... 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.A. Krotov, D. Sc., Prof.

P.I. Maleev, D. Sc.

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

Yu.F. Podoplyokin, 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.

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

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

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

N.P. Shamanov, D. Sc., Prof.

Editorial staff

Phone/Fax +7 (812) 6004586

E-mail: morvest@gmail.com

Editor

T.I. Ilyichiova

Design, imposition

S.A. Kirillov, V.L. Kolpakova

Editorial office

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

190000, St. Petersburg

The magazine is registered by RF Ministry of Press,

TV and Radio Broadcasting and Means of Mass

Communications, Registration Certificate

ПИ № 77-12047 of 11 march 2002

Founder-Publisher

JSC Publishing House «Mor Vest»

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

190000, St. Petersburg

The magazine electronic version

is placed on the site LLC «Nauchnaya elektronnyaya biblioteka» www.elibrary.ru and is also included to the

Russian index of scientific citing

By the decision of the Council of VAK the Morskoy Vestnik magazine is entered on the list of the leading

scientific magazines and editions published in the

Russian Federation where basic scientific outcomes of

doctoral dissertations shall be published.

www.perechen.vak2.ed.gov.ru

You can **subscribe to the Morskoy Vestnik** magazine

using the catalogue of «Rospechat» agency (subscription

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

Morvest Publishing House

Printed in the Printing-House «Premium-press»

Circulation 1000. Order № 317

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

боеспособности Военно-Морского Флота России и международного престижа российского судостроения. К ним относятся уникальный ракетный корабль на воздушной подушке скегового типа «Сивуч», высокоскоростной патрульный катер «Мираж», первый боевой корабль ВМФ России, созданный по технологиям XXI в. корвет «Стерегущий».

Указом Президента РФ № 411 от 20 апреля 2006 г. А. В. Шляхтенко награжден орденом «За заслуги перед Отечеством» IV степени, а в 2014 г. – III степени.

В 1998 г. он становится лауреатом Премии Правительства Российской Федерации в области создания новой техники. В 1999 г. Александр Васильевич удостоен Ордена Почета. В 2002 г. он стал лауреатом конкурса «Общественное признание», проведенного в Санкт-Петербурге, в номинациях «Профессиональная репутация» и «Успешность экономического развития».

В 2003 г. за активную деятельность по укреплению экономического могущества страны, вклад в ее обороноспособность Александр Васильевич награжден Почётным знаком «Лидер Российской экономики» и именными часами от Президента Российской Федерации. В этом же году ему присваивают звание «Почетный судостроитель».

В 2009 г. его награждают Почетной грамотой Министерства промышлен-

ности и торговли Российской Федерации и Грамотой Губернатора Санкт-Петербурга.

В 2011 г. А. В. Шляхтенко становится лауреатом Премии Правительства Российской Федерации в области науки и техники за разработку и создание новой техники. В этом же году ему вручается Почетная грамота Министерства промышленности и торговли Российской Федерации.

В 2014 г. А. В. Шляхтенко вручают знак отличия «За заслуги перед Санкт-Петербургом».

В 2016 г. Александр Васильевич получает Благодарность Губернатора Санкт-Петербурга, а в 2017 г. Почетную грамоту Министерства промышленности и торговли Российской Федерации.

Кроме того, А. В. Шляхтенко награжден медалями «300 лет Российскому флоту» и «В память 300-летия Санкт-Петербурга».

Александр Васильевич – доктор технических наук, с 2000 г. – академик Санкт-Петербургской инженерной академии, он – автор более 40 изобретений, ряда научных работ, много сил и внимания уделяет воспитанию студентов и молодых сотрудников, ведет активную деятельность в деле подготовки научных кадров для судостроения.

А. В. Шляхтенко отличают ярко выраженная гражданская позиция, активное участие в общественной жизни

страны и Северо-западного региона, он – член Санкт-Петербургского Морского Собрания, Торгово-промышленной палаты, Научно-технического общества судостроителей им. акад. А. Н. Крылова. Большое внимание Александр Васильевич уделяет благотворительной деятельности, он – участник комплексной программы «Социальное и духовное развитие человека», деятельности благотворительной организации «Пилигрим» и общественной организации инвалидов воинской службы «Русичи». Награжден общественным орденом «Созидатель Петербурга».

Одной из важных сторон деятельности А. В. Шляхтенко является военно-техническое сотрудничество с рядом иностранных государств. В 2002 г. он в составе авторского коллектива предприятия награжден Национальной премией «Золотая идея» в номинации «За вклад в области разработки экспортно-ориентированной продукции».

Коллектив АО «ЦМКБ «Алмаз» поздравляет Александра Васильевича с юбилеем и желает ему крепкого здоровья и больших успехов в работе на благо отечественного судостроения и процветания нашей Родины!

Редакционный совет и редколлегия журнала «Морской вестник» присоединяются к этим поздравлениям и желают Александру Васильевичу благополучия и творческого долголетия. ■

Подводя итоги прошедшего, 2018-го года, перечислим самые значимые события, которые произошли за это время.

В художественных произведениях используется стилистический прием, который называется «рамочная композиция». Суть этого приема заключается в том, что автор завершает свое произведение тем же, с чего начинал. Вот и наше описание минувшего года начинается с упоминания морского тральщика (МТЩ) «Иван Антонов» пр. 12700 (главный конструктор – А. В. Калинин) и завершается им.



Закладная доска морского тральщика «Петр Ильичёв»

25 апреля корабль был спущен на воду, 29 декабря в Балтийске под занавес прошедшего года состоялось подписание приемного акта, 26 января 2019 г. на корабле поднят флаг ВМФ России.

КРАТКИЕ ИТОГИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ АО «ЦМКБ «АЛМАЗ» В 2018 ГОДУ

*Д. Е. Цыганков, вед. инженер АО «ЦМКБ «Алмаз»,
контакт. тел. (812) 369 1211*

Следует отметить, что 25 июля на Средне-Невском судостроительном заводе был заложен уже шестой по счету тральщик данного проекта. Корабль получил название «Пётр Ильичёв» в честь Героя Советского

Союза, краснофлотца-тихоокеанца П. И. Ильичёва.

5 мая был состоялся спуск на воду второго серийного малого ракетного корабля (МРК) «Шквал» пр. 22800 (главный конструктор – Д. Е. Цым-



МТЩ «Иван Антонов»

ляков). Отличительной особенностью данного корабля является то, что он стал первым кораблем ВМФ России, на котором установлен зенитный ракетно-артиллерийский комплекс (ЗРАК) «Панцирь-М». Начиная с него, все последующие МРК пр. 22800 планируется вооружать этим ЗРАК. Третий серийный МРК «Буря» с «Панцирем-М» был спущен на воду 23 октября. На первой паре МРК (шифр «Каракурт») «Ураган» (головной) и «Тайфун» (первый серийный) установлены по две артиллерийские установки (АУ) АК-630М, так как на момент их строительства



МРК «Ураган»



ПСКР «Керчь»

«оморяченная» версия комплекса «Панцирь» еще не была освоена промышленностью, а это было принципиальным требованием командования ВМФ России. Кстати, передача флоту головного МРК проекта «Каракурт» состоялась 17 декабря.

8 июня был спущен на воду пограничный сторожевой корабль (ПСКР) «Керчь» пр. 10410 (главный конструктор – А. Л. Ивченко). Подписание приемного акта и поднятие флага состоялось 26 октября. Проект был доработан в соответствии с самыми актуальными требованиями Береговой охраны ПС ФСБ России – и ПСКР «Керчь» стал первым кораблем, построенным по обновленно-



ОС «Ладoga»



КРВ «Громкий»

му проекту. Это уже сорок первый по счету корабль семейства «Светляков».

1 октября в порту г. Ломоносов прошла торжественная церемония подъема Андреевского флага на опытовом судне «Ладoga» пр. 11982 (главный конструктор – А. А. Форст). Судно вошло в состав Балтийского флота. Это уже второе судно в серии из трех единиц. В случае необходимости по заказу Главного управления глубоководных исследований Министерства обороны РФ серийное строительство судов данного проекта может быть продолжено. Их постройка освоена на судостроительных заводах «Янтарь» (г. Калининград) и «Пелла» (г. Отрадное Ленинградской области).

25 декабря во Владивостоке состоялась торжественная церемония передачи флоту первого серийного корвета (КРВ) «Громкий», построенного Амурским судостроительным заводом по пр. 20380 (главный конструктор – И. Н. Иванов). Корабль вошел в состав Тихоокеанского флота.

Помимо этих значимых событий для нашего бюро, хотелось бы отметить и успехи сотрудников. Указом Президента РФ от 16 мая 2018 г. главным конструктором АО «ЦМКБ» А. А. Форсту и Б. А. Лейкису присвоено почетное звание «Заслуженный конструктор Российской Федерации». ■

11 марта 2019 г. исполняется 70 лет главному советнику генерального директора АО «Северное ПКБ» Владимиру Ильичу Спиридопуло. Он родился в Ленинграде в простой трудовой семье. После окончания средней школы в 1966 г. поступил в Ленинградский кораблестроительный институт на факультет корабельной энергетики.

После его успешного окончания в 1972 г. В. И. Спиридопуло был направлен Министерством судостроительной промышленности в Северное ПКБ, с которым неразрывно связана вся его трудовая жизнь. Он был зачислен в штат 33-го отдела общесудовых систем на должность инженера. С первых же дней работы Владимир Ильич окупился в напряженный процесс проектирования надводных кораблей второго и третьего поколений. Будучи в отделе руководителем группы пожаровзрывобезопасности, Владимир Ильич отвечал за проведение огневых натурных испытаний корабельных систем вооружения на полигоне «Ржевка», подготовку требований к обеспечению пожаровзрывобезопасности кораблей.

Возглавив в 1982 г. в должности ведущего конструктора проектно-расчетную группу по боевой живучести кораблей, он способствовал внедрению в производственную деятельность бюро результатов исследований боевой живучести на различных этапах проектирования, оптимизации и расположения погребов боезапаса и важнейших боевых постов.

В этой должности проявились лучшие качества Владимира Ильича: инициативность, творческий подход к решению проблемных вопросов, трудолюбие и дисциплинированность, скромность и доброжелательность, блестящие организаторские способности. Именно поэтому его в 1985 г. назначают начальником «родного» отдела общекорабельных и специальных систем, где он добился высоких производственных показателей при серийном строительстве кораблей третьего поколения, глубокой модернизации кораблей в процессе строительства серии, в совершенствовании корабельных систем и внедрении новой техники.

Возглавляя один из крупнейших отделов бюро, В. И. Спиридопуло принял непосредственное участие в испытаниях и сдаче многих кораблей третьего поколения – пр. 1144, 1144.2, 1164, 1155 и 956, строившихся на четырех заводах.

С 1993 по 2008 г. В. И. Спиридопуло – главный инженер Северного ПКБ. В этот период он руководит работами бюро в координации с контрагентскими организациями по завершению строительства и сдачи ВМФ РФ кораблей «Петр Великий» пр. 11442 и «Адмирал Чабаненко» пр. 11551, созданием кораблей пр. 956Э, 956ЭМ для ВМС Ки-

В.И. СПИРИДОПУЛО - 70 ЛЕТ

АО «Северное ПКБ»,
контакт. тел. (812) 784 8207



тая, принципиально нового фрегата пр. 11356 для ВМС Индии, пр. СРК-2100 и пр. ПС-500 для ВМС Вьетнама.

Работая в этой должности, он стал инициатором, движущей силой и участником внедрения и освоения в Северном ПКБ современной системы автоматизированного проектирования кораблей, обеспечивающей высокое качество работ при одновременном сокращении их сроков. Благодаря его энергии и целеустремленности, в бюро была выполнена массовая компьютеризация рабочих мест конструкторов.

В 2006–2008 гг. по инициативе и при личном участии В. И. Спиридопуло на основе новейшей системы сложнопостроенных данных «Smart Team» в бюро были разработаны система электронного документооборота и электронная библиотека нормативных актов, а также Центр обработки проектных данных с целью внедрения системы интерактивного управления проектами.

Под руководством Владимира Ильича бюро с 2006 г. активно участвовало в реализации мероприятий Федеральной целевой программы «Развитие гражданской морской техники на 2009–2010 гг.», в разработке концептуальных проектов первых отечественных судов для перевозки сжиженного природного газа, в частности, из арктических регионов. В. И. Спиридопуло руководил комплексными межотраслевыми исследованиями, выполнявшимися в рамках этой программы по установлению грузопотоков, экономическому обоснованию предлагаемых транспортных схем, а также по определению оптимальных характеристик судов-газовозов грузоместностью от 80 до 250 тыс. м³.

Им предложена и обоснована наиболее рациональная для отечественных газозовов главная энергетическая установка, включающая двухтопливные дизельные двигатели низкого давления и одновинтовую электрическую пропульсивную установку с винтом фиксированного шага.

С февраля 2008 г. В. И. Спиридопуло – генеральный директор АО «Северное ПКБ». Под его руководством коллектив бюро завершил испытания головного многоцелевого фрегата пр. 22350, продолжается строительство серии этих основных надводных кораблей для ВМФ РФ. При создании этих кораблей состоялось полномасштабное внедрение технологии «стелс», трехмерное проектирование всех помещений корабля с выводом рабочей документации, соответствующей трехмерной модели, передачи на завод документации в электронном виде.

В 2013 г. завершено строительство второй тройки фрегатов пр. 11356 для ВМС Индии, а в 2017 г. – трех кораблей пр. 11356 для ВМФ РФ («Адмирал Григорович», «Адмирал Эссен» и «Адмирал Макаров»). В 2015 г. В. И. Спиридопуло был удостоен премии Правительства РФ в области науки и техники за пр. 22460 пограничного сторожевого корабля «Охотник». Под его руководством развернуты работы по глубокой модернизации по пр. 11442М атомного ракетного крейсера «Адмирал Нахимов» и по созданию патрульного корабля пр. 22160 – нового типа кораблей для отечественного флота.

Была сформирована глубоко интегрированная система вооружения корабля при отработке программно-математического обеспечения комплексов и систем на имитационно-моделирующем стенде.

В настоящее время В. И. Спиридопуло – главный советник генерального директора АО «Северное ПКБ».

В составе творческого коллектива Северного ПКБ Комитетом РФ по военно-техническому сотрудничеству с иностранными государствами Владимир Ильич награжден Национальной премией первой степени «Золотая идея» за вклад в разработку экспортно-ориентированной продукции военного назначения.

Владимир Ильич Спиридопуло награжден орденом Дружбы народов (1988), Почета (2006), орденом «За морские заслуги» (2012), медалями и др.

За большую общественную работу Владимира Ильича отметили медалью «За укрепление боевого содружества».

Коллектив АО «Северное ПКБ» поздравляет Владимира Ильича с юбилеем и желает ему здоровья и дальнейших творческих успехов.

Редакционный совет и редколлегия журнала «Морской вестник» присоединяются к этим поздравлениям и желают Владимиру Ильичу благополучия и творческого долголетия.■

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время активно разрабатываются проекты подводных судов для обустройства и эксплуатации месторождений углеводородов на шельфе арктических морей. Это связано с желанием уйти от взаимодействия инженерных сооружений и судов с дрейфующими льдами. Тем не менее при всплытии не удается до конца исключить воздействие льда и отрицательных температур наружного воздуха.

Настоящее исследование посвящено изучению условий погружения подводного судна, вмержшего при отрицательных температурах в ледяной покров, определению минимальной толщины льда, при которой погружение становится невозможным. Заметим, что теоретическое решение этой задачи пока не получено из-за сложности физических процессов полного пролома ледяного покрова.

Для проведения эксперимента использована теория моделирования, которая позволила исследовать процесс погружения и всплытия и в дальнейшем осуществить пересчет с модели на натуру. Для решения данной задачи использовался специальный ледовый опытовый бассейн кафедры «Кораблестроение и авиационная техника» НГТУ им. Р.Е. Алексеева, и измерительный комплекс, которые позволили произвести вертикальное нагружение модели и записать основных параметров.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

Модельные испытания проводились в специальном ледовом опытовом бассейне, расположенном на открытом воздухе. Фотография и схема ледового бассейна представлены на рис. 1 и рис. 2.

Схематизированные модели подводных судов были выполнены из стальных труб диаметром 168 мм и разных длин: $l_1 = 500$ мм; $l_2 = 750$ мм; $l_3 = 1000$ мм; $l_4 = 1500$ мм. Сверху на трубах устанавливались площадки для крепления моделей к динамометру и ручки для переноса модели. Модели закреплялись к штоку пресса и вмораживались в лед при разной осадке, что соответствовало форме борта, близкой к вертикальной и наклонной, и запасу плавучести для этих случаев 20, 35, 50%.

Положительная плавучесть моделей роли не играла, поскольку погружение и всплытие осуществлялось установленным на стенде прессом через динамометр системы Токаря. Шток пресса мог перемещаться с переменной скоростью, но в опытах использовалась минимальная скорость перемещения, равная 10 мм/мин.

Стенд ледовых испытаний представляет собой стальной бак диаметром

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПОГРУЖЕНИЯ ПОДВОДНОГО СУДНА ВО ЛЬДУ

*Е.М. Апполонов, д-р техн. наук, проф., ген. директор АО ЦКБ «Лазурит»,
А.Б. Ваганов, д-р техн. наук, доцент, проф., НГТУ им. Р.Е. Алексеева,
Б.П. Ионов, д-р техн. наук, зам. гл. инженера АО «ЦКБ «ОСК-Айсберг»,
Ю.П. Кузнецов, д-р техн. наук, проф.,
А.Г. Ларин, канд. техн. наук, доцент,
Ю.Ф. Орлов, д-р техн. наук, проф., НГТУ им. Р.Е. Алексеева,
контакт. тел. +7 (911) 091 1652, +7 (910) 107 0146*



Рис. 1. Круглый ледовый опытовый бассейн НГТУ им. Р.Е. Алексеева

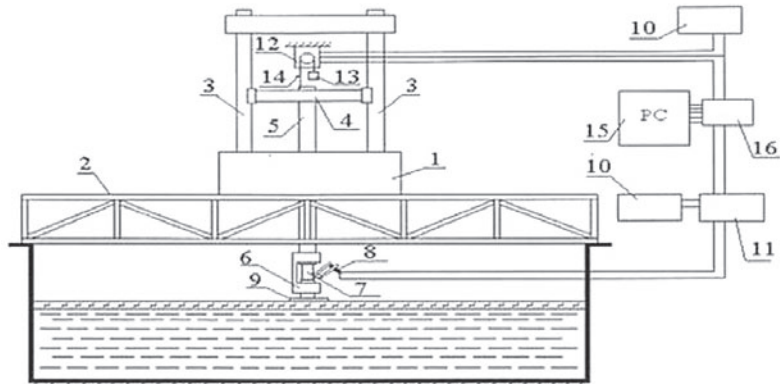


Рис. 2. Экспериментальная установка для проведения испытаний
1 – станина; 2 – опорная ферма; 3 – колонны; 4 – подвижная траверса; 5 – винт; 6 – силоизмеритель; 7 – динамометр типа ДОС-1 системы Н.Г. Токаря; 8 – датчик перемещения ДП-2СМ; 9 – сменный штамп; 10 – блок питания; 11 – виброизмерительная аппаратура; 12 – датчик прогиба – потенциометр ПТП-11С; 13 – грузик; 14 – нить; 15 – персональный компьютер; 16 – аналого-цифровой преобразователь

4,5 м и высотой 1,0 м. На баке вдоль оси главного диаметра расположена приваренная мощная балка ферменной конструкции, на которой установлен пресс (универсальная испытательная машина УММ-5 с предельной нагрузкой 50 кН).

Машина имеет 5 скоростей нагружения: 2, 4, 10, 20, 50 мм/мин. Машина жестко закреплена на ферме. Для приво-

да пресса используется двухскоростной реверсивный асинхронный электродвигатель А032 мощностью 0,75 кВт при 1420 об/мин и 1,00 кВт при 2850 об/мин. Управление прессом осуществлялось непосредственно с пульта на машине или выносного пульта.

При испытаниях измерялись:

- температура воздуха;
- осадка модели;

- толщины льда после испытания в 5–7 различных точках поля льда;
- вертикальная сила в зависимости от вертикального перемещения модели. Велась непрерывная запись величины силы от вертикального перемещения (диаграмма разрушения ледяного покрова);
- изгибная прочность ледяных балок «клавиш», выпиливаемых в ледяном поле и остающихся на плаву;

При испытаниях фиксировалось время испытаний, состояние погоды, проводились фото- и видеосъемка.

После пролома ледяного покрова и определения средней толщины обломков ледовый бассейн очищался ото льда, вода доливалась до необходимого уровня и снова происходило намораживание ледяного покрова.

Для регистрации сигналов датчиков перемещения, силы и прогибов разработан программно-аппаратный комплекс. Он включает в себя модуль калибровки датчиков силы и прогиба, модуль автоматической записи показаний датчиков, позволяющий регистрировать показания без участия экспериментатора, и модуль обработки результатов опыта, который выполняет пересчет безразмерных показаний алфавитно-цифрового преобразователя (АЦП) к размерным величинам, вычисление максимума нагрузки, интегральных характеристик диаграмм разрушения (работы на разрушение льда), вычерчивает диаграмму разрушения и экспортирует результаты обработки в текстовые файлы. Пример диаграммы разрушения показан на рис. 3.

Испытания проводились в пресном льду естественного состава при отрицательных температурах воздуха. Ледовый бассейн заполнялся пресной водой, под пресс устанавливалась модель подводного судна, закреплялась к штоку пресса и оставалась в воде (для заданной осадки) при намораживании льда требуемой толщины.

После образования ледяного покрова перед началом эксперимента во льду сверлилось отверстие для предварительной оценки толщины намороженного льда. Окончательно толщина обломков льда определялась холодным штангенциркулем в пяти–семи местах разных обломков после каждого проведенного опыта. После окончания опыта лед из бассейна удалялся, бассейн доливался водой, при необходимости модель вновь устанавливалась на заданную осадку, закреплялась к штоку, и процесс повторялся после замораживания нового льда.

Испытания проводились для толщин модели льда примерно 10, 20, 30, 40 мм.

Методика пересчета испытаний моделей объекта с систематически изменяемыми характеристиками базируется на

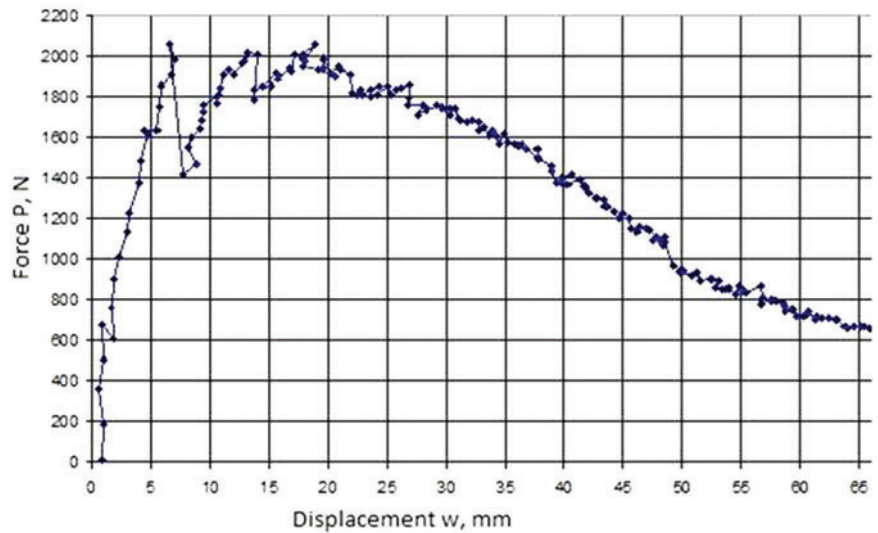


Рис. 3. Диаграмма разрушения льда

теории моделирования деформирования и разрушения ледяного покрова с помощью пресноводной модели льда

Планирование эксперимента в полном объеме затруднено. Это связано с неизбежной случайностью толщины ледяного поля в момент проведения испытания. Грубый прогноз толщины намораживаемого льда базируется на времени и температуре воздуха. Но случайные метеорологические факторы (влажность, давление, динамика температуры, ветер) вносят свой вклад в фактическую толщину модели ледяного покрова, которая определяется сразу после разрушения ледяной пластины. Они же вместе с аппаратными случайными погрешностями приводят к некоторому разбросу измеряемых величин и наблюдаемых картин разрушения ледяных пластин. Фактически опыты не обладают высокой степенью повторяемости.

Соотношения геометрических параметров моделей имеют необходимый диапазон изменчивости, но конкретные соотношения параметров проектируемого объекта могут не совпадать с дискретным рядом моделей.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОВЕДЕНИЯ МОДЕЛЬНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА И ПЕРЕСЧЕТА РЕЗУЛЬТАТОВ НА НАТУРНОЕ СУДНО

Одним из очевидных путей экспериментальной оценки напряженно-деформированного состояния (НДС) ледяного покрова является определение карты прогибов $w(x, y)$, по которой можно полностью определить вертикальную нагрузку $P = \rho_b g \iint_S w dx dy$, а далее по известным из теории изгиба пластин зависимостям – углы поворота, изгибающие и крутящие моменты, перерезывающие силы и соответствующие компоненты напряжений. Причем оп-

ределению поддается не только ненарушенная (сплошная) ледяная пластина, но и пластина магистральная с трещиной, для чего необходимо определить коэффициент податливости повороту в трещине как отношение угла ее раскрытия к моменту в вертикальной плоскости нормальной трещины:

$$a = \frac{\left(\frac{\partial w}{\partial n}\right)_- - \left(\frac{\partial w}{\partial n}\right)_+}{M_n} \quad (1)$$

Однако экспериментальное определение функции $w(x, y)$ встречает значительные технические трудности, связанные с необходимостью измерения прогибов в огромном числе точек на поверхности льда, сложностью устройств баз отсчета и т. д. Непосредственное изменение полей углов поворота, моментов, перерезывающих сил и напряжений, сложнее еще на порядок.

В связи с этим в число измеряемых были включены наиболее важные величины, характеризующие одновременно и состояние взаимодействующей со льдом конструкции. К ним относятся вертикальное перемещение штампа, деформирующего ледяной покров, и контактное усилие их взаимодействия.

Непрерывная запись во времени этих величин позволяет получить диаграмму деформирования ледяного покрова $P = f(w)$, т. е. зависимость между прогибом в месте приложения нагрузки и вертикальным усилием. Причем наиболее полную информацию дает диаграмма, полученная при кинематическом нагружении. В этом случае на всем протяжении деформирования (вплоть до полного пролома) сила, приложенная к ледяному полю, равна реакции пластины на инициированный прогиб. По такой диаграмме можно определить и рассчитать предельные прогиб и нагрузку, энергию разрушения, интегральные упругие характеристики, энергию образования трещин и т. д.

Если выполняется силовое нагружение (например, наливом воды в баки, стоящие на ледяном покрове, или отсыпкой грунта), как это делалось в большинстве опытов, можно зарегистрировать лишь восходящую ветвь диаграммы, а информация о ее нисходящей ветви теряется. Это иллюстрирует рис. 3.

Для решения поставленных вопросов была разработана оригинальная высокопроизводительная методика проведения опытов. Экспериментальная установка описана выше.

Анализ диаграмм показал, что все они достаточно однотипны и имеют общие участки, состоящие из восходящей и нисходящей (закритической) ветвей. В количественном отношении эти диаграммы можно характеризовать максимальным усилием P_p и прогибом при этом усилии w_p , а также прогибом, при котором исчерпана несущая способность ледяного покрова w_R . Кроме того, к числу параметров, характеризующих разрушение, отнесем работу, затраченную на деформацию льда A_p , и полную работу разрушения A_R :

$$A_p = \int_0^{w_p} Pdw, \quad A_R = \int_0^{w_R} Pdw. \quad (2)$$

Структурную формулу для прогиба бесконечной пластины w_p , учитывая близкую к линейной зависимость $P_p(w)$ для восходящей ветви диаграммы, можно получить, используя решение для упругой области:

$$w_p = \frac{P}{8D\alpha^2} = k_w \frac{P}{D\alpha^2}. \quad (3)$$

Очевидно, коэффициент $k_w > 1/8$ вследствие растрескивания ледяной пластины в процессе нагружения.

По данным опытов, при доверительной вероятности 0,95 получена оценка $k_w = 0,28 \pm 0,04$.

Для ориентировочных расчетов, когда известна лишь толщина льда, можно использовать упрощенную зависимость

$$w_p = k_w \sqrt{h}, \quad (4)$$

где $k_w = (0,42 \pm 0,05) \text{ м}^2$.

Классическая теория моделирования, разработанная Ю. А. Шиманским и Л. М. Ногидом, предъявляет к модели ледяного покрова следующие требования:

$$\frac{h_n}{h_m} = \frac{\sigma_n}{\sigma_m} = \frac{E_n}{E_m} = \lambda; \quad \rho_n = \rho_m; \quad \mu_n = \mu_m, \quad (5)$$

где λ – модуль геометрического подобия объекта взаимодействующего со льдом; h – толщина ледяного покрова; σ – предел прочности льда на изгиб; E – изгибный модуль упругости льда; ρ – плотность льда; μ – коэффициент Пуассона льда.

Индексами n и m обозначены натура и модель соответственно.

Кроме того, материал модели льда должен иметь сходственную с натурой реологическую модель деформирования.

Нетрудно заметить, что требования к материалу модели ледяного покрова многогранны, а прочность и упругость должны управляться в зависимости от масштаба модели. Модель ледяного покрова, полностью удовлетворяющая условиям моделирования, пока не найдена. Актуальным остается вопрос частичного подобия и связанного с ним метода пересчета результатов на натуре.

Рассмотрим методы пересчета ледового сопротивления, полученного в результате испытаний в модели ледяного покрова, частично удовлетворяющего условиям моделирования.

Необходимым условием моделирования разрушения является геометрическое подобие картин разрушения льда в плане, при выполнении которого число и расположение точек контакта льда с корпусом при движении модели будет соответствовать натуре.

Подобие картин разрушения определяется подобием НДС ледяных пластин, для определения которого воспользуемся дифференциальным уравнением изгиба пластин, на упругом основании, приведенном к безразмерному виду

$$\frac{D}{\rho g L^4} \nabla^4 \bar{w} + \bar{w} = 0, \quad (6)$$

где $\bar{w} = w/L$ – безразмерный прогиб; L – характерный линейный размер в плане; D – цилиндрическая жесткость ледяной пластины.

НДС ледяного покрова для натуре и модели будет подобным, если

$$\frac{D}{\rho g L^4} = \text{idem}. \quad (7)$$

Так как $\rho_n = \rho_m$ и $g = \text{const}$, выражение (7) можно преобразовать к виду

$$\frac{D_n}{D_m} = \frac{L_n^4}{L_m^4} = \lambda^4. \quad (8)$$

Таким образом, при соблюдении условия (8) будет обеспечено подобие картин разрушения льда в плане.

Следует отметить, что для определения масштаба λ_{R_p} нет необходимости знать значения A_{z_i} для каждого вида конфигурации пластин в точке контакта. Требуется лишь знать отношение (масштаб) энергий ломки ледяного покрова натуре и модели λ_{A_z} , который, очевидно, при подобной геометрии ломки зависит только от свойств льда. Поэтому при экспериментальном определении λ_{A_z} можно использовать испытания ледяных пластин различной конфигурации, например, бесконечных или полубесконечных.

Нетрудно заметить, что условия (7) и (8) предъявляют к модели ледяного покрова более легкие требования, чем классическая теория моделирования, а следовательно, упрощается выбор материала для модели льда.

Отметим, что формула (7) не противоречит строгой теории моделирования. Так, при $\lambda_{A_z} = \lambda^3$, $\lambda_{R_p} = \lambda^3$.

Однако использование формул (7) и (8) позволяет расширить поиски модели льда.

Современные ледовые бассейны представляют собой сложные и дорогостоящие сооружения. Размеры моделей испытываемых в них ограничены. Поэтому представляет интерес поиск методов моделирования ледового сопротивления в открытых бассейнах с естественным охлаждением и природных водоемах.

Сразу следует заметить, что естественный лед обладает повышенной прочностью, чем требует строгая теория моделирования, поэтому широкое распространение получило мнение о невозможности его использования в качестве модели ледяного покрова.

Идея использования натурального льда состоит в попытке компенсации повышенной прочности меньшей толщиной.

Для определения масштаба пересчета толщины льда воспользуемся условием (3), тогда

$$\frac{E_n h_n^3 (1 - \mu_m^2)}{E_m h_m^3 (1 - \mu_n^2)} = \lambda^4. \quad (9)$$

Учитывая, что в естественном льду равенство $\mu_n = \mu_m$ выполняется автоматически, получим выражение для масштаба пересчета толщины льда

$$\lambda_h = \frac{h_n}{h_m} = \lambda^{4/3} \lambda_E^{-1/3}; \quad \lambda_E = \frac{E_n}{E_m}. \quad (10)$$

Таким образом, если толщина модели льда

$$h_m = h_n \lambda^{-4/3} \lambda_E^{1/3}, \quad (11)$$

то картина разрушения льда в плане будет подобна, а следовательно, одинаковыми будут число и расположение точек контакта объекта со льдом.

Зависимость энергии ломки пресноводного ледяного покрова от толщины и механических характеристик приведена ранее. Выражение для масштаба энергии ломки ледяного покрова имеет вид

$$\lambda_{A_z} = \frac{h_n^4 D_n \alpha_n^2}{h_m^4 D_m \alpha_m^2} = \lambda_h^4 \lambda^{-2}. \quad (12)$$

Проведенные в бассейне измерения модуля деформации E тонкого пресноводного льда и сопоставления с натурными данными, указывают на его зависимость от толщины льда. Эту зависимость в широком диапазоне можно аппроксимировать формулой

$$E = a/\sqrt[3]{h}, \quad (13)$$

где a – коэффициент пропорциональности.

Поэтому будем полагать, что масштаб при испытании в естественном льду

$$\lambda_E = \lambda_n^{-1/3}. \quad (14)$$

Модуль пересчета сил сопротивления разрушению льда получим, подставляя в формулу (9) выражения для λ_A , λ_n и λ_E по формулам (11), (8) и (14):

$$\lambda_{R_p} = \lambda^3. \quad (15)$$

Следовательно, составляющая сопротивления R_p , связанная с разрушением льда, пересчитывается на натуру по кубу линейного масштаба модели λ^3 и естественным образом совпадает с модулем пересчета сил моделирующихся по критерию Фруда.

С использованием формул (3), (15), (6) и (13) можно показать, что, несмотря на несовпадение масштаба толщины λ_n с геометрическим модулем подобия λ , масштаб прогибов льда $\lambda_w = \lambda$.

Справедливость изложенного метода моделирования проверялась на моделях речных ледоколов пр. Р-47, выполненных в масштабах 1:27, 1:18, 1:13,5, и пр. 1105 в масштабе 1:50, морского ледокола R класса в масштабе 1:40 и некоторых других.

Испытания показали удовлетворительную сходимость с натурными данными.

Пересчет сопротивления для широкого диапазона масштабов моделей судов $\lambda = 13,5 \div 50$, а также для масштабной серии ледокола пр. Р-47 не выявили сколько-нибудь заметного масштабного эффекта.

Отметим, что описанный метод моделирования не противопоставляется более строгому методу, основанному на подборе материала модели льда. Однако он позволяет расширить объемы модельных исследований, используя для них открытые бассейны и естественные водоемы, а также проводить испытания крупномасштабных и полунатурных моделей.

При вычислениях было принято:

$$\alpha = \sqrt[3]{\frac{12\rho g(1-\mu^2)}{Eh^3}} \quad \text{– параметр}$$

упругого основания при изгибе ледяной пластины; $E = 10^6$ МПа – модуль упругости льда; $\mu = 0,36$ – коэффициент Пуассона для льда; ρ – плотность воды, т/м³; g – ускорение свободного падения, м/с².

Полученные данные при определении влияния L/B и площади объекта

использовались для определения проломной нагрузки подводного судна.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

При кинематическом погружении и вертикальном перемещении всех моделей вначале возникают радиальные трещины, а затем при дальнейшем перемещении – кольцевые последовательно от периферии к центру. И после этого наступает полный пролом ледяного поля, когда обломки практически не взаимодействуют между собой.

Для аппроксимации проломного усилия предложена формула

$$P = k \cdot f(L/b, \alpha \cdot \sqrt{S}) \cdot \beta \cdot h^2, \quad (16)$$

где k – коэффициент удельной энергии разрушения льда при погружении вмерзшего подводного судна, кПа;

$$f(L/b, \alpha \cdot \sqrt{S}) = (1 + 0,02 \cdot \frac{L/b}{\alpha \cdot \sqrt{S}}) \quad \text{–}$$

коэффициент, учитывающий влияние отношения длины нагрузки к ширине нагрузки; $\beta = (1 + 1,3 \cdot \alpha \cdot \sqrt{S})$ – коэффициент, учитывающий влияние площади нагрузки.

Поэтому экспериментальные данные сначала подвергаются предварительной обработке. Строятся диаграммы в координатах сила – прогиб. Численные характеристики диаграмм аппроксимированы полуэмпирическими зависимостями, учитывающими существенные факторы процесса деформирования и разрушения льда. Например, проломное усилие описывается уравнениями вида (16). Затем рассчитываются кривые для моделей с параметрами вариантов натур. Затем в заданном диапазоне проектируемого объекта, заданных его характеристиках выполняется пересчет данных на натуру.

Пересчет толщины ледяного покрова и проломного усилия выполняется по формулам (11) и (15). Физико-механические характеристики льда при пересчете берутся для модели и натур соответственно. Для учета влияния ледовых условий на облик и конструктивные особенности подводного судна воспользуемся формулой расчета проломного усилия полученной на основе анализа ледовых испытаний (16).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Погружение в ледовых условиях может быть затруднено из-за смерзания корпуса с плавающим ледяным покровом. При наличии вертикального борта усилие, приводящее к сдвигу корпуса относительно льда Z по поверхности контакта, прямо пропорционально касательному напряже-

нию адгезии морского льда с корпусом, периметру судна и толщине льда:

Эти усилия кратно превышают усилия ломки ледяного покрова изгибом. Адгезия стали корпуса со льдом настолько велика, что в любом случае удерживающие от погружения энерго-модуля усилия определяются проломной нагрузкой ледяного покрова.

Уравнение (16) показывает, что к снижению проломной нагрузки или к увеличению толщины проламываемого ледяного покрова при погружении приводит уменьшение площади ватерлинии надводного положения, а также уменьшение отношения длины к ширине L/B . Эта формула описывает экспериментальные данные. Для пересчета на натуру необходимо определить масштаб пересчета по длине натур и модели и воспользоваться формулами (11) и (15).

Получены нижние пределы толщин проламываемого льда. Это связано с тем, что методы пересчета не в полной мере адекватно отражают современное состояние вопроса. Эксплуатационная документация на подводное судно должна содержать инструкцию по эксплуатации в ледовых условиях. Необходимо контролировать соленость воды, температуру воздуха и толщину ледяного покрова.

Для конкретного проекта подводного судна должны быть разработаны таблицы и графики, позволяющие принимать эксплуатационные решения о необходимости погружения при вмерзании в лед.

ЛИТЕРАТУРА

1. Богородский В. В., Гаврило В. П. Лед. –Л.: Гидрометеиздат, 1980. –383 с.
2. Богородский В. В., Гаврило В. П., Недошишин О. А. Разрушение льда. – Л.: Гидрометеиздат, 1983. –232 с.
3. Богородский В. В., Гусев А. В., Хохлов Г. П. Физика пресноводного льда. –Л.: Гидрометеиздат, 1971.
4. Бутягин И. П. Прочность льда и ледяного покрова. –Новосибирск: Наука, СО, 1966. –154 с.
5. Дорони Ю. П., Хейсин Д. Е. Морской лед. –Л.: Гидрометеиздат, 1975. –320 с.
6. Зуев В. А. Средства продления навигации на внутренних водных путях. –Л.: Судостроение, 1986. –207 с.
7. Ионов Б. П., Грамузов Е. М. Ледовая ходкость судов. – СПб.: Судостроение, 2001. –512 с.
8. Романов А. А. Ледяной покров Арктического бассейна. – СПб.: Изд. ААНИИ, 1992. –211 с.
9. Физика и механика льда/Пер. с англ. под ред. П. Трюде. –М.: Мир, 1987. –352 с.
10. Алексеев Ю. Н. и др. Ледотехнические аспекты освоения морских месторождений нефти и газа. – СПб.: Гидрометеиздат, 2001. ■

При погружении на большие глубины из-за изменения обжатия корпуса, солености, плотности и температуры воды плавучесть подводного аппарата (ПА) меняется. Изменение плавучести приводит к необходимости использования различных технических средств для удержания аппарата в заданном коридоре движения. Для поддержания заданной глубины ПА на ходу обычно используются подруливающие устройства (ПУ), рули или маршевые движители. В том случае, когда необходимо поддерживать заданную глубину на малых скоростях хода или без хода, возможно использование только вертикальных подруливающих устройств (ВПУ), которые, несмотря на свою простоту и эффективность, имеют ряд недостатков:

- постоянный расход энергии аккумуляторных батарей, который особенно негативно сказывается при длительных миссиях;
- шум работы ВПУ;
- поднятие облака песка или ила при движении вблизи дна, которое отрицательно сказывается на видимости, что недопустимо при обзорных миссиях.

На больших скоростях хода наблюдается снижение тяги вплоть до полного отсутствия, которое отрицательно сказывается на управляемости.

Цель данной работы – исследование целесообразности использования уравнительной системы для устранения вышеуказанных проблем.

ЗАВИСИМОСТЬ ОСТАТОЧНОЙ ПЛАВУЧЕСТИ ПА ОТ ГЛУБИНЫ

Плавающий ПА находится под действием сил гидростатического давления на смоченную поверхность. Согласно закону Архимеда силы избыточного давления приведутся к равнодействующей [1]

$$F_A = \rho_{ж} g V_{ПА} \tag{1}$$

где $\rho_{ж}$ – плотность жидкости, кг/м³; g – ускорение свободного падения, м/с²; $V_{ПА}$ – объем подводного аппарата, м³.

Также на ПА действует сила тяжести. Уравнение равновесия погруженного ПА [2]

$$\rho_{ж} g V_{ПА} = m_{ПА} g \tag{2}$$

где $m_{ПА}$ – масса подводного аппарата, кг.

Когда равновесие между силой Архимеда и силой тяжести, действующей на ПА, нарушается, возникает некоторая остаточная плавучесть, которая выражается формулой

$$\Delta Q = \rho_{ж} g V_{ПА} - m_{ПА} g \tag{3}$$

Изменение остаточной плавучести при уходе на глубину объясняется в основном двумя факторами:

- с глубиной погружения увеличивается давление и уменьшается температура, что приводит к уменьшению объема погруженного аппарата и плавучести;
- плотность океанических вод увеличивается от поверхности ко дну, что приводит к увеличению плавучести.

Принято, что изменение объема корпуса ПА происходит по линейному закону, а изменение плотности – по закону, близкому к гиперболе. При этом в начале погружения примерно до глубины 1000 – 1500 м плотность повышается быстро, а затем медленно, едва заметно [3]. Кривая изменения плотности воды по меридиональному сечению Атлантического океана на 25° с.ш., на глубине от 0 до 5000 м представлена на рис. 1 [4].

Для оценки влияния изменения плотности и обжатия на изменение остаточной плавучести с учетом предположения

ОБ ОЦЕНКЕ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ПЛАВУЧЕСТИ ПОДВОДНОГО АППАРАТА НА ОСНОВЕ ПРИНЦИПА ИЗМЕНЕНИЯ ЕГО ОБЪЕМА

И.И. Ремизов, конструктор 3-й категории,
И.В. Говорун, конструктор 3-й категории, АО «ЦКБ МТ «Рубин»,
 контакт. тел. (812) 407 5132

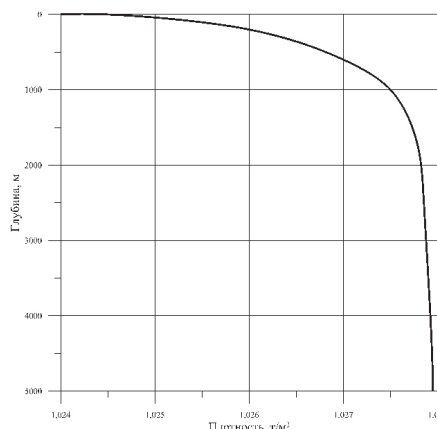


Рис. 1. Зависимость изменения плотности воды от глубины Атлантического океана на 25° с.ш.

об удифферентованности ПА вблизи поверхности моря сделаем следующие преобразования:

$$F_A = \rho_{тек} V_{ПАтек} g = \rho_{тек} (V_{ПАнач} + \Delta V_{ПА}) g = \rho_{тек} V_{ПАнач} g + \rho_{тек} (V_{ПАтек} - V_{ПАнач}) g \tag{4}$$

$$F_T = m_{ПА} g = \rho_{нач} V_{ПАнач} g \tag{5}$$

$$\Delta Q = F_A - F_T = \rho_{тек} V_{ПАнач} g + \rho_{тек} (V_{ПАтек} - V_{ПАнач}) g - \rho_{нач} V_{ПАнач} g = (\rho_{тек} - \rho_{нач}) V_{ПАнач} g + \rho_{тек} (V_{ПАтек} - V_{ПАнач}) g \tag{6}$$

где $\rho_{тек}$ – плотность воды на текущей глубине погружения, кг/м³; $\rho_{нач}$ – плотность воды вблизи поверхности, кг/м³; $V_{ПАтек}$ – водоизмещение ПА на текущей глубине погружения, м³; $V_{ПАнач}$ – водоизмещение ПА вблизи поверхности, м³; F_T – сила тяжести ПА, Н.

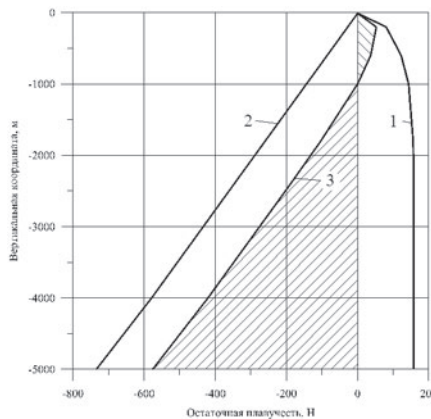


Рис. 2. Зависимость остаточной плавучести ПА от глубины погружения

1 – зависимость увеличения силы Архимеда от увеличения плотности воды, 2 – зависимость уменьшения силы Архимеда от увеличения обжатия, 3 – изменение остаточной плавучести ПА которое является результатом сложения кривых 1 и 2; \square – положительная плавучесть, \square – отрицательная плавучесть, Н

На рис. 2 представлен график изменения остаточной плавучести схематизированного автономного необитаемого ПА (АНПА), полученный при моделировании в программном комплексе «SB-DYNA» маневра перехода по глубине от 0 до 5000 м [5].

Первое слагаемое выражения (6) соответствует кривой 1 на рис. 2, а второе слагаемое (6) – кривой 2. Видно, что на первом участке погружения, где плотность увеличивается быстро, остаточная плавучесть ПА положительная, затем следует короткий участок нулевой плавучести, после которого нарастает отрицательная остаточная плавучесть. Таким образом, у ПА, маневрирующего по глубине почти всегда будет значительная положительная или отрицательная остаточная плавучесть.

Габариты и внешний облик схематизированного АНПА, рассматриваемого в данной работе, представлены на рис. 3. Размеры указаны в миллиметрах.

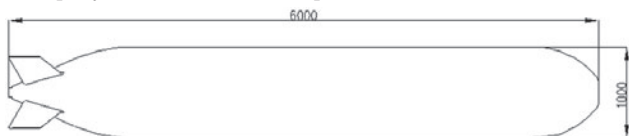


Рис. 3. Схема рассматриваемого АНПА

Также важная составляющая переменной плавучести ПА – используемый при изготовлении материал. В современных аппаратах для изготовления блоков плавучести используется композиционный материал сферопластик, наполнителем которого являются полые микросферы [6]. Плотность сферопластика может различаться от партии к партии на 0,03...0,04 т/м³. Такой разброс обусловлен в основном различным процентом пористости получаемого материала. Это сказывается на плавучести ПА и может привести к тому, что серийные модели одного и того же аппарата будут иметь разную плавучесть, отличающуюся от рассчитанной на этапе проектирования.

СИСТЕМА РЕГУЛИРОВАНИЯ ПЛАВУЧЕСТИ

Компенсировать изменение остаточной плавучести можно либо с помощью двигателей и ПУ, либо с помощью системы регулирования плавучести (СРП) [7]. Преимущество данной системы заключается:

- в пониженном энергопотреблении на нужды удержания заданной глубины (ПУ должны работать постоянно, уравнивательная система перекачивает рабочую жидкость кратковременно);
- в отсутствии выходящих направленных водных потоков (вблизи дна ВПУ поднимают взвесь песка или ила, что затрудняет или делает невозможным работу видеосъемки ПА);
- в сохранении нулевой остаточной плавучести в заданных диапазонах глубин плавания.

По состоянию на 2019 г. можно сказать, что СРП находят свое применение в некоторых АНПА тяжелого и среднего класса, однако массового распространения не получила [8]. Один из представителей – АНПА тяжелого класса «Urashima» (2000 г., Япония), представленный на рис. 4 [9].

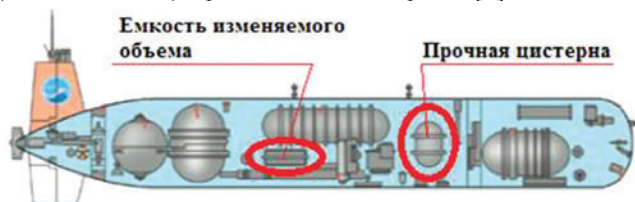


Рис. 4. АНПА тяжелого класса «Urashima»

На данном подводном аппарате для изменения его объема используется система (обведена овалами), в состав которой

входят прочная непроницаемая уравнивательная цистерна, масляный баллон изменяемого объема в проницаемом легком корпусе и насосная установка с соответствующей арматурой. Когда требуется уменьшить водоизмещение аппарата, масло из масляного баллона перекачивается в уравнивательную цистерну. Обратная перекачка масла позволяет увеличить водоизмещение аппарата. До глубины 1200 м перекачка масла из цистерны в баллон осуществляется с помощью гидравлического насоса, а на больших глубинах повышение давления в системе обеспечивается с помощью усилителя. Перекачка масла из баллона в цистерну до глубины 150 м осуществляется с помощью насоса, а на больших глубинах – самотеком под действием забортного давления [10]. Элементы системы управления плавучестью АНПА «Urashima» представлены на рис. 5.

Стоит отметить, что в АНПА, показанном на рис. 4, центры тяжести прочной цистерны и емкости изменяемого объема разнесены по длине. При таком расположении полностью отказать от использования ВПУ при прямой линии движения нельзя, так как при использовании СРП будет возникать момент M_z , который необходимо компенсировать. В данной работе рассматривается система, в которой центр тяжести прочной цистерны и центр тяжести емкости изменяемого объема располагаются на одной вертикальной оси. При данном типе компоновки можно максимально «разгрузить» оба ВПУ.



Рис. 5. Элементы системы управления плавучестью АНПА «Urashima»

СРП, используемая на подводных лодках, регулирует массу, принимая воду в цистерны вспомогательного балласта или откачивая ее. Исследуемая в данной работе система работает по другому принципу, регулируя водоизмещающий объем ПА при неизменной массе [11]. Схема работы системы регулирования плавучести представлена на рис. 6.

Схема, поясняющая принцип перемещения ПА с системой регулирования плавучести, представлена на рис. 7.

Изменяя объем ПА, СРП позволяет компенсировать изменение плавучести, возможные изменения нагрузки ПА при замене полезной нагрузки или комплекта батарей, а также обеспечивает возможность стабилизации глубины погружения аппарата в режиме без хода (hover mode).

Уравнивательная система выполняет еще одну функцию – она обеспечивает аварийное всплытие АНПА, которое в большинстве существующих подводных аппаратов реализуется путем сброса твердого балласта.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕОБХОДИМОГО ОБЪЕМА ЕМКОСТИ УРАВИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

Для исследования описанной системы на рассматриваемом АНПА примем в качестве задания на проектирование

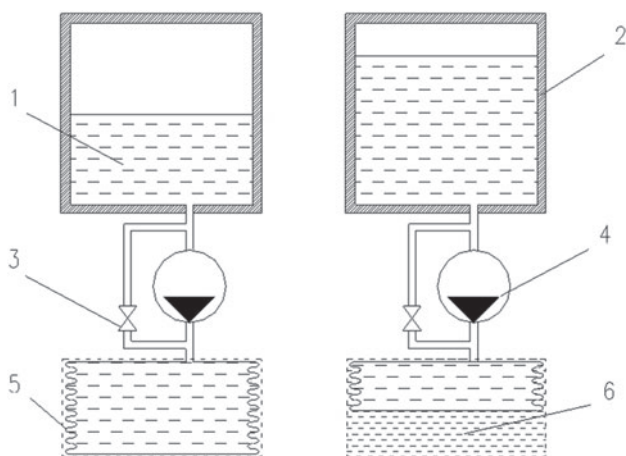


Рис. 6. Схема работы системы регулирования плавучести

1 – рабочая жидкость; 2 – прочная цистерна; 3 – запорный клапан; 4 – гидравлический насос; 5 – мягкая емкость; 6 – забортная вода

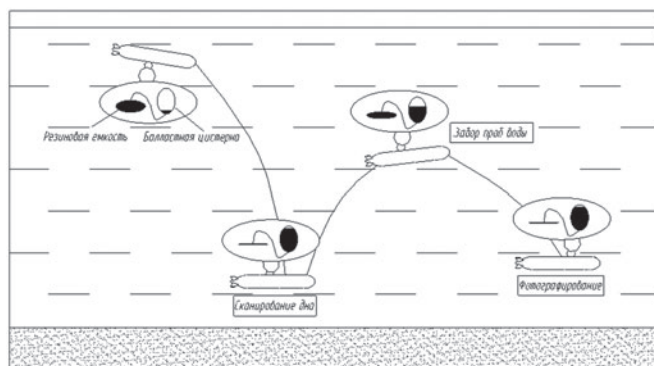


Рис. 7. Схема перемещения ПА с системой регулирования плавучести

условие полного замещения с помощью СРП тяги ВПУ, направленной на компенсацию остаточной плавучести на глубине 3000 м.

На первом этапе проектирования уравнительной системы необходимо определить дополнительный водоизмещающий объем, который она должна создать для компенсации изменения плавучести. Суммарная тяга ВПУ, необходимая для компенсации остаточной плавучести, определяется по формуле

$$\sum F_{\text{ВПУ}} = -\Delta Q. \quad (7)$$

В свою очередь, остаточная плавучесть ПА вместе с емкостью изменяемого объема после преобразований уравнения (3) определяется по формуле

$$\begin{aligned} \Delta Q &= \rho_{\text{тек}} (V_{\text{ПАтек}} + V_e)g - m_{\text{ПА}}g = \\ &= g(\rho_{\text{тек}} (V_{\text{ПАтек}} + V_e) - m_{\text{ПА}}), \end{aligned} \quad (8)$$

где V_e – объем заместительной емкости, м^3 ; $m_{\text{ПА}}$ – масса ПА, отбалансированного относительно плотности морской воды вблизи поверхности, кг.

Тогда объем заместительной емкости определяется по формуле

$$V_e = \frac{\Delta Q - \rho_{\text{тек}} g V_{\text{ПАтек}} + m_{\text{ПА}} g}{\rho_{\text{тек}} g}. \quad (9)$$

На последующих этапах проектирования следует учитывать некоторый запас объема на случай кратковременного «провала» ПА по глубине.

На больших глубинах целесообразно использовать плунжерные (поршневые) насосные станции с кривошипно-шатунным приводом и клапанной системой распределения. Главное преимущество станции данного типа – возможность работы при сверхвысоких давлениях, а также высокий КПД. К недо-

статку данного типа насосной станции можно отнести увеличенные массогабаритные характеристики по сравнению с роторными насосами [12].

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ АНПА НА ГЛУБИНЕ 3000 М

Для оценки целесообразности использования СРП необходимо смоделировать режимы движения двух вариантов АНПА – без СРП и с СРП. Рассмотрим ситуацию, когда необходимо обеспечить удержание представленного на рис. 3 схематизированного АНПА на глубине 3000 м, существенно сократив использование ВПУ. По предварительным оценкам, СРП, аналогичную представленной на рис. 5, можно разместить в модуле, который удлинит исследуемый АНПА на 600 мм. В таком случае для АНПА, объем которого вблизи поверхности моря $V_a = 4,7 \text{ м}^3$ необходимый объем заместительной емкости согласно формуле (9) будет $V_e = 0,034 \text{ м}^3$. Поскольку заместительную емкость необходимо не только заполнять, но и осушать, необходимы также прочная цистерна объемом $0,034 \text{ м}^3$ и насос, создающий достаточное рабочее давление и подачу.

На рис. 8 показан исходный рассматриваемый АНПА, удлинненный на 600 мм, с цилиндрической вставкой СРП, расположенной в центре тяжести аппарата, в которой находятся прочная цистерна, емкость изменяемого объема, насос для перекачки масла и соответствующая арматура.

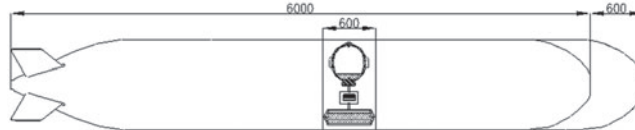


Рис. 8. Габариты удлиненного АНПА

В программном комплексе «SB-DYNA» выполнено моделирование различных режимов перемещения для двух рассматриваемых вариантов АНПА, для каждого из которого получены:

- математическая модель движения в вертикальной плоскости;
- уравнения тяги движителей и ПУ;
- коэффициенты присоединенных масс жидкости;
- гидродинамические характеристики;
- система управления движением, работающая в режиме стабилизации заданных параметров.

Значение максимального объема емкости вычислялось для каждого варианта АНПА по формуле (9) на основе следующих начальных условий:

- плотность воды изменяется в зависимости от глубины погружения АНПА в диапазоне $1,024 \dots 1,02785 \text{ т/м}^3$ (в соответствии с рис. 1);
- водоизмещение первого варианта АНПА (без СРП) $V_a = 4,3 \text{ м}^3$, изменение плавучего объема за счет обжатия блоков плавучести, прочных контейнеров, а также за счет температурного сжатия на глубине 3000 м составляет $0,043 \text{ м}^3$;
- водоизмещение второго варианта АНПА (с СРП) $V_a = 4,7 \text{ м}^3$, изменение плавучего объема за счет обжатия блоков плавучести, прочных контейнеров, а также за счет температурного сжатия на глубине 3000 м составляет $0,046 \text{ м}^3$.

На рис. 9 показана гистограмма, полученная в результате моделирования работы ВПУ АНПА, движущегося вблизи дна на глубине 3000 м в установившемся режиме на скорости хода $0,1 \text{ м/с}$, направленная на компенсацию отрицательной плавучести АНПА без СРП и с СРП. Видно, что у аппарата с СРП обороты ВПУ значительно уменьшены, а обороты ВПУ АНПА без СРП практически достигают максимальных, что значительно затрудняет регулирование дифферента.

Сравнительные характеристики

Параметр	АНПА без СРП	АНПА с СРП
Водоизмещение, м ³	4,3	4,7
Длина, м	6	6,6
Масса, кг	4400	4800
Время всплытия от 3000 до 0 м, мин.	242	140

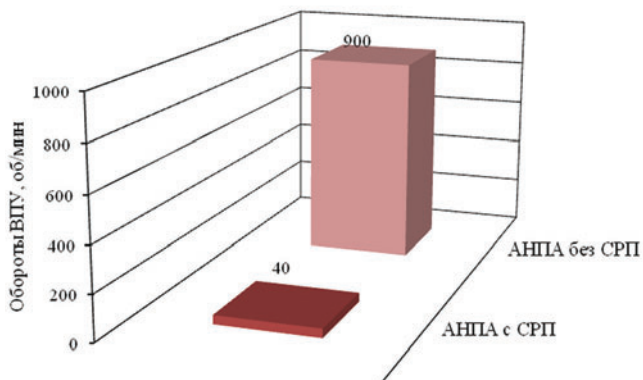


Рис. 9. Работа ВПУ на удержании АНПА на глубине 3000 м

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВСПЛЫТИЯ АНПА

На рис. 10 показаны результаты моделирования в программном комплексе «SB-DYNA» перехода АНПА по глубине с 3000 м до 0 м со скоростью движения 1 м/с и дифферентом 15° в обычном режиме (кривая 1) и с использованием СРП (кривая 2).

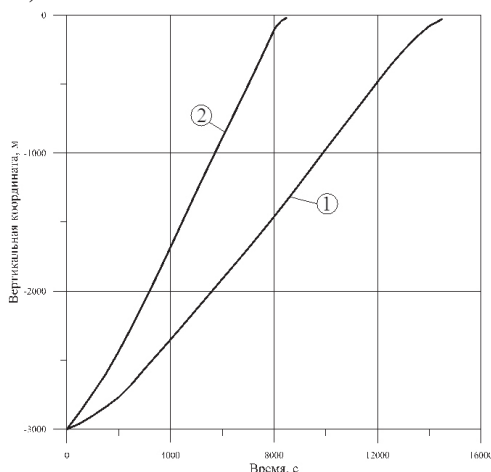


Рис. 10. Переход АНПА по глубине в различных режимах

Водоизмещающий объем АНПА, оснащенного СРП, был увеличен на 0,025 м³ за счет закачки в эластичную емкость 25 л рабочей жидкости из прочной цистерны, повысив тем самым плавучесть аппарата на 250 Н. АНПА без СРП совершал переход по глубине, используя только ВПУ и маршевые двигатели.

По результатам моделирования видно, что всплытие удлиненного АНПА, оснащенного СРП, происходит значительно быстрее, чем АНПА без СРП.

Сравнительные характеристики рассматриваемых в данной работе ПА, полученные в результате расчетов и моделирования, представлены в таблице.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование уравнивающей системы на ПА, перемещающихся на больших глубинах, целесообразно, так как позво-

ляет сэкономить заряд аккумуляторных батарей, увеличить время автономной работы ПА и скороподъемность, уменьшить шумность. Для перевода ПА в режим удержания на глубине в зоне плавания с помощью уравнивающей системы изменения объема необходимо закачать/откачать рабочую жидкость один раз за все время маневра на заданной глубине, тогда как ПУ при выполнении такого маневра без уравнивающей системы должны работать постоянно.

Однако установка уравнивающей системы на ПА влечет за собой увеличение водоизмещения, длины и массы, а также усложнение обслуживания из-за появления дополнительных конструктивных элементов, один из которых содержит изнашиваемый эластомерный материал. Также следует отметить, что использование такой системы связано с более высокими требованиями к качеству алгоритмов системы управления ПА.

ЛИТЕРАТУРА

- Семенов-Тянь-Шанский В.В., Благоевещенский С.Н., Холодили А.Н. Качка корабля. – Л.: Судостроение, 1969. – 392 с.
- Кормилицин Ю.Н., Хализев О.А. Устройство подводных лодок. Учебник. – Т. 1. – СПб.: Элмор, 2008. – 336 с.
- Боженов Ю.А., Борков А.П., Гаврилов В.М. и др. под общей ред. Иконникова И.Б. Самоходные необитаемые подводные аппараты. – Л.: Судостроение, 1986. – 264 с.
- Степанов В.Н. Мировой океан. – М.: Знание, 1974. – 255 с.
- Программа для ЭВМ: Исследование динамики пространственного движения «SB-DYNA». Руководство пользователя. – АО «ЦКБ МТ «Рубин», 2012. – 166 с.
- Войтов Д.В. Автономные необитаемые подводные аппараты. – М.: Моркнига, 2015. – 332 с.
- Tangirala S., Dzielski J. A Variable Buoyancy Control System for a large AUV // IEEE Journal of Oceanic engineering. – 2007. – Vol. 32. – Issue 4. – P. 762–771.
- Carl D. HIS Jane's Unmanned Maritime Vehicles 2016–2017.
- Hyakudome T., Aoki T., Maeda T. Buoyancy Control for Deep and Long Cruising Range AUV. – Proceedings of the Twelfth International Offshore and Polar Engineering Conference, 2002.
- Овдиенко И.Н., Чуксин Я.Н. Тяжелые автономные необитаемые подводные аппараты. – Ч.2: Аналитический отчет АО «ЦКБ МТ «Рубин», 2016. – 500 с.
- Гой В.А., Костенко В.В. Малогабаритная система регулирования плавучести. – Шестая Всеросс. науч.-техн. конфер. «Технические проблемы освоения Мирового океана» (ТПМО-6). – Владивосток: ФГУП Дальнаука. – 2015. – С. 113–117.
- Башта Т.М., Руднев С.С., Некрасов Б.Б. Гидравлика, гидромашин и гидроприводы. – 2-е изд, перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1971. – 504 с. ■

Интерес к речным круизным пассажирским судам (РКПС) не случаен, несмотря на все перипетии с внутренним водным транспортом и международной обстановкой, водные путешествия остаются вполне продаваемым продуктом, и количество клиентов, особенно по рекам Европы, продолжает расти из года в год [1].

Средний возраст находящихся в эксплуатации РКПС по данным РРР, и речных круизных компаний, достиг 45 лет. Судовладельцы пытаются «парировать» физическое старение судов путем дорогих ремонтов и замены кают на более комфортабельные [7].

Однако проблема не только в формальном возрасте судов, но и в том, что значительная их часть морально устарела: архаичен уровень обитаемости и комфорта; эксплуатируются неэкономичные двигатели, часто не отвечающие современным представлениям об экологии; отсутствует класс автоматизации; большие экипажи и значительное количество обслуживающего персонала и др.

При этом остается проблема окупаемости затрат на модернизацию и поддержание безопасного технического состояния, так как далеко не все «старые» проекты можно эффективно довести до современных представлений о комфорте и надежности [4, 5].

Крайне важно получить достоверные данные о фактическом выводе из эксплуатации РКПС, объективные закономерности по их списанию и уже на основе такой информации выбрать рациональ-

АНАЛИЗ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ СПИСАНИЯ РЕЧНЫХ КРУИЗНЫХ СУДОВ И ПРОГНОЗ СОСТАВА РЕЧНОГО ФЛОТА С ОПРЕДЕЛЕНИЕМ НАИБОЛЕЕ ВОСТРЕБОВАННЫХ ТИПОВ СУДОВ ДЛЯ КОНВЕРСИИ И МОДЕРНИЗАЦИИ

Г.В. Егоров, д-р техн. наук, проф., ген. директор,
А.Г. Егоров, канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник,
ООО «Морское инженерное бюро-СПб»,
контакт. тел. (812) 233 6403

ную стратегию решения внешней задачи проектирования РКПС, в том числе не забыв и об известных путях продления срока службы пассажирских судов.

Цель настоящей публикации – обоснование необходимости строительства новых судов и модернизации наиболее подходящих из существующих круизных проектов на основе исследования статистических закономерностей списания речных круизных пассажирских судов и прогноза состава флота на перспективу, с выявлением типов судов, наиболее востребованных на рынке туристических услуг.

Понятно, что утилизация – сдача судов на металлолом – абсолютно объективный процесс. Благодаря этому поддерживается достаточный уровень безопасности водного транспорта, проис-

ходит совершенствование применяемых технических средств. По грузовым судам отечественного речного флота такая работа была выполнена авторами ранее [6], что позволяет, используя аналогичную методику, провести анализ списания РКПС.

В табл. 1 представлены основные характеристики проектов отечественных РКПС, построенных в советское время.

Исследования авторов настоящей статьи однозначно показали, что утилизация «старых» серий речных круизных пассажирских судов не только идет, но и идет с нарастающими темпами. Пик ее пришелся на 2011–2018 гг., и этот процесс продолжается сейчас (рис. 1 и табл. 2).

К февралю 2019 г. из 254 построенных в советское время речных круизных пассажирских судов 98 (38,6%)

Таблица 1

Основные характеристики проектов отечественных РКПС, построенных до 1991 г.

Характеристика	Проект									
	588	26-37	305	Q-040	301	92-016	Q-056	302	Q-065	302М
Наименование головного судна	«Родина»	«Октябрьская Революция»	«Дунай»	«Максим Горький»	«Владимир Ильич»	«Валериан Куйбышев»	«Антон Чехов»	«Дмитрий Фурманов»	«Сергей Есенин»	«Глеб Кржижановский»
Классификационное общество	РРР	РРР	РРР	РРР	РРР	РРР	РРР	РРР	РРР	РРР
Класс (при постройке)	О	О	О	О	О	О	М	М (лед)	О	М (лед)
Год постройки головного судна	1954	1957	1959	1974	1975	1978	1978	1983	1984	1990
Длина габаритная, м	95,8	96,27	77,91	110,1	125	135,75	115,63	129,1	90,4	129,1
Длина расчетная, м	90	90	74,6	102,88	118	126,45	109,68	122,5	83	122,5
Ширина габаритная, м	14,3	14,98	15,2	14,5	16,7	16,8	16,46	16,7	15	16,7
Ширина расчетная, м	12	11,65	10,5	12,8	16	16	14,2	16	13,5	16
Высота борта, м	4,3	4,3	3,4	4,298	4,5	5,05	4,8	4,5	4	4,5
Осадка в грузу, м	2,4	2,39	1,36	2,2	2,76	2,9	2,8	2,94	1,63	2,95
Водоизмещение в грузу, т	1492	1473	800	2099	3570	3935	2920	3852	1345	3852,9
Водоизмещение порожнем, т	1228 / 1261	1273	681	-	-	3348	2650	-	-	3360
Суммарная мощность СЭУ, кВт	883	1158	588	1324	2207	2207	1987	2208	987	2208
Скорость, км/ч	23,7	25	20	22	26,2	26,1	25,5	25,5	22,6	25,36
Марка главного двигателя	3×6NVD48	3×6L275B	2×8NVD36	2×Г-60	3×Г70-5	3×Г70-5	3×Г-60	3×Г70-5	3×6ВД18/15АЛ-1	3×Г70-5
Мощность и тип подруливающего устройства, кВт	50	55	-	162	220	2 × 160 (нос, корма)	-	ВРШ, 370	207	ВРШ, 450
Мощность генераторов электростанции, кВт	4×74	3×99	2×74	3×331	4×530	3×480	3×464	4×530	3×329	4×530
Экипаж/пассажиры, чел.	72/364	70/312	55/311	66/216	84/360	83/400	75/250	94/332	55/180	98/350
Число мест в ресторане/салонах/кинозале	105/63/-	113/73/-	94/-/-	-	194/-/200	220/-/200	-	260/91/100	-	180/66/102

Сводная информация по выбытию отечественных речных круизных пассажирских судов

Проект	Всего построено, ед.	Всего списано ед.	Всего списано, ед.								В отстое, ед.	В эксплуатации, ед.	Средний возраст судов	Средний возраст судов в отстое	Средний возраст гибели судов	Средний возраст утилизации судов
			Потеряно в авариях, ед.													
			Всего потерян, ед.	Посадка на мель, ед.	Пожар / взрыв, ед.	Перелом корпуса, ед.	Опрокидывание, ед.	Заглопление, ед.	Утилизировано, ед.							
26-37	14	3	1	0	1	0	0	0	2	0	1	38,91	-	51,00	44,50	
92-016	9	1	0	0	0	0	0	0	1	1	7	38,57	42,00	-	43,00	
3 0 1	2	2	0	0	0	0	0	0	2	0	2	40,25	-	-	26,00	
302*	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	42,08	-	-	-	
305	47	22	2	0	1	0	0	1	20	12	13	57,31	57,42	42,00	50,50	
588	49	18	4	0	2	0	0	2	14	7	24	61,13	60,71	39,50	51,93	
6 4 6	1	5	2	0	1	0	0	1	5	3	5	64,40	63,67	61,50	36,20	
7 8 5	3	6	2	0	2	0	0	2	2	8	0	-	63,00	39,50	47,50	
8 6 0	1	4	2	0	2	0	0	2	8	2	0	-	5,5	39,75	44,88	
Q-040	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	44,50	-	-	-	
Q-056	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	40,50	-	-	-	
Q-065	5	1	0	0	0	0	0	0	1	1	3	34,00	34,00	-	27,00	
ПКС-4 0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	5,67	-	-	-	
4 6 3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	46,00	-	-	-	
P-18A	4	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	50,50	49,50	-	-	
10110 / ПТ-258	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	32,00	-	-	-	
588 / РЕГК.002	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	6,00	-	-	-	
354У / 1168	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3,00	-	-	-	
PV08	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	7,0	0	-	-	
PV09	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2,00	-	-	-	
Суммарно	254	98	17	0	9	0	0	8	81	32	124	45,18	57,72	40,76	47,14	

*Без учета трех китайских РКПС проекта 302МК

были списаны (6,7% – 17 судов потеряны в катастрофах), утилизировано 31,9% (81 судно). В отстое находилось 32 судна (12,6%) средним возрастом 57,7 лет. В эксплуатации – формально 124 судна (48,8%) средним возрастом 45,2 года, причем 4 из них под иностранным флагом. Средний возраст утилизации – 47,1 год. Как было установлено [6], по результатам анализа списания по отдельным проектам судов можно было сделать вывод о трех моделях списания, характерных для отечественных судов водного транспорта:

- списание по классической схеме (1-я модель), при которой значительная часть судов серии списывается при достижении максимального допустимого расчетного срока экс-

плуатации, как правило, для РКПС 45–50 лет, а оставшиеся в эксплуатации суда списываются по остаточному принципу (по убывающей), основной график списания судов имеет линейный характер;

- списание в силу морального устаревания (2-я модель), при которой значительная часть судов серии списывается при наступлении определенных внешних обстоятельств (обвал рынка, потеря экономики в работе судна, несоответствие судна конъюнктуре рынка); при этом средний возраст списаний судов серии может и не достигать расчетного эксплуатационного срока, основной график списания судов имеет ярко выраженный экспоненциальный характер;

– списание по комбинированной схеме (3-я модель), при которой суда серии списываются постепенно в зависимости от достижения допустимого расчетного срока эксплуатации, режимов эксплуатации и судовладельца в сочетании с востребованностью на рынке и наличия/отсутствия мероприятий по улучшению технико-экономических свойств судна (модернизации, реклассификации, переоборудования), основной график списания имеет в разные годы как линейную часть, так и скачкообразную.

В целом можно выделить среди рассматриваемых проектов две большие группы судов.

Первая (суда пр. 785, 26-37, 588, 305, 646, 860) – это грузопассажирские и пассажирские суда для дальних линий, построенные с начала 50-х до середины 60-х гг. прошлого столетия. Круизная функция появилась заметно позже, чем они были приняты в эксплуатацию (достаточно вспомнить, что во многих каютах не было не только индивидуальных санузлов, но и просто умывальников, отсутствовали системы кондиционирования). Соответственно, именно к круизным задачам такие суда приспособлялись в разное время и в разном объеме. Кроме того, это относительно небольшие суда с точки зрения главных размеров и количества пассажирских палуб, соответственно, существенно

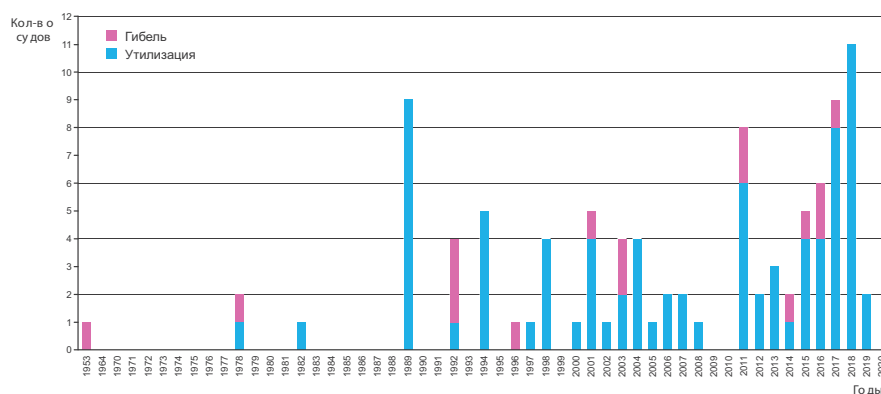


Рис. 1. Количество утилизированных и потерянных в катастрофах судов по всем проектам с распределением по годам

сложнее разместить на них достаточное для прибыльного бизнеса количество комфортабельных кают. Поэтому, например, двухпалубные суда утилизируются гораздо быстрее, чем трехпалубные примерно того же возраста.

Например, из 36 двухпалубных судов пр. 785 типа «Россия» (строились в Комарно, Словакия в 1952–1958 гг.) списаны 88,9%, или 32 ед. (в том числе 11,1% – 4 судна потеряно в катастрофах, утилизировано 77,8% – 28 судов). В отстое – 4 судна (11,1%) средним возрастом 63 года. В эксплуатации судов нет. Средний возраст утилизации – 47,5 лет. При этом пик утилизации наблюдался (рис. 2 и рис. 3) в 1989 г. (утилизация судов, принимавших участие в ликвидации последствий аварии на ЧАЭС) и в 2014–2017 гг. (списание находившихся в отстое невостребованных на рынке судов). Основной график списания судов (см. рис. 2) сохранял линейный характер, но с 2014 г. имеется скачок, отражающий утилизацию в связи с моральным старением судов этого типа (к судам проекта относится и «Булгария»).

Из 15 двухпалубных судов пр. 646 типа «Байкал» (строились в Варнемюнде, Германия в 1953–1956 гг.) списаны 46,7%, или 7 ед. (13,3% – 2 судна потеряно в катастрофах, утилизировано 33,3% – 5 судов). В отстое – 3 судна (20,0%) средним возрастом 63,7 года. В эксплуатации – 5 судов (33,3%) средним возрастом 64,4 года. Средний возраст утилизации – 36,2 года. Основной график списания судов (рис. 4 и рис. 5) сохранял линейный характер.

Из 49 трехпалубных судов проекта 588 типа «Родина» (строились в Висмаре, Германия в 1954–1961 гг.) списаны 36,7% – 18 (8,2% – 4 судна потеряно в катастрофах, утилизировано 28,6% – 14 судов). В отстое – 7 судов (14,3%) средним возрастом 60,7 лет. В эксплуатации – 24 судна (49,0%) средним возрастом 61,1 года. Средний возраст утилизации – 51,9 лет. При этом пик утилизации наблюдался (см. рис. 6 и рис. 7) в 2012–2014 гг. Основной график списания судов (см. рис. 6) сохранял линейный характер, что является признаком равномерной утилизации объектов – обычно это отвечает списанию по техническому состоянию. Однако в 2012–2014 гг. и далее наблюдается экспоненциальный рост утилизации судов проекта – признак морального старения. Пр. 588, разработанный ЦТКБ МРФ, считался одним из самых успешных проектов судов такого класса в СССР. С постройки суда имели два грузовых рефрижераторных трюма, в каждом были грузовой лифт, подруливающее устройство. Надстройки выполнялись из алюминиевого сплава.

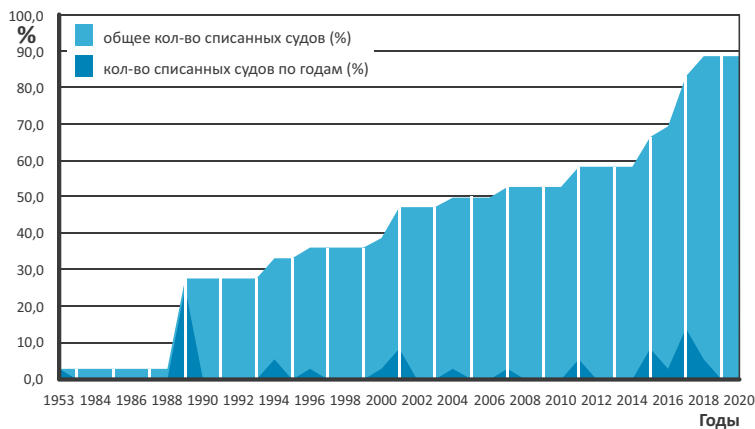


Рис. 2. Количество списанных судов в соотношении от всех судов пр. 785 типа «Россия», %

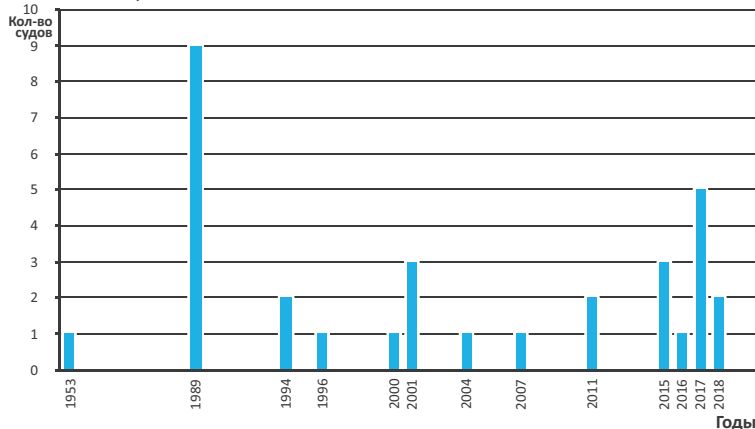


Рис. 3. Количество утилизированных судов пр. 785 типа «Россия» с распределением по годам

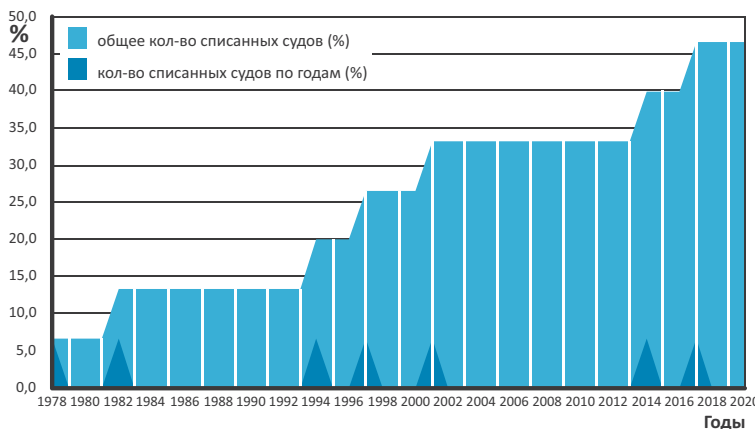


Рис. 4. Количество списанных судов в соотношении от всех судов пр. 646 типа «Байкал», %

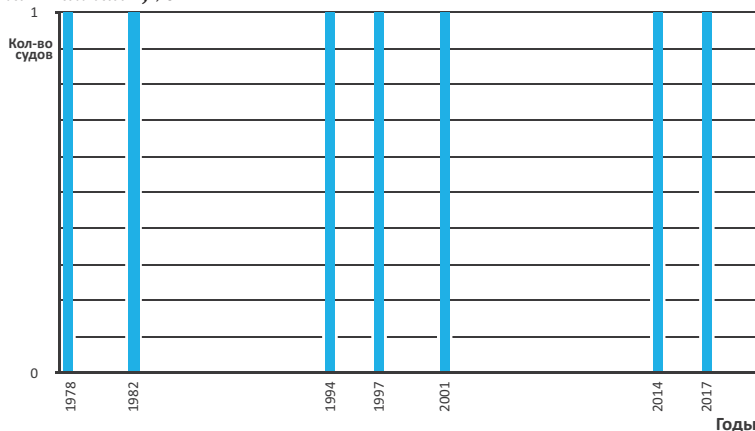


Рис. 5. Количество утилизированных судов пр. 646 типа «Байкал» с распределением по годам

Из 14 трехпалубных судов пр. 26-37 типа «Октябрьская революция» (строились в Комарно, Словакия в 1957–1962 гг., аналог пр. 588, но со стальной надстройкой) списаны 21,4%, или 3 ед. (7,1% – 1 судно потеряно в катастрофах, утилизировано 14,3% – 2 судна). В отстое судов нет. В эксплуатации – 11 судов (78,6%) средним возрастом 58,9 года. Средний возраст утилизации – 44,5 года. График списания судов приведен на рис. 8. Все суда с постройки имели одно-, двух- и четырехместные каюты с умывальниками, а каюты класса «люкс» дополнительно получили санузлы.

Из 14 двухпалубных судов пр. 860 типа «Ерофей Хабаров» (строились на отечественных верфях в 1958–1963 гг.) списаны 85,7%, или 12 ед. (28,6% – 4 судна потеряно в катастрофах, утилизировано 57,1% – 8 судов). В отстое – 2 судна (14,3%) средним возрастом 57,5 лет. В эксплуатации судов нет. Средний возраст утилизации – 44,9 лет. Основной график списания судов (рис. 9 и рис. 10) сохранял линейный характер.

Из 47 двухпалубных судов пр. 305 (весьма близких к пр. 860) типа «Дунай», включая 2 судна, работающих в Венгрии (строились в Будапеште, Венгрия в 1959–1964 гг.) списаны 46,8%, или 22 ед. (4,3% – 2 судна потеряно в катастрофах, утилизировано 42,6%, или 20 судов). В отстое – 12 судов (25,5%) средним возрастом 57,4 года. В эксплуатации – 13 судов (27,7%) средним возрастом 57,3 года. Средний возраст утилизации – 50,5 лет. При этом пик утилизации наблюдался (рис. 11 и рис. 12) в 2018 г., когда было списано сразу 7 судов пр. 305 (14,8% серии). Основной график списания судов (рис. 11) имеет после 2014 г. ярко выраженный экспоненциальный характер – обычно это отражение морального старения по экономическим причинам. Серия предназначалась для работы на линиях с малыми глубинами.

Вторая группа судов (пр. 301, 302, Q-040, Q-056, Q-065, 92-016) – это суда, которые строились в 70–90-е гг., причем многие уже с учетом круизной функции. Суда этих проектов имели вполне современные архитектурные формы и отличались заметно более высокой комфортабельностью всех пассажирских помещений, имели системы вентиляции и кондиционирования. В целом в них были заложены правильные конструктивные решения. Они вполне безопасны и пригодны для увеличения уровня комфорта, а в будущем и замены машин и механизмов, что позволит им работать еще примерно 15–20 лет. При этом помимо перепланировочных работ, особо следует ставить вопрос о замене в будущем дизель-генераторов и главных дизелей, ресурс которых практически исчерпан,

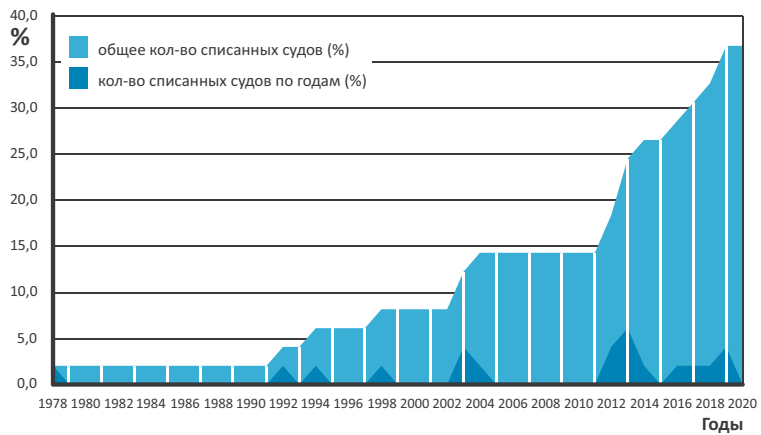


Рис. 6. Количество списанных судов в соотношении от всех судов пр. 588 типа «Родина», %

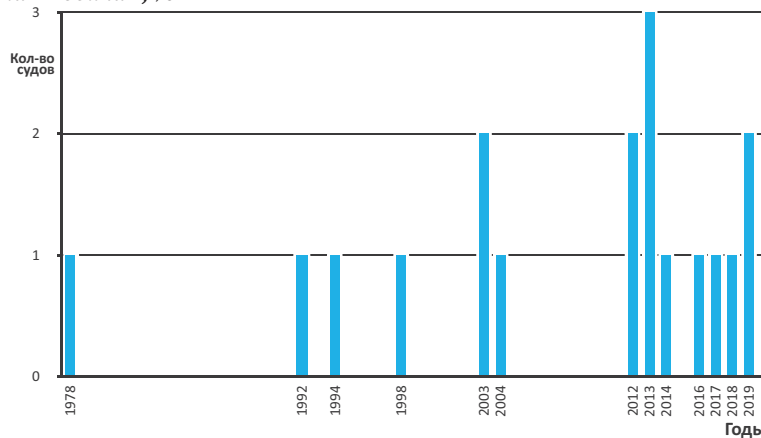


Рис. 7. Количество утилизированных судов пр. 588 типа «Родина» с распределением по годам

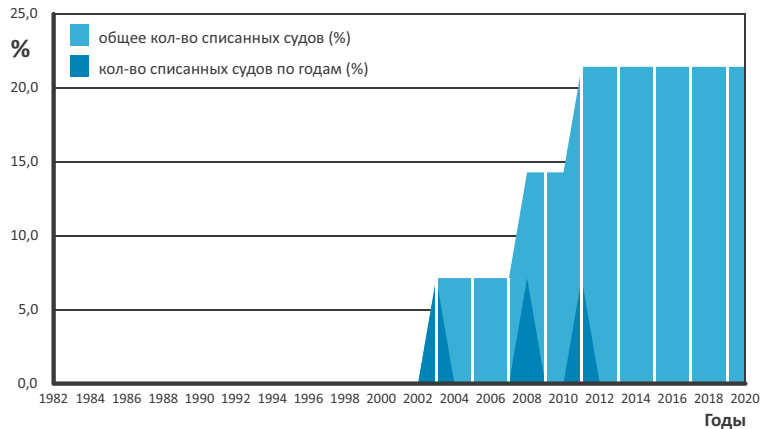


Рис. 8. Количество списанных судов в соотношении от всех судов пр. 26-37, %

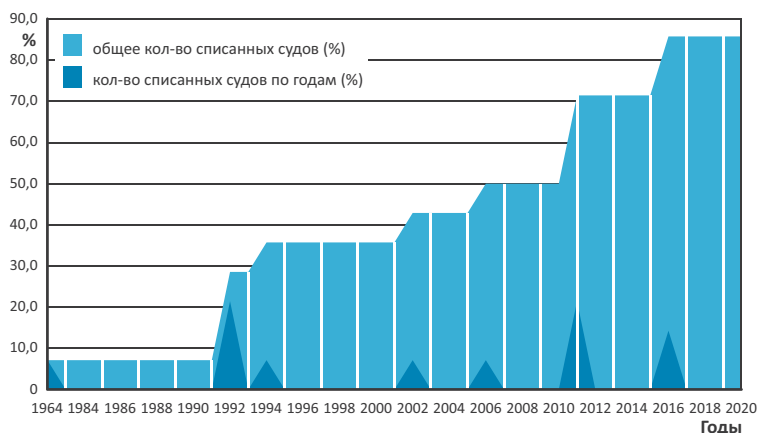


Рис. 9. Количество списанных судов в соотношении от всех судов пр. 860 типа «Ерофей Хабаров», %

а заводов, производящих неконтрафактные запчасти, уже нет.

С корпусом ситуация иная. Условия эксплуатации таких речных круизных судов гораздо более благоприятны, чем грузовых. Нет смысла сравнивать, например, 40-летнее сухогрузное судно и РКПС такого же возраста [4].

Вследствие большего запаса воды под днищем РКПС реже контактируют с грунтом. Бортовые конструкции пассажирских судов надежно защищены кринолинами и кранцами, поэтому, несмотря на гораздо большую частоту швартовок и шлюзований, повреждаются неизмеримо меньше, чем бортовые конструкции грузовых судов.

РКПС обычно заканчивают навигацию задолго до образования ледостава, поэтому на них редко действуют ледовые нагрузки.

Постоянное по длине судна распределение весовой нагрузки исключает возможность неожиданного увеличения общих изгибающих моментов и, как следствие, возможность перелома корпуса пренебрежимо мала.

Хорошее техническое обслуживание корпусов, отсутствие загрязнений многих помещений способствуют замедлению коррозионного изнашивания. В целом наблюдения показывают, что скорости коррозионного изнашивания связей пассажирских судов в 2–4 раза меньше скоростей изнашивания связей грузовых судов. Например, на судне пр. 301 износы корпусных конструкций за 30 лет составили: наружная обшивка днища – 2,4%; наружная обшивка борта – 2,1%; настил главной палубы – 6,3%; настил второго дна – 2,1%; поперечные переборки – 2,8%; днищевой набор – 2,1%; бортовой набор – 2,4%; палубный набор – 2,3%. Однако и на пассажирских судах наблюдается значительное местное коррозионное изнашивание связей вблизи бытовых помещений, в отсеках с грязной водой и т. д. [4].

Например, все 4 четырехпалубных судна пр. Q-040 типа «Максим Горький» (строились в Корнойбурге, Австрия в 1974–1975 гг.), а также оба судна пр. Q-056 типа «Антон Чехов» (строились там же в 1978–1979 гг.) эксплуатируются. Средний возраст судов пр. Q-040 – 44,5 года, пр. Q-056 – 40,5 лет.

Из 9 четырехпалубных судов пр. 92-016 типа «Валериан Куйбышев» (строились в Комарно, Словакия в 1975–1983 гг.) списано 11,1%, или 1 ед. (причем судно было списано для получения утилизационного гранта для финансирования постройки нового круизного пассажирского судна пр. PV300). В отстое – 1 судно (11,1%) с возрастом 42 года. В эксплуатации – 7 судов (77,8%) средним возрастом

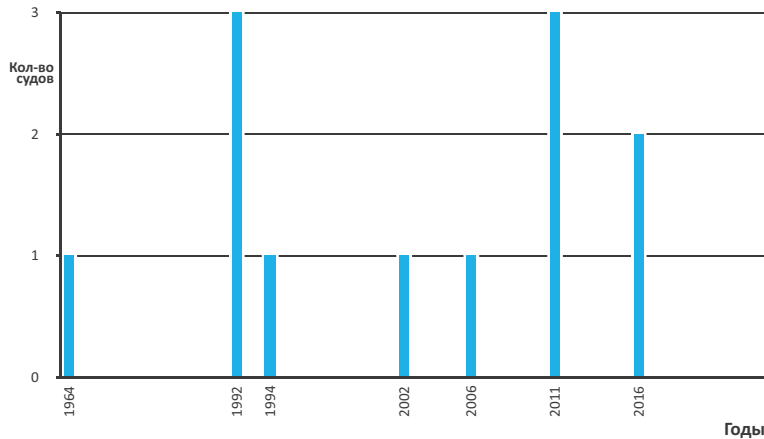


Рис. 10. Количество утилизированных судов пр. 860 типа «Ерофей Хабаров» с распределением по годам

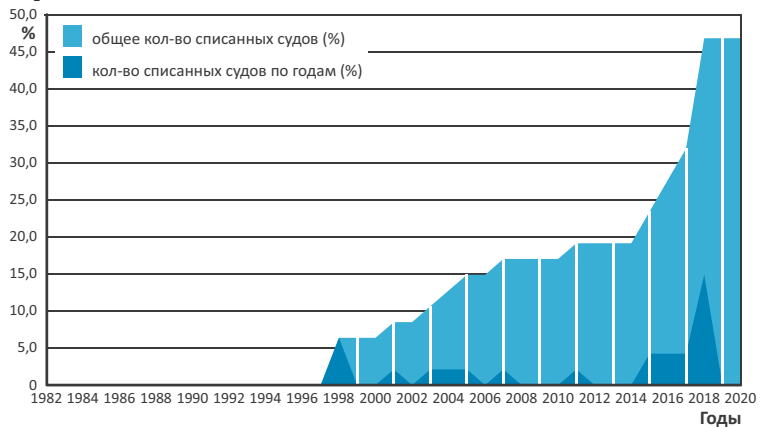


Рис. 11. Количество списанных судов в соотношении от всех судов пр. 305 типа «Дунай», %

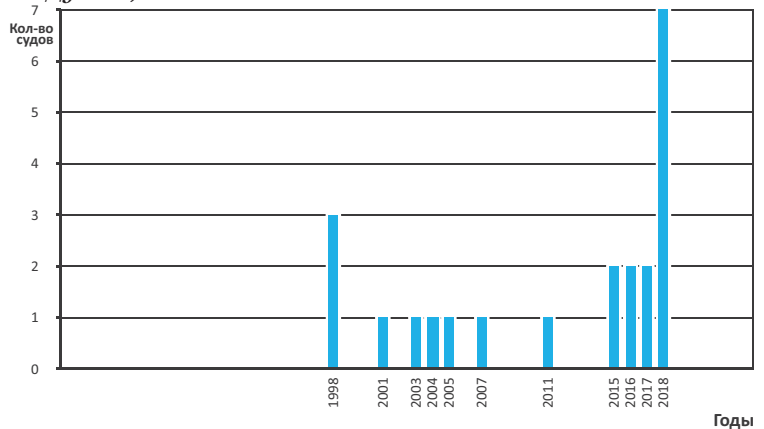


Рис. 12. Количество утилизированных судов пр. 305 типа «Дунай» с распределением по годам

38,6 лет. Средний возраст утилизации – 43 года. Особенности проекта являются достаточно большие площади палуб, что выгодно может быть использовано при модернизации, так как исходная планировка кают требует существенного вмешательства (25 кают сейчас трехместные, 40 – узкие двухместные); недостаточна площадь ресторана (питание в две смены); малая мощность подруливающего устройства; при постройке – класс «О» (Ладога и Онега – класс «М»). Но в целом судна пр. 92-016 могут быть эффективными донорами для крупных модернизаций с перепланировкой и заменой оборудования.

Из 22 четырехпалубных судов пр. 301 типа «Владимир Ильич» (строились в Бойценбурге, Германия в 1975–1983 гг.) списано 9,1%, или 2 ед. В отстое судов нет. В эксплуатации – 20 судов (90,9%), включая 2 в Украине, средним возрастом 40,3 года. Средний возраст утилизации – 26 лет (оба списанных судна работали за границей).

Из 24 судов (за исключением 3 судов пр. 302МК, работающих в Китае) пр. 302 типа «Дмитрий Фурманов» (строились в Бойценбурге, Германия в 1983–1991 гг.) ни одного судна не списано, также нет судов в отстое. В эксплуатации все суда серии средним возрастом 32,1 год.

Изменения пассажироместимости на судах пр. 26-37 после их переоборудования

Название судна	Год постройки	Год переоборудования	Число пассажирских мест до / после переоборудования	Изменение пассажироместимости, %
«Александр Бенуа» (бывш. «Яков Свердлов»)	1960	2007	312/140	-55,1
«Афанасий Никитин» (бывш. «Мир»)	1959	2008	312/264	-5,4
«Валерий Чкалов»	1961	2007	312/152	-51,3
«Волга Дрим» (бывш. «Комарно»)	1959	2007	312/109	-65,1
«Иван Кулибин» (бывш. «Андрей Жданов»)	1960	2008	312/264	-15,4
«Капитан Пушкарев» (бывш. «XXI съезд КПСС»)	1960	1998	312/200	-35,9
«Михаил Танич» (бывш. «Николай Щорс»)	1962	2003	312/249	-20,2
«Н.А. Некрасов» (бывш. «Серго Орджоникидзе»)	1961	2005	312/140	-55,1
«Октябрьская Революция»	1957	2008	312/264	-15,4
«Президент» (бывш. «Сергей Лазо»)	1961	2004	312/146	-53,2
«Родная Русь» (бывш. «Клемент Готвальд»)	1961	2006	312/223	-28,5
«Сергей Абрамов» (бывш. «Дружба»)	1961	2003	312/146	-53,2

Таблица 4

Изменения пассажироместимости на судах пр. 588 после их переоборудования

Название судна	Год постройки	Год переоборудования	Число пассажирских мест до / после переоборудования	Изменение пассажироместимости, %
«Анатолий Папанов» (бывш. «К.Э. Циолковский»)	1961	2009	339/236	-30,4
«Арабелла» (бывш. «Л. Доватор»)	1955	2003	364/150	-58,8
«Карл Маркс»	1957	2007	339/152	-55,2
«Космонавт Гагарин» (бывш. «Кавказ»)	1958	2008	339/185	-45,4
«Очарованный странник» (бывш. «Андрей Вышинский»)	1956	2011	364/193	-47,0
«Павел Бажов» (бывш. «Вильгельм Пик»)	1960	2000	339/226	-33,3
«Прикамье» (бывш. «Добрыня Никитич»)	1957	2004	339/130	-61,7
«Цезарь» (бывш. «Эрнст Тельман»)	1955	2004	364/150	-58,8
«Юрий Никулин» (бывш. «Карл Либкнехт»)	1956	2007	364/227	-37,6

Из 5 трехпалубных судов пр. Q-065 типа «Сергей Есенин» (строились в Корнойбурге, Австрия в 1984–1986 гг.) списано 20,0%, или 1 ед. (элементы были использованы для постройки РКПС пр. PV08). В отстое – 1 судно (20,0%) возрастом 34 года. В эксплуатации – 3 судна (60,0%) средним возрастом 34 года. Средний возраст утилизации – 27 лет. Серия предназначалась для работы на линиях с малыми глубинами. С целью снижения массы судна порожнем обычно применяемые на РКПС среднеоборотные дизеля на них были заменены на высокооборотные, которые обладали повышенным расходом топлива и относительно меньшим ресурсом.

РКПС переоборудовались (и переоборудуются) с целью повышения уровня комфорта, что приводит к сокращению пассажироместимости (числа кают) за счет увеличения площади кают (табл. 3 и табл. 4). Так, например, теплоход «Комарно» пр. 26-37 построенный в 1959 г., с 2005 по 2007 г. был подвергнут существенной модернизации. В результате «Волга Дрим» (новое название судна) превратился в одно из самых комфортабельных судов на Волге. При этом общее число кают сократилось со 117 до 58 и соответственно количество пассажиров с 312 до 109 мест.

Такие работы продолжаются. В зиму 2018–2019 гг. компания «ГАМА» переоборудует РКПС пр. 588 «А.С. Попов». На обновленном судне будет 71 каюта площадью 14–16 м² и 10 кают площадью 11–14 м², при этом количество пассажиров сократится до 162 с 339 человек (на 52,2%). Устанавливаются санблочки, многоканальные сплит-системы кондиционирования, новые вентиляторы, происходит замена кабельных трасс и электрощитов, а также новая автоматика на судовую электростанцию.

Для работы с иностранцами как с наиболее выгодным сегментом туристического бизнеса переоборудование предполагает повышение уровня комфортабельности КС до четырехзвездочного отеля. Проведение таких работ целесообразно только для относительно новых и достаточно больших КС, у которых еще не выработан технический ресурс судовых машин, механизмов, систем. Для четырехпалубных судов численность пассажиров в таких современных каютах составляет 200–220 человек. Например, на «Княжне Виктории» пр. 301 после модернизации 109 кают (218 пассажиров). На судне пр. PV17 «Викинг Синеус» (модернизация судна пр. 301 «Михаил Ломоносов») – 196 пассажиров. На РКПС «Мстислав Ростропович» пр. 92-016 пассажироместимости после переоборудования – 212 человек.

В эксплуатации также находятся 1 судно пр. 463 типа «Принцесса Ана-

белла» возрастом 46 лет, 3 пассажирских судна с колесным движительно-рулевым комплексом пр. ПКС-40 типа «Сура» средним возрастом 5,7 лет, 1 конверсионное судно пр. 588 / РЕГК.002 типа «Русь Великая» возрастом 6 лет, 1 конверсионное судно пр. PV08 типа «Александр Грин» возрастом 7 лет, а также новое высококомфортабельное судно пр. PV09 типа «Штандарт» возрастом 2 года.

На трехпалубном судне пр. PV08 «Александр Грин» (конверсия Q-065 [1, 7]) для размещения 112 пассажиров созданы 56 стандартных кают площадью 14,5–18 м² и 6 улучшенных кают «Люкс» площадью 23–25 м² (все с двухпальными кроватями, душем и туалетом, кондиционером, шкафами, сейфом, телевизором со спутниковыми и внутрисудовыми каналами, феном, электрическими розетками на 220 В, беспроводным Интернетом, судовой радиотрансляцией, внутренней и внешней телефонной связью). Каюты на двух палубах имеют индивидуальные балконы (со сдвижными перегородками, обеспечивающими свободный проход по палубам вдоль всего судна в аварийных ситуациях). Полностью

новыми являются системы кондиционирования, водоснабжения и вентиляции, главные и вспомогательные дизеля, электро-радионавигация и автоматика. Ресторан площадью 281 м² на 150 посадочных мест обеспечивает питание в одну смену, салон с баром на 65 мест площадью 221 м², спортзал, массажная, сауна, парикмахерская, амбулатория.

Кроме того, по озеру Байкал совершают круизные рейсы относительно небольшие РКПС «Николай Ерошенко» (пр. Р-18А/7635, 16 кают, 45 пассажиров, переоборудован в 2003 г. из буксира постройки 1969 г.), «Империя» (пр. Р-18А/224, 24 каюты, 47 пассажиров, переоборудован в 2007 г. из буксира постройки 1968 г.) и «Александр Великий» (пр. ПТ-258, 15 кают, 30 пассажиров, переоборудован в 2000 г. из прогулочного судна пр. 10110 постройки 1987 г.).

По рекам Белоруссии – РКПС пр. 1168 «Белая Русь» (16 кают, 35 пассажиров, построен в 2016 г. с использованием элементов зачистной станции «ОС-2»).

В постройке находятся новые пассажирские круизные суда пр. ПКС-180

**Прогноз выбытия отечественных речных круизных пассажирских судов
на февраль 2019 г.**

Проект	Прогнозируемый год выбытия серии	Остаточный ресурс, лет	Количество действующих судов на 2019 г, ед.	Прогноз количества судов на 2025 г, ед.	Прогноз количества судов на 2030 г, ед.
26-37	2029	10	11	6	1
92-016	2033	14	7	5	2
301	2035	16	20	16	10
302	2040	21	24	22	18
305	2028	9	13	2	0
588	2031	12	24	12	3
646	2025	6	5	2	0
785	2019	0	0	0	0
860	2019	0	0	0	0
Q-040	2031	12	4	2	1
Q-056	2032	13	2	2	2
Q-065	2032	13	3	3	3
ПКС-40	2040	21	3	3	3
463	2023	4	1	0	0
P-18A	2030	11	2	2	1
ПТ-258	2025	6	1	1	0
588 / РЕГК.002	2037	18	1	1	1
1168	2036	17	1	1	1
PV08	2042	23	1	1	1
PV09	-	-	1	1	1
PV300	-	-	-	2	2
PV300VD	-	-	-	1	1
ПКС-180	-	-	-	2	2
Всего			124	87	53

(2 ед., сдача в эксплуатацию планируется в 2020 г.), PV300 (1 ед., сдача в эксплуатацию планируется в 2020 г.), PV300VD (1 ед., сдача в эксплуатацию планируется в 2020 г.).

Для каждого проекта, базируясь на данных, полученных выше, и опираясь на выбранную модель утилизации, можно прогнозировать следующие сроки списания – см. табл. 5.

Прогнозировать выбытие РКПС можно в целом для всего флота, но это будет очень грубой оценкой, так как зависимости выбытия судов различных проектов значительно отличаются друг от друга и носят вероятностный характер.

Можно предположить, что к 2025 г. будет в работе примерно 83 РКПС, в том числе новых, а к 2030 г. – примерно 51 (без учета судов, которые могут быть за эти годы построены, но пока не заказаны, и без учета байкальских и белорусского РКПС).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основным критерием грядущего списания РКПС в России является моральное старение, в том числе по экономическим и экологическим требованиям и по характеристикам самого судна, т.е. не востребуемость судна рынком.

Новые РКПС необходимы по следующим причинам:

- эксплуатируемые на линиях суда (особенно первой группы) уже подошли к порогу физического и морального устаревания;
- ограниченные возможности модернизации имеющихся судов из-за устаревшей конструкции;
- низкие показатели экономичности существующих судов;
- неудовлетворительные показатели комфорта пассажирских кают и общественных помещений на судне;
- невозможность круизов река-море.

К февралю 2019 г. из 254 построенных в советское время речных круизных пассажирских судов 98 (38,6%) были списаны (6,7% – 17 судов потеряны в катастрофах, утилизировано 31,9%, или 81 судно). В отстое находилось 32 судна (12,6%) средним возрастом 57,7 лет. В эксплуатации – формально 124 судна (48,8%) средним возрастом 45,2 года, причем из них 4 под иностранным флагом. Средний возраст утилизации – 47,1 год.

Анализ закономерностей списания показал, что к 2025 г. будет в работе примерно 83 РКПС, а к 2030 г. – примерно 51.

Предстоящее списание флота РКПС нанесет существенный ущерб внутренним речным пассажирским перевозкам, понятие «речной отечественный круиз» может исчезнуть.

Чтобы избежать подобного сценария рекомендуется на краткосрочную перспективу привести существующий флот (в первую очередь, пр. 301, 302, Q-040, Q-056, Q-065, 92-016) к современным экологическим требованиям и требованиям рынка (заменить двигатели, улучшить условия обитаемости, повысить автоматизацию процессами на борту и т.п.), а на среднесрочную – строить новый флот, в том числе с использованием элементов судов-доноров: пр. РКПС «Волго-Дон макс» класса PV300, PV300VD, «Волго-Балт макс» класса PV500VB, «ББК макс» класса PV09, PV11 как наиболее полно соответствующие рыночным тенденциям, а также проекты с колесным движительно-рулевым комплексом (ПКС-180) или водометным движителем для работы на малых реках.

ЛИТЕРАТУРА

1. Анисимов К.О., Егоров Г.В. Как сохранить российские речные круизы? // Морская Биржа. – 2012. – № 3 (41). – С. 24–34.
2. Егоров А.Г. Обзор мирового флота круизных пассажирских судов. – Труды НТК по СМК, посвященной 125-летию со дня основания ФГУП «Крыловский государственный научный центр». – СПб.: Крыловский государственный научный центр, 2018, с. 141–142.

3. Егоров Г.В., Анисимов К.О. Круизный туризм – воплощение мечты. Концепт пассажирского судна смешанного река-море плавания с возможностью совершения круизов по Каспийскому, Азовскому, Черному и Балтийскому морям // Морские вести России. – 2016. – №10. – С. 13–16.
4. Егоров Г.В., Егоров А.Г. Исследование надежности и риска эксплуатации отечественных речных круизных пассажирских судов // Вестник ОНМУ. – Одесса: ОНМУ, 2015. – Вып. 1 (43). – С. 5–31.
5. Егоров Г.В., Егоров А.Г. Анализ возможных версий гибели судна «Булгария» и рекомендации по управлению риском при эксплуатации существующих и проектировании новых речных круизных пассажирских судов. – Мат-лы VII междунаучно-техн. конф. «Инновации в судостроении и океанотехнике». – Николаев: НУК, 2016, с. 42.
6. Егоров Г.В., Егоров А.Г. Фактическое списание судов смешанного река-море плавания и прогноз утилизации судов до 2025 года. Типы судов, востребованные рынком // Морская Биржа. – 2017. – №3 (61). – С. 30–36.
7. Егоров Г.В., Егоров А.Г., Калугин Я.В. Опыт модернизации и конверсии речных и смешанных река-море круизных пассажирских судов. – Тр. НТК по СМК, посвященной 125-летию со дня основания ФГУП «Крыловский государственный научный центр». – СПб.: Крыловский государственный научный центр, 2018, с. 166–167. ■

Диверсификация ОПК провозглашена стратегической национальной задачей. Главная цель предприятий ОПК сегодня – не только обеспечить безусловное выполнение в срок заданий государственной программы вооружения по выпуску продукции по госзаказу до 2025 г., но и сохранить финансовую стабильность оборонной промышленности в период, когда пик расходов на перевооружение армии и флота будет пройден и объективно снизятся масштабы гособоронзаказа.

Президентом России было подчеркнуто, что диверсификация ОПК должна укрепить финансовую устойчивость экономики страны в условиях внешних санкций, валютных колебаний и других рисков.

В целом по ОПК доля гражданской продукции в 2020 г. должна составить 20,7%, а по организациям ГК «Ростех» – около 29%. Президент особо обратил внимание на то, что в полной мере система диверсификации пока не заработала – для достижения 30% гражданской продукции к 2025 г. и 50% к 2030 г. принимаемых мер недостаточно.

Какие проблемы развития и диверсификации ОПК необходимо решать в приоритетном порядке?

Ассоциация судостроителей подготовила с учетом поручений Президента страны свои предложения по данному вопросу.

Чтобы ответить на этот вопрос, надо обсудить прежде всего проблему закредитованности предприятий ОПК. Только на выплату процентов по кредитам предприятия ОПК ежегодно тратят 135 млрд. руб. Вице-премьер Ю. Борисов отметил, что лучше бы эти громадные деньги пошли на диверсификацию: «Закредитованность предприятий ОПК очень существенная – больше 1 трлн. руб. Она возникла не за один год, ведь ставка привлечения кредитных средств была 10, 11, 12%. Теперь предприятия ОПК, как велотренажер: педали крутишь, а не едешь...»

По мнению вице-преьера, нужно проводить реструктуризацию долговых обязательств, перекредитовываться на более льготных условиях. Ю. Борисов анонсировал возможное появление государственной программы диверсификации ОПК.

Среди крупнейших оборонных заемщиков можно назвать почти все госкорпорации ОПК и другие предприятия: «У них самые длинные циклы, а Минобороны рассчитывается только по завершении контрактов».

Суть проблемы: средств для ежегодного погашения основного тела кредита, взятого на развитие производственных мощностей (и на диверсификацию), у большинства предприятий ОПК практически не остается.

Основная причина в том, что постановлениями Правительства РФ с сентяб-

О РАЗВИТИИ И ДИВЕРСИФИКАЦИИ ПРЕДПРИЯТИЙ ОБОРОННО - ПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА (ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ)

И.Л. Вайсман, эксперт,

А.А. Юрчак, исполнительный директор,

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

ря 2015 г. величину расчетной прибыли по каждому контракту ГОЗ заказчик и ФАС определяют по формуле: 1% от привлеченных затрат плюс 20% собственных затрат исполнителя ГОЗ. Расчет прибыли в процентах от затрат дает головным исполнителям ГОЗ прибыль в размере не более 3 – 6% от полной себестоимости работ. А кредиты они вынуждены брать под 9–10% годовых! Вся прибыль от ГОЗ уходит на проценты за обслуживание кредита.

В качестве опорного банка для операций по ГОЗ Правительство России и ЦБ определили Промсвязьбанк.

Ю. Борисов заметил: «Как зампреда правительства, отвечающего за развитие ОПК, меня опорный банк интересует в первую очередь в качестве источника более дешевых кредитов для оборонных предприятий (от до 5% годовых)».

А. Силуанов заявил, что банки, работающие с ОПК*, передадут Промсвязьбанку кредиты на 1 трлн. руб., а также поделятся капиталом.

Для решения первой проблемы – закредитованности предприятий ОПК – Ассоциация судостроителей полагает целесообразным поддержать предложение вице-преьера Правительства России о разработке государственной программы по диверсификации ОПК, предусматривающей реструктуризацию в 2019 г. долговых обязательств предприятий оборонных отраслей промышленности с частичным погашением кредитов и/или их перекредитации на более льготных условиях.

Вторая проблема: необходимость внесения в законодательство Российской Федерации изменений в целях ускорения развития мощностей и диверсификации предприятий ОПК.

Федеральным законом «О государственном оборонном заказе» от 29.12.2012 № 275-ФЗ предусмотрено:

«Статья 10. Методы государственного регулирования цен на продукцию по государственному оборонному заказу:

1. Государственное регулирование цен на продукцию по государственному

*В список таких кредитных организаций по состоянию на 1.11.2018 г. входили ВТБ, Сбербанк, банк «Россия», Газпромбанк, Банк «Санкт-Петербург», Новикомбанк, ВБРР и Россельхозбанк.

оборонному заказу осуществляется посредством определения минимального и максимального размеров рентабельности (прибыли) и порядка их применения при расчете цен на продукцию по государственному оборонному заказу с учетом средств, которые необходимы головному исполнителю, исполнителю для развития производственных мощностей и обслуживания привлеченного капитала, обеспечивающих выполнение государственного оборонного заказа ...»

Эта норма определения размера прибыли по ГОЗ и возможности ее использования есть в ФЗ-275, но механизма ее реализации *до сих пор нет* ни в законе, ни в многочисленных подзаконных актах – постановлениях правительства по ценообразованию на ГОЗ.

Отсутствие в федеральном законе таких механизмов – это крупный системный недостаток, на который постоянно обращает внимание Президент РФ В. В. Путин: «Нельзя принимать недоработанные федеральные законы, не содержащие конкретных механизмы реализации основных положений закона исполнительными органами власти и предприятиями – правоприменителями. Каждый федеральный закон по Конституции имеет статус закона прямого действия».

Отметим, что ранее функции госрегулирования цен по заказам Минобороны России выполняла Федеральная служба по тарифам (ФСТ), которая своим приказом от 15 декабря 2006 г. утвердила «Методические рекомендации по определению уровня рентабельности при производстве продукции (работ, услуг) оборонного назначения, поставляемой по государственному оборонному заказу». Эти рекомендации действовали до 1 сентября 2015 г. и предусматривали следующее:

«Уровень рентабельности рекомендуется определять, исходя из расчетной величины прибыли, обеспечивающей условия эффективного функционирования организации и предполагающей противозатратный механизм формирования цены и прибыли.

Максимальный размер рентабельности как элемент государственного регулирования цен на продукцию оборонного назначения рекомендуется методикой

принимать в размере не более 20% от полной себестоимости ГОЗ.

В качестве основных критериев определения необходимого размера максимальной прибыли, обеспечивающей эффективность функционирования организации, рекомендовано принимать прибыль, обеспечивающую организации возможность сохранения производственного потенциала и его эффективного обновления (развитие ОПФ), проведения НИОКР в целях повышения технического уровня и качества продукции, приобретения объектов интеллектуальной собственности; поддержания систем социального обеспечения в пределах действующего законодательства (жилье для закрепления персонала предприятия, медобслуживание и т. п.).

Все вышеперечисленные цели использования прибыли по ГОЗ должны быть предусмотрены условиями государственного контракта».

Служба ФСТ и действие данного приказа существовали девять лет, затем они перестали действовать в 2015 г. Постановлением Правительства РФ.

С учетом поручений Президента РФ о правоприменительной практике ФЗ-275 и Постановления 1465 в отраслях ОПК полагаем целесообразным направить предложения общего собрания Ассоциации в адрес высшего руководства страны о необходимости внесения ряда изменений в законодательство Российской Федерации в целях ускорения развития и диверсификации предприятий ОПК.

Внести изменения в Постановление Правительства РФ № 1465, предусматривающие:

1. Формирование фиксированных (базовых) цен на серийную продукцию по ГОЗ в основном методом сравнимой цены. Ограничить применение затратного метода формирования цены на продукцию по ГОЗ – оставить только в исключительных случаях для определения цены на принципиально новую продукцию по ГОЗ, т. е. на продукцию, не имеющую аналогов на рынке – мировом и/или отечественном.

Метод сравнимой цены необходимо применять для всех изделий, имеющих аналоги на рынке, на основе анализа цен мирового и отечественного рынка на аналогичную продукцию за последние пять лет с приведением их к сопоставимому виду.

2. Механизм реализации одного из важнейших положений ФЗ-275, направленного на целевое использование основной части (не менее 3/4) фактической прибыли головного исполнителя по ГОЗ для обслуживания капитала, привлеченного этим предприятием ОПК на решение приоритетных задач, поставленных высшим руководством страны – на развитие производственных мощностей для выполнения ГОЗ и в целях диверсификации, освоения производства высоко-

технологичной гражданской продукции, импортозамещения и/или поставки продукции на экспорт.

Установить порядок расчета максимального размера рентабельности (прибыли) продукции головного исполнителя в размере 20% от полной себестоимости продукции по ГОЗ при обязательных условиях:

– в соответствующем разделе государственного контракта по ГОЗ должны быть отражены обязательства головного исполнителя по целевому использованию: не менее 3/4 чистой прибыли по данному ГОЗ должны идти на развитие и диверсификацию производства, на импортозамещение, на увеличение выпуска гражданской продукции и изделий ВТ на экспорт, а также на обслуживание привлеченного на эти цели капитала. (Основание – ст. 10 п.1 пп. 6. Федеральный закон «О государственном оборонном заказе» № 275-ФЗ);

– головной исполнитель предоставляет ежегодный отчет в адрес заказчика и в Департамент ОПК Минпромторга России о целевом использовании основной части чистой прибыли по ГОЗ (не менее 3/4) на указанные выше цели развития и диверсификации.

СПРАВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

За период с 2012 по 2018 г. по ФЗ-275 было оформлено шесть постановлений Правительства РФ, каждый раз отменяющих или изменяющих нормы предыдущего Постановления.

Особо надо отметить, что п. 35 Постановления Правительства РФ от 28.04.2015 № 407 «О порядке определения начальной (максимальной) цены государственного контракта...» был впервые введен расчет прибыли по ГОЗ затратным методом по печально известной всем предприятиям ОПК формуле 1% + 20%:

«П. 35. При определении начальной (максимальной) цены государственного контракта, а также цены государственного контракта с единственным поставщиком размер рентабельности (прибыли), учитываемый в цене на продукцию не может превышать 1% плановых затрат организации, представляющей предложение о цене, на оплату покупных комплектующих изделий (полуфабрикатов), а также работ (услуг) других исполнителей, участвующих в выполнении государственного контракта, и 20% остальных плановых затрат указанной организации на поставку продукции по государственному контракту (т. е. от стоимости собственных работ).

Постановление Правительства «О государственном регулировании цен на продукцию, поставляемую по ГОЗ...» предусматривает возможность применения различных методов определения цены на продукцию по ГОЗ, в т. ч. затратным, аналоговым (или методом сравнимой цены) или методом предельного уровня цены.

В постановлениях указано, что затратный метод применяется только при невозможности применить другие методы определения цены.

Постановлением Правительства РФ от 02.12.2017 № 1465 (шестым по счету) были признаны утратившими силу все предыдущие Постановления Правительства РФ по регулированию ГОЗ, но формула 1% + 20% сохранена.

В пп. 56–57 Постановления № 1465 предусмотрены некоторые меры по стимулированию снижения затрат при выполнении ГОЗ:

«П. 56. Отраслевые органы совместно с государственными заказчиками вправе разрабатывать и по согласованию с Федеральной антимонопольной службой утверждать в установленном порядке методические рекомендации по определению размеров плановой рентабельности (прибыли), позволяющие учитывать отраслевые особенности производства и реализации отдельных видов продукции по государственному оборонному заказу.

П. 57. В случае если в результате выполнения государственного контракта (контракта) на поставку продукции, указанной в п. 6 настоящего Положения, или его этапов фактическая прибыль организации превысила величину плановой рентабельности (прибыли), учтенную в составе цены государственного контракта (контракта), сформированной при его заключении в соответствии с установленным порядком, и при этом условия государственного контракта (контракта) выполнены надлежащим образом и в полном объеме, а также соблюдены требования законодательства о государственном оборонном заказе, фактическая прибыль не ограничивается величиной плановой рентабельности (прибыли), принятой в цене государственного контракта».

На практике положениями этих пунктов предприятия ОПК пока еще не успели воспользоваться.

Отмечаем противоречия позиции ФАС России, которая, представляя предприятиям ОПК на совещаниях и специальных семинарах эту новую якобы «мотивационную» модель ценообразования в сфере ГОЗ (изложенную в Постановлении № 1465), отметило, что предложенная модель ценообразования основана на принципах формирования затратным методом базовых цен на продукцию, поставляемую в рамках ГОЗ, с гарантией сохранения предприятиям ОПК экономии, полученной ими за счет снижения затрат на производство и реализацию продукции (подтвержденных документально).

Что не устраивает в позиции ФАС по данной проблеме:

А) Формирование базовой цены на серийную продукцию по ГОЗ ФАС будет осуществлять в ближайшие два года

только «затратным методом» с применением расчета нормативной прибыли по формуле $1\% + 20\%$, т.е. предприятия должны всеми силами стремиться при формировании цены затратным методом не сокращать свои затраты за счет кооперации и специализации, а увеличивать планируемые в цене затраты на собственное натуральное хозяйство по всем возможным, но неэффективным переделам.

Б) По мнению ФАС, вся экономика, полученная предприятием ОПК в течение последующих лет за счет мероприятий по оптимизации производства и снижению затрат, останется у него. Но Постановлением 1465 не регламентируется, как предприятие будет расходовать свою прибыль, т.е. прибыль по ГОЗ останется на предприятии, но будет использоваться по его усмотрению на любые цели (?). ФАС почему-то полагает, что любое ограничение направлений использования прибыли по ГОЗ существенно снижает стимулы предприятий и их акционеров к развитию компании и диверсификации производства.

Эта необязательность использования основной части прибыли по ГОЗ на развитие и диверсификацию – крупная системная ошибка ФАС, по сути противоречащая статье 10 ФЗ-275 п. 1, пп. 6.

В) ФАС в своих комментариях признает, что потенциальные инвесторы не придут в ближайшие два-три года в ОПК, так как у них не будет документально подтвержденной гарантии возврата вложенных в развитие предприятия и диверсификацию средств за счет расчетной прибыли этого предприятия по действующим контрактам ГОЗ, сформированной за счет экономии затрат.

То есть ФАС соглашается с тем обстоятельством, что в ближайшие два-три года предприятия ОПК не смогут привлечь инвесторов и получить внебюджетные инвестиции, необходимые для развития мощностей и диверсификации производства, а также на обслуживание капитала уже привлеченного ранее на эти цели.

Таким образом, с учетом дефицита бюджетных средств на диверсификацию возникает реальная угроза срыва предприятиями ОПК задач, поставленных Президентом, по ускорению развития мощностей ОПК для выполнения заданий ГОЗ и диверсификации.

Для сведения: Президент РФ утвердил перечень поручений по итогам совещания по вопросу диверсификации оборонно-промышленного комплекса, состоявшегося 21 ноября 2018 г.

Поручение Пр-2423 от 18 декабря 2018 г.:

1. Правительству РФ:

а) с учетом ранее данных поручений обеспечить внесение в законодательство Российской Федерации изменений, предусматривающих совершенствование регу-

лирования заключения и реализации специальных инвестиционных контрактов в целях производства продукции гражданского назначения организациями оборонно-промышленного комплекса. Срок – 1 марта 2019 г.

б) с учетом результатов выполнения подпункта «б» пункта 2 настоящего перечня поручений разработать необходимые меры государственной поддержки проектов (программ) производства продукции гражданского назначения, предусмотрев их финансирование в проекте федерального бюджета, в том числе на 2020 г. и на плановый период 2021 и 2022 гг. Срок – 1 октября 2019 г.

2. Правительству РФ на основании предложений государственных корпораций «Росатом», «Роскосмос», «Ростех» и других заинтересованных организаций:

а) с учетом ранее данных поручений утвердить прогнозные объемы производства продукции гражданского назначения организациями оборонно-промышленного комплекса в 2019–2021 гг. в отраслевом разрезе с разбивкой этих объемов по крупнейшим организациям оборонно-промышленного комплекса и интегрированным структурам с учетом перечней техники, технологий и оборудования, необходимых для реализации национальных проектов. Срок – 31 марта 2019 г.;

б) с учетом результатов выполнения подпункта «а» пункта 2 настоящего перечня поручений обеспечить формирование организациями оборонно-промышленного комплекса продуктовых рядов (номенклатуры производства) продукции гражданского назначения, а также проектов (программ) их производства в 2019–2021 гг. с разбивкой по рынкам сбыта и потребителям. Срок – 1 июня 2019 г. Ответственные: Борисов Ю. И., Лихачев А. Е., Рогозин Д. О., Чемезов С. В.

в) обеспечить ежегодное рассмотрение результатов реализации организациями оборонно-промышленного комплекса проектов (программ) производства продукции гражданского назначения на заседаниях Военно-промышленной комиссии Российской Федерации. Ответственный: Борисов Ю. И.

3. Минпромторгу России с учетом результатов выполнения подпункта «б» пункта 2 настоящего перечня поручений обеспечить формирование и ведение реестра проектов (программ) производства продукции гражданского назначения организациями оборонно-промышленного комплекса. Срок – 1 июля 2019 г. Ответственный: Мантуров Д. В.

4. Правительству РФ рассмотреть вопросы и принять необходимые решения, касающиеся:

в) дополнительных мер государственной поддержки вступления организациями авиационной и судостроительной отраслей оборонно-промышленного комплекса продукции

гражданского назначения, в том числе предусматривающих возможность:

– выделения в 2019–2021 гг. бюджетных ассигнований на докапитализацию российских лизинговых компаний, предоставляющих отечественные воздушные, морские и речные суда на условиях лизинга;

– предоставления субсидий российским производителям воздушных, морских и речных судов на начальных этапах освоения их серийного производства и стартовых продаж;

– реструктуризации задолженности по кредитам, полученным производителями российских воздушных, морских и речных судов в российских кредитных организациях на цели создания и производства указанных судов, по результатам проработки этих вопросов с участием Банка России, государственной корпорации развития «ВЭБ.РФ» (далее – ВЭБ.РФ) и ПАО «Промсвязьбанк»;

г) расширения сферы деятельности и докапитализации Фонда развития промышленности в целях финансирования инвестиционных проектов по диверсификации производства организаций оборонно-промышленного комплекса, в том числе в интересах реализации национальных проектов. Срок исполнения – 1 июня 2019 г.

д) увеличения объема средств федерального бюджета, направляемых на субсидирование процентных ставок по кредитам, предоставляемым российскими кредитными организациями и ВЭБ.РФ организациям оборонно-промышленного комплекса на реализацию проектов по производству продукции гражданского назначения. Срок исполнения – 1 июня 2019 г.

е) установления возможности субсидирования процентных ставок по кредитам, предоставляемым российскими кредитными организациями и ВЭБ.РФ покупателям на приобретение продукции гражданского назначения организаций оборонно-промышленного комплекса. Срок исполнения – 1 июня 2019 г.

ж) предоставления указанных в подпункте «д» пункта 4 настоящего перечня поручений субсидий на весь срок реализации инвестиционного проекта. Срок – 1 июня 2019 г. Ответственный: Медведев Д. А.

Владимир Путин, выступая с Посланием Федеральному Собранию, призвал к 1 января 2021 г. обновить нормативную базу ведомств, прекратив действие всех существующих сейчас нормативных актов в сфере контроля и надзора. За два года при участии бизнес-сообщества необходимо обновить нормативную базу ведомств, сохранив только те акты, которые отвечают современным требованиям.

Это можно назвать настоящей административной революцией. Это – очень важный шаг, который должен помочь всей экономике и ОПК страны динамично двигаться вперед. ■

ВВЕДЕНИЕ

Согласно программе развития судостроения и техники для освоения шельфовых месторождений на 2013–2030 гг., наиболее приоритетными направлениями развития отечественного судостроения в ближайшие десятилетия являются обеспечение эффективной эксплуатации Северного морского пути, превращение его в национальную транзитную магистраль, а также эффективное и экологически безопасное освоение морских месторождений углеводородов на континентальном шельфе в Арктической зоне Российской Федерации. Решение такой комплексной задачи требует в первую очередь строительства ледокольного флота и транспортных судов ледового плавания. Также одним из направлений государственной политики является содействие техническому перевооружению ведущих организаций отрасли в соответствии с мировым уровнем технологического развития*.

Ретроспективный анализ развития секционного метода строительства судов позволил выделить две тенденции: увеличение размеров и массы секций и увеличение объема насыщения их механизмами, трубопроводами, элементами устройств и т. п. до установки секций в корпус судна. Эти тенденции в определенной мере способствовали появлению блочного и модульно-агрегатного метода. При блочном методе судно формируется из заранее изготовленных блоков. Этот метод значительно сокращает продолжительность стапельного периода, несколько снижает трудоемкость работ за счет перенесения их в более благоприятные условия и способствует существенному сокращению общих остаточных сварочных деформаций корпуса судна, поскольку в этом случае значительно уменьшается количество и протяженность монтажно-сварных швов [1].

Сегодня в мире распространено строительство крупными насыщенными блоками, однако в России до сих пор используется вследствие особенностей стапельных мест блочно-секционный метод постройки судов. Для строительства крупных объектов в кратчайшие сроки в России необходимо добиться кооперационного взаимодействия при строительстве крупных интегрированных блоков точно в размер несколькими производителями и их поставки на головную линию сборки.

В России есть опыт кооперационного строительства кораблей, но практики коопераций с формированием крупных блоков в максимальной степени готовности нет в отличие от мировых тенденций. Внедрение кооперационного взаи-

КООПЕРАЦИОННОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПРЕДПРИЯТИЙ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ СУДОВ С УЧЕТОМ АКТУАЛЬНЫХ МИРОВЫХ ТЕНДЕНЦИЙ

К. О. Будников, инженер-технолог АО «Адмиралтейские верфи»,
контакт. тел. (812) 714 8982, +7(981) 728 4708

модействия важно и в целях импорто-замещения.

ПРИМЕРЫ АКТУАЛЬНЫХ МИРОВЫХ ТЕНДЕНЦИЙ

Приведем несколько примеров современных мировых тенденций в технологиях распределенного проектирования и строительства:

1. Испанская компания «Navantia» осуществляет кооперационную постройку крупными интегрированными блоками всех видов кораблей и сложных судов. В строительстве фрегата (рис. 1) было задействовано пять верфей из двух стран**.

2. Финская верфь «Arctech Helsinki Shipyard» строит арктический танкер пр.

NB515 (рис. 2). Особенность заключается в том, что кормовую часть строит в Литве компания «Western Baltija Shipbuilding», носовую и центральную части – в Хорватии компания «Brodotrogir», а надстройку и окончательную сборку всех частей выполняет верфь «Arctech». Благодаря такому кооперированию строительство танкера уменьшается до 1,5–2 лет.

АНАЛИЗ ОБЪЕКТОВ СТРОИТЕЛЬСТВА

Одним из приоритетных направлений государственной политики в области развития судостроительной промышленности является создание конкурентоспособной специализированной морской техники, в том числе судов и

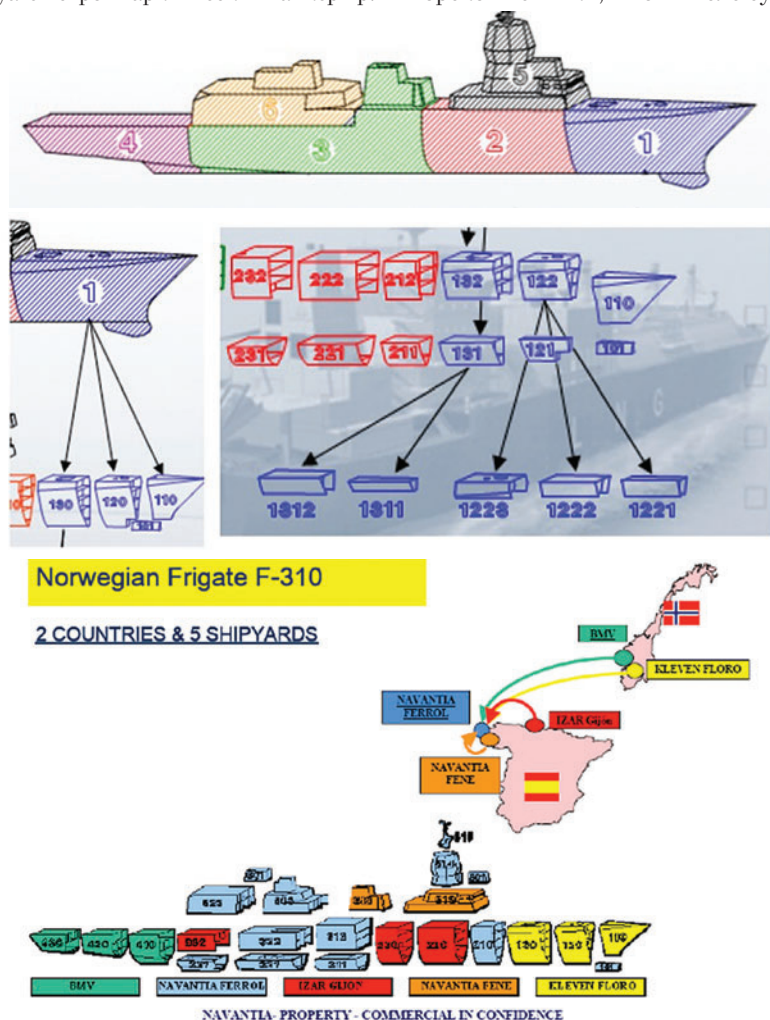


Рис. 1. Пример крупноблочного строительства в Испании

*Minpromtorg.ru

** Navantia.es/en

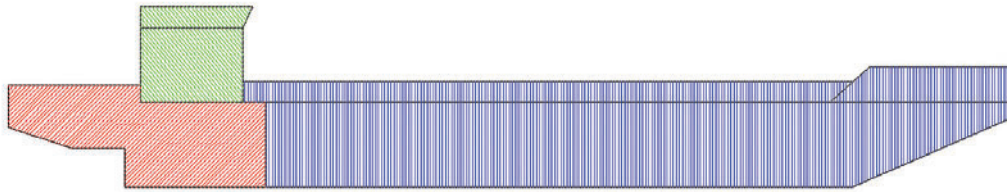


Рис. 2. Пример кооперационного взаимодействия при строительстве танкера NB515

плавсредства для освоения континентального шельфа и Северного морского пути, высокотехнологичных среднетоннажных транспортных судов и судов обеспечения, высокотехнологичных рыболовных судов, морских и речных научно-исследовательских и научно-экспедиционных судов.

Рассмотрим возможные к постройке объекты:
 модули завода СПГ $L \times B \times H$, м
 24–48×26–36×20–50
 и массой 3–12 тыс. т
 блоки ледоколов и танкеров ледового класса $L \times B \times H$, м 12×46×20,
 и массой 1,2 тыс. т [2].

Как правило, на заводе СПГ имеются установки предварительной очистки и сжижения газа, технологические линии производства СПГ, резервуары для хранения, оборудование для загрузки на танкеры, дополнительные службы для обеспечения завода электроэнергией и водой для охлаждения.

Состав работ предприятия-изготовителя модуля: изготовление металлоконструкций и трубных узлов, общая сборка модуля в комплексе с монтажом основного технологического оборудования, монтаж трубопроводов, испытания, нанесение покрытий.

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ СУДОСТРОИТЕЛЬНЫХ ЗАВОДОВ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО РЕГИОНА

Судостроительная отрасль Санкт-Петербурга и Северодвинска – одна из ведущих в экономике городов. В Санкт-

Петербурге находится 43 организации судостроительной отрасли, на которых работают более 50 тыс. специалистов, входящих в структуру АО «ОСК».

Проанализировав работу ряда предприятий, можно сделать вывод о том, что до сих пор преобладает стапельный метод постройки судов и техническое вооружение верфей не соответствует современному мировому уровню для быстрого строительства крупнотоннажных судов.

В настоящее время строительство крупных объектов предприятиями «ОСК» в связи с отсутствием необходимых производственных мощностей и технологии крупноблочного строительства с насыщением методом распределенной верфи не представляется возможным.

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ КООПЕРАЦИОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

В качестве примера организации работы распределенной верфи рассмотрим судостроительные предприятия группы «ОСК» в Северо-Западном регионе (см. табл.). Заказчик заказывает продукт у компании, компания, проанализировав возможности предприятий, выбирает головную линию сборки блоков и распределяет работы между остальными предприятиями (рис. 3).

СОЗДАНИЕ ЕДИНОГО ЦИФРОВОГО И ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ПРОСТРАНСТВА

Специализированные системы автоматизированного проектирования

(САПР) со встроенными судостроительными модулями позволяют разрабатывать комплексные решения по постройке судов от начала проектирования до завершения строительства. Системы не только упрощают моделирование судов, но также оптимизируют операции и процессы на верфи и обслуживания и поддержки судна на протяжении его жизненного цикла.

Проблема в том, что большинство российских судостроительных предприятий работают с разными САПР и ограничены в возможности самостоятельного выбора платформы, так как сотрудничают с проектными бюро и институтами, которые используют удобное для себя программное обеспечение. В связи с этим предприятия вынуждены использовать аналогичные САПР либо конвертировать результаты проектной работы при помощи программ сторонних разработчиков. Это затрудняет внедрение современных методов проектирования и организации работ.

Создание единого цифрового пространства позволит улучшить взаимопонимание между конструкторскими бюро и заводами-строителями и существенно сократить трудоемкость работ.

Организация единого измерительного пространства и единого измерительного контроля предприятий при кооперации позволит повысить технологическую точность, устранить припуски и причерчивание.

Проблема точности изготовления корпусных блоков зависит от погреш-

Таблица

Возможности предприятий «ОСК»*

Характеристика	АО «Адмиралтейские верфи»	ПАО «СЗ «Северная верфь»	ООО «Балтийский завод-Судостроение»	ПАО «Выборгский судостроительный завод»	АО «ЦС «Звездочка»
Наличие эллингов/стапелей	2 стапеля, 1 плавучий док	Эллинг на 4 стапеля, 3 стапеля, 2 плавучих дока	2 стапеля, эллинг	Стапель, 3 блока эллинга, баржа «Атлант»	2 эллинга, док-камера
Длина достроечных набережных, м	400	870	900	300	1400
Крановое оборудование, грузоподъемность, т	4 крана, 100, 3 крана, 50, плавкран, 175	2 крана, 50, краны, 100, краны, 32	3 крана, 50, плавкран, 350	2 крана, 50, краны, 32	2 крана, 15, 1 кран, 30, 1 кран, 80, 2 крана, 100
Возможный дедевейт судов DW, тыс. т	≤ 70	≤ 12	≤ 100	≤ 15	≤ 15

*Aosk.ru, Vyborgshipyard.ru, Admship.ru, Bz.ru, Nordsy.spb.ru, Star.ru



Рис. 3. Пример распределенной верфи «ОСК»

ностей изготовления отдельных деталей, сварочных деформаций, а также конечной сборки рабочими. Свести к минимуму проблему точности можно несколькими способами: распространением контроля сборки с использованием электронно-оптических измерительных систем и совершенствованием методики этих измерений; совершенствованием расчетов сварочных деформаций, в частности, актуализацией предупреждений по результатам изготовления конструкции; повышением точности резки и гибки деталей; совершенствованием средств позиционирования при монтаже.

СОЗДАНИЕ ЦЕНТРОВ КОМПЕТЕНЦИЙ

Центр компетенций – это структура, нацеленная на улучшение, модернизацию производства, осуществляющая поиск, систематизацию информации, важной для предприятий, маркетинговый анализ, анализ узких мест и внедрение в производство передовых производственных технологий, обучение и повышение квалификации персонала, анализ и исследование тенденций рынка судостроения.

При строительстве крупных и серийных проектов имеет смысл создавать специализированные производства на базе существующих производств одного предприятия для изготовления большого числа однотипных изделий. Технологическая подготовка предприятий находится на разном уровне (разные возможности), работа же на одном предприятии позволит повысить точность изготовления изделий, а также сократить время на подготовку к производству. Минус этого решения – в

том, что могут происходить задержки поставок по разным причинам.

МОДЕРНИЗАЦИЯ МОЩНОСТЕЙ

Строительство блоков судов предполагает поточно-позиционные формы организации постройки судов. В связи с этим несомненный интерес представляют достижения в области совершенствования поточно-позиционной постройки судов, прежде всего технологической подготовки производства. Поточно-позиционная постройка судов требует тщательной подготовки производства на основе специально разработанного организационно-технологического проекта.

В основу разработки этих проектов должны быть положены следующие общие принципы:

- проект должен разрабатываться только для серийных судов;
- документация должна разрабатываться только для производств цехов верфи, работающих в едином ритме выпуска серийных судов;
- выбранный вариант должен обеспечивать выполнение заданной программы постройки судов при соблюдении следующих оптимальных показателей:
- затраты по капитальным вложениям на подготовку производства;
- продолжительность постройки судна;
- трудовые затраты на постройку судна;
- пропускная способность стапельных и других производственных сооружений [3].

ВЫВОДЫ

Для быстрого и качественного строительства крупных заказов кооперационное взаимодействие необходимо. Для

организации слаженной кооперации предприятиям следует принять единые стандарты производства, создать единое цифровое пространство для обеспечения взаимопонимания всех КБ и верфей, используя системы автоматизированного проектирования, распространенных на российских предприятиях и имеющих модули, которые могут эффективно решать управленческие задачи. Следует повысить технологическую точность, сделать это можно, создав единое измерительное пространство на предприятиях. Это позволит снизить себестоимость выпускаемой продукции, реализовать новые проекты, ускорить время выпуска продукта на рынок, снизить долю бумажного документооборота. Без этого российские предприятия будут неконкурентоспособны в строительстве крупных объектов на международной арене.

ЛИТЕРАТУРА

1. Александров В. Л., Перельгин А. В., Соколов В. Ф. Судостроительное предприятие в условиях рынка: проблемы адаптации и развития. – СПб.: Судостроение, 2003.
2. Александров В. Л., Бузаков А. С., Евдокимов Г. П., Кутейников М. А., Кучменок С. И., Петров А. А., Рогозин В. А. Мировое и российское танкерное судоходство и судостроение. – В 2 т. – Т. 1, 2 – СПб.: АО «ЦТСС», 2016. – 280 с.
3. Модульная постройка судов/Адлерштейн Л. Ц., Бавыкин Г. В., Васильев А. Л., Воеводский А. С., Дурмашкин С. Ш., Куперштейн В. И., Мильго А. А., Нечев Г. М., Розин А. Я., Соколов В. Ф., Шеннинг З. Р. – Л.: Судостроение, 1983. – 320 с. ■

Древесина – одна из древнейших, универсальных конструкционных строительных материалов. До середины XIX в. все морские и речные корабли и суда строились только из дерева. В настоящее время данный материал широко применяется в судостроении и судоремонте. Из дерева изготовлены корпуса некоторых типов судов (например, базовые тральщики пр. 1265), настилы палуб, оборудование и отделка помещений, корабельная мебель, обшивка цепных ящиков, обрешетки, зашивка изоляции, межкаютные выгородки, детали корабельных устройств, аварийно-спасательное имущество и др.

По мере развития металлургии и других отраслей промышленности железо, затем сталь, легкие сплавы и, наконец, композитные материалы стали вытеснять дерево как конструкционный материал. Это касается практически всех типов конструкций и изделий для судостроения, но на исходе второго десятилетия XXI в. для покрытия открытых участков палубы морских судов дерево (преимущественно сосна) остается единственным материалом, который официально допущен к применению.

Однако при освидетельствовании кораблей и судов ВМФ, в том числе деревянных настилов, выявлены их недолговечность, быстро изнашиваемость и еще ряд недостатков, ставящих под сомнение целесообразность их использования в современных судостроении и судоремонте.

В своей повседневной деятельности, выполняя работы по техническому сопровождению сервисного обслуживания, ремонта, модернизации на кораблях (судах) ВМФ иностранной постройки, АО «51 ЦКТИС» совместно с головными исполнителями госзаказа (ГОЗ) столкнулся с проблемой замены деревянного настила открытых участков палуб. Предприятия-исполнители ГОЗ, выполняющие ремонт и обслуживание судов, регулярно обращаются к нам с вопросом о возможности, с учетом требований руководящей и нормативной документации, подобрать альтернативную замену деревянным настилам.



Рис. 1. Поврежденные деревянные настилы вспомогательных судов ВМФ

АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ ДЕРЕВЯННЫХ НАСТИЛОВ ОТКРЫТЫХ УЧАСТКОВ ПАЛУБ НАДВОДНЫХ КОРАБЛЕЙ И СУДОВ ВМФ

*А.С. Мешков, начальник сектора АО «51 ЦКТИС»,
контакт. тел. (812) 315 4945*

В чем же заключается необходимость на палубах большого количества кораблей и судов ВМФ из года в год демонтировать прогнивший и разрушенный деревянный настил и устанавливать на это место доски из свежей древесины? Почему этот дешевый и относительно прочный конструкционный материал для настилов открытых палуб, одновременно обладающий огромным количеством недостатков, на фоне быстрого и всепоглощающего процесса развития и инноваций до сих пор не имеет аналогов в нашей отрасли?

В данной статье предлагается найти ответ на эти вопросы, проведя анализ опыта эксплуатации, ремонта, а также поиск альтернативных материалов для замены изношенных (поврежденных) деревянных настилов открытых участков палуб.

В современном судостроении деревянные настилы открытых палуб применяются редко. Ремонту и замене их не уделяется достаточно внимания по вполне понятным причинам. В заводских условиях заменить несколько десятков метров насквозь прогнивших, а местами и отвалившихся деревянных досок намного проще и дешевле, чем искать более качественную замену, согласовывать ее с большим количеством контролирующих органов, а затем и отвечать за проделанную работу. По этой причине за десятки лет и требования, изложенные в нормативной документации, к палубным настилам не пересматривались. Согласно действующей руководящей и нормативной документации (РД5.9679–89 «Настилы палубные

деревянные надводных судов и кораблей. Технические требования. Типовой технологический процесс монтажа», Правила РМРС, Ограничительный перечень № 43883–2016 и т. д.) для покрытия открытых участков открытых палуб предусмотрено применение брусков из сосновых пород деревьев $\delta = 40\text{--}75$ мм сорта I (II) по ГОСТ 8486–86.

Конечно, древесина обладает такими положительными свойствами, как относительно высокая механическая прочность, малая объемная масса, легкая обрабатываемость простыми инструментами, способность легко и надежно соединяться в узлы и конструкции с помощью гвоздей, болтов и других креплений, а также склеиванием, хорошие теплоизоляционные и звукоизоляционные качества, способность сопротивляться воздействию кислот и солей, немагнитность и диэлектричность, легкодоступность и низкая стоимость.

Вместе с тем древесина характеризуется и рядом недостатков, таких как анизотропность физических и механических свойств, легкая возгораемость, способность изменять размеры и форму в результате воздействия влажности в определенных пределах, а также загнивать, повреждаемость древоточцами (рис. 1).

Подробно процессы разрушения деревянных конструкций в составе корпуса судна, методы ремонта, снижения степени их горючести и продления срока службы изложены, например, в ряде справочников [1, 2].

Попробуем разобраться, для каких целей на открытых палубах морских судов устанавливается деревянный настил?

По данным различных источников (государственные и отраслевые стандарты, справочники по судостроению и судоремонту, статьи журналов и публикации в сети интернет), деревянный настил устанавливают на открытых палубах с целью:

- предохранения металлических настилов от коррозии;
- устранения скользкости металлических настилов;
- улучшения эстетики;
- изоляции нижележащих помещений;

- смягчения ударных нагрузок, защита от повреждения тяжелыми грузами палубы и сложного дорогостоящего оборудования, которое необходимо погрузить на нее;
- вследствие преждевременного износа металлических настилов.

Для предохранения открытых металлических палуб от *коррозии и износа* на сегодняшний день существует огромный ряд различных материалов: эмалей, лаков, эпоксидных покрытий, самовыравнивающихся полов и др. Все эти материалы вполне способны защитить от коррозии и износа открытую металлическую палубу на определенный производителем срок.

Для устранения *скользкости* в лакокрасочные и другие покрытия добавляют специальную противоскользкую добавку, решающую эту проблему.

Из *эстетических соображений* использовать материал, легко поддающийся гниению, разбуханию и усушке, а также обладающий высокой гигроскопичностью в условиях высокой влажности и переменчивого климата, нецелесообразно.

Для *изоляции* ниже лежащих помещений используется современная негорючая теплоизоляция с внутренней стороны палубы.

А вот конструкций и материалов, позволяющих *смягчить ударные нагрузки и защитить от повреждения* открытую палубу при погрузке на нее тяжелых и крупногабаритных изделий, а также для сохранения сложного дорогостоящего оборудования при погрузке его на палубу, в настоящее время руководящей и нормативной документацией ВМФ не предусмотрено.

Согласно Правилам РМРС днище грузовых трюмов сухогрузных судов оборудуют деревянными настилами, а на участках под грузовыми люками – в усиленном варианте. Если приравнять конструкцию открытой палубы, на которую грузят тяжелые грузы, к днищу грузового трюма, то требование РМРС будет отвечать назначению и способу защиты данной конструкции.

Проведя предварительный анализ рабочей конструкторской документации, имеющейся в архиве АО «51 ЦКТИС», а также результатов выполняемой многими специалистами многолетней работы по продлению сроков службы кораблей и судов ВМФ, были выявлены следующие типы и классы действующих судов ВМФ, на которых по проекту предусмотрена установка деревянных палубных настилов:

1. Основными представителями «Кораблей специального назначения и судов обеспечения» (1925 ЕКПС), при строительстве которых на открытых участках палуб применяется деревянный настил

(из сосны), являются суда навигационно-гидрографического обеспечения: *гидрографические суда пр. 862, 862/II, 865, малое гидрографическое судно пр. 872* (спроектированы и построены в Польше по Правилам Регистра СССР) и *малое гидрографическое судно пр. 19910* (спроектированы КБ «Вымпел», построены на Рыбинском ССЗ). Из этого класса выделяется также *килекторные суда пр. 141 и 419* (спроектированы и построены в ГДР), *кабельные суда пр. 1122* (спроектированы и построены в Финляндии), *плавучие краны типа ППЭК-30* (спроектированы и построены в Финляндии) и *учебные корабли пр. 887* (спроектированы и построены в Польше по Правилам Регистра СССР).

2. Из класса 1915 «Сухогрузные и наливные суда» выявлен *технический танкер пр. 11510* (КБ «Вымпел», Выборгский ССЗ).

3. Из класса 1940 «Малые суда» можно выделить *большой гидрографический катер пр. 376У* (Ярославский ССЗ).

4. В грузовых трюмах деревянный настил применен на следующих заказах:

- большой морской сухогрузный транспорт пр. 550 (ЦКБ «Айсберг», Херсонский ССЗ);
- морской буксир пр. 733 («Петрозавод»);
- большой гидрографический катер пр. 19920 (КБ «Вымпел», Рыбинский ССЗ).

На боевых и десантных кораблях (класс 1905 ЕКПС) деревянные настилы старались не применять как во времена СССР, так и РФ, что вполне логично. При ведении боевых действий дерево вспыхнет в первую очередь.

Рассмотрим основное назначение и характер выполняемых задач вышеуказанными типами судов.

Лоцмейстерские гидрографические суда предназначены для установки и обслуживания береговых и плавучих средств навигационного оборудования (маяки, радиомаяки, светящиеся знаки, радиолокационные отражатели, буи и др.). В своей работе они используют средства спуска, подъема и контроля средств навигационного оборудования, перезарядки источников питания, площадку для вертолета, помещения газобаллонов и др.



Килекторное судно (килектор) – вспомогательное судно для подводных грузовых работ: постановки мертвых якорей, бонов, расчистки фарватеров, подъема затонувших объектов и др.

Кабельное судно – вспомогательное судно для прокладки, ремонта и обслуживания морских (океанских) линий связи (электропередачи) и оснащен краном г/п 5 т.

Плавающий кран выполняет самые разнообразные грузовые операции для обеспечения районов базирования ВМФ.

Технический танкер пр. 11510 предназначен для приема, хранения переработки и выдачи жидких и твердых РАО в контейнерах и оснащен краном грузоподъемностью 10 т.

Исходя из вышеизложенного, логично предположить, что деревянный настил на открытых участках палуб (днище грузового трюма сухогруза частично можно считать открытым участком) преимущественно устанавливается на объектах, деятельность по прямому назначению которых каким-либо образом связана с поднятием и опусканием тяжеловесных грузов. Эта взаимосвязь подкрепляется частым использованием дерева для обшивки цепных ящиков на кораблях и судах.

На учебном корабле пр. 887 деревянный настил установлен на навигационной палубе. Необходимость применения деревянного настила, по большому счету, обусловлена эстетической составляющей (для курсантов вузов ВМФ).

Рассмотрим несколько примеров вспомогательных судов ВМФ, имеющих предусмотренные проектом деревянные настилы открытых участков палуб:

На гидрографическом судне «Донузлав» проекта 862 деревянные настилы применены в основном в районах работы судовых палубных механизмов, основных подъемных механизмов на рабочей палубе в кормовой части в районе грузового трюма и бортовых кран-балок на шлюпочной палубе (рис. 2).

На малом гидрографическом судне ГС-86 пр. 872 и кабельном судне «Сетунь» пр. 1122 деревянные настилы при-



Рис. 2. Деревянные настилы на верхней палубе ГС «Донузлав»

менены в районе работы грузового крана в носовой части в районе грузового трюма (рис. 3 и рис. 4).

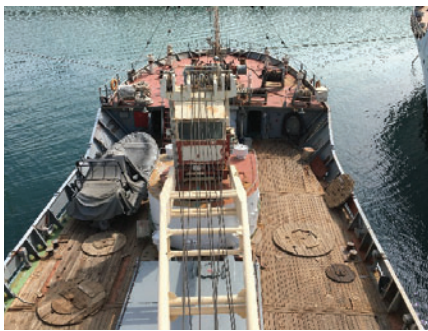


Рис. 3. Деревянный настил на грузовой палубе ГС-86



Рис. 4. Деревянный настил на грузовой палубе КС «Сетьунь»

На килекторном судне КИЛ-31 пр.419 и плавучем кране ПК-103030 типа ППЭК-30 деревянные настилы применены в районе работы основного грузового оборудования (рис. 5 и рис. 6).



Рис. 5. Деревянный настил на верхней палубе КИЛ-31



Рис. 6. Деревянный настил на грузовой палубе ПК-103030

Остальные открытые участки металлических палуб вышеуказанных судов иностранной постройки имеют только лакокрасочное покрытие, что

подтверждает необходимость применения деревянных настилов в районах с вероятной возможностью повреждения палубы при погрузке тяжелых грузов.

Рассматривая МГС «Вайгач» пр. 19910 как наиболее современный из гидрографических судов (отечественной постройки 2006 года) выясняется, что для настила верхней палубы в районе грузового трюма (рабочая палуба) применяется чакковый деревянный настил из доски толщиной 50 мм, а в грузовом трюме – продольный деревянный настил на лагах и фризových брусках из досок толщиной 40 мм (19910-053-003 «Схема покрытий палуб»).

Однако согласно спецификации 19910.360203.002 (для зав. № 2001) для защиты открытых палуб в районе рабочих мест и в грузовом трюме выполняется резиновый настил плитами «Рездор» ТУ 38.108036–87, которые предназначены для покрытия пола спортивных сооружений, животноводческих помещений (поставщик – «АРС» Санкт-Петербург).

В 2015 г. капитаном МГС «Вайгач» пр. 19910 в АО «51 ЦКТИС» была предоставлена информация о необходимости текущего ремонта 20 м² данного покрытия на рабочей палубе и в трюме. При всех достоинствах этого покрытия (дешевизна, легкость монтажа-демонтажа, мягкость, ребристая поверхность, устойчивость к гниению и отсутствию гигроскопичности) эстетическая составляющая данного покрытия оставляет желать лучшего. Это обусловлено условиями его применения (см. выше).

Анализировать применение деревянного настила на еще большем количестве кораблей и судов нашего флота нецелесообразно, так как закономерности, выявленные в ходе данного исследования, очевидны. Вывод по его результатам такой:

пиломатериалы хвойных пород для покрытия металлических настилов палуб кораблей и судов ВМФ **предусмотрено использовать:**

- для защиты палуб от повреждения тяжелыми грузами и смягчения ударных нагрузок в районах работы тяжелых грузоподъемных механизмов и грузовых трюмов;
- для смягчения ударов о палубу сложного дорогостоящего судового (портового) оборудования, например, автономных глубоководных аппаратов, имеющихся на большинстве единиц спасательных, судоподъемных и исследовательских судах;
- из эстетических соображений, как дань традиций российского и советского кораблестроения в некоторых районах нахождения командного со-

става флота (корабля) на небольших участках палуб и мостиков.

После проработки данного вопроса логично было бы предположить, что для замены предусмотренных всеми руководствами и нормативными документами пиломатериалов хвойных пород для покрытия металлических настилов палуб необходимо подобрать материал, который по своим механическим свойствам (прочность, твердость, жесткость, упругость) не уступает дереву, легко обрабатывается при монтаже и имеет небольшой вес. Современные полимерные материалы тем и отличаются от природных, что для получения необходимых характеристик достаточно изменить количественный состав компонентов и достичь без больших дополнительных затрат нужного результата за довольно короткий срок.

Кроме того, этот материал по физическим свойствам (определяющим внешний вид цвет, блеск, текстура) напоминает бы дерево, так как по традиции военно-морского флота нашей страны еще со времен парусных кораблей подразумевается наличие деревянного настила, эстетически более подходящего на фоне преимущественно стальных конструкций шарового цвета. Однако право выбора внешнего вида настила, по нашему мнению, должно оставаться за личным составом корабля.

Данный материал должен исключать гниение, разбухание, усушку, высокую гигроскопичность, а не просто превосходить настилы из пиломатериалов хвойных пород, срок службы которых в условиях повышенной влажности и нагрузок очень невелик.

Такой материал должен соответствовать государственным санитарно-эпидемиологическим нормам и правилам РФ, а также нормам по показателям пожароопасности (горючесть, дымообразующая способность, распространение пламени, токсичность) и производиться на территории РФ.

Импортный материал, превосходящий по своим качествам наши материалы, не исключается из числа возможных, но должен рассматриваться в самую последнюю очередь.

На сегодняшний день по большому счету есть альтернатива замены дерева. В качестве одного из таких материалов может быть использована террасная доска из древесно-полимерного композита (ДПК) на основе ПВХ, которая более долговечна, чем хвойные породы дерева, за счет отсутствия гниения и стойкости к износу.

Впервые на кораблях и судах ВМФ настил из ДПК был установлен на учебном корабле «Перекоп» (рис. 7) в ходе ремонта в августе 2016 г. в г. Варна (Республика Болгария). Эксплуатация про-

ходила в различных климатических условиях, от экваториальных до полярных широт.

По сообщению командира, за время эксплуатации настил из ДПК показал себя как прочное, нескользящее, стойкое к перепадам температур, не требующее ухода покрытие, которое, к тому же, защищает металлическую палубу от нагрева.



Рис. 7. Верхняя палуба УК «Перекоп» с покрытием террасной доски из ДПК

Единственным отрицательным свойством, как показала эксплуатация настила из ДПК, является хрупкость, т. е. имелись случаи возникновения повреждений при ударных нагрузках. Этот факт, по большому счету, связан с тем, что болгарская сторона установила пустотелую террасную доску.

Также в порядке опытной эксплуатации в 2018 г. АО «51 ЦКТИС» по запросу ФГУП «13 СРЗ ЧФ МО РФ» (г. Севастополь) было согласовано применение полнотелой террасной доски из ДПК на открытых участках палуб ремонтруемых на заводе судов Черноморского флота РФ: гидрографического судна «Донузлав» и плавучего крана ПК-79050.

Опыт применения данного материала, рекомендации личного состава этих судов, наряду с письмом командира УК «Перекоп», будут определять принятие

решения о возможности массового применения террасной доски из ДПК взамен изношенного (поврежденного) деревянного настила.

Однако доски из ДПК производятся толщиной до 30 мм. Это объясняется тем, что используется этот материал в основном в промышленно-гражданском строительстве, есть примеры установки на палубах речных прогулочных судах. Для покрытия же открытых участков верхней палубы требованиями действующей руководящей и нормативной документацией предусмотрено применение брусков из пиломатериалов толщиной 40–75 мм.

Толщины 25 мм для террасной доски из ДПК в конструкции палубных настилов вполне достаточно, так как такие свойства, как прочность при растяжении и сжатии, модуль упругости, не зависят от толщины, поскольку рассчитываются на единицу площади сечения, к тому же масса ее почти в два с половиной раза больше, чем у дерева. Установка террасной доски из ДПК толщиной менее чем заложенная в проекте в некоторых случаях потребует дополнительных трудозатрат на работы по изменению слесарно-корпусного и доизоляционного насыщения палуб под их установку, однако эта проблема вполне решаема. Изготовление же доски из ДПК толщиной от 40 мм технически необоснованно, а как индивидуальный заказ потребует использования производителем дополнительного дорогостоящего оборудования.

Применение террасной доски из ДПК после определения предельно допустимых минимальных и максимальных толщин материала, подробного изучения ее физико-механических свойств и опыта эксплуатации позволит более качественно выполнять ремонт настилов открытых палуб и сократить затраты на ремонт (замену) деревянных настилов открытых палуб на кораблях (судах) ВМФ иностранной постройки.

Занимаются ли какие-либо организации вопросом замены дерева для палубных настилов на более современные аналоги, неизвестно, так как он находится на «последнем» месте по важности и

остается на сегодняшний день нерешенным. Но этот вопрос не может быть «в отрыве» от всего комплекса задач по обслуживанию и ремонту кораблей и судов ВМФ, поскольку это касается большого количества судов, находящихся в эксплуатации.

Для решения вопроса замены дерева для палубных настилов на террасную доску из ДПК необходимо:

- проведение экспертизы и выдача заключения ЦНИИ КМ «Прометей» как крупнейшего межотраслевого материаловедческого центра страны, признанного лидера в области разработки принципиально новых материалов и технологий;
- проведение сертификации применяемых материалов по требованиям РМРС;
- принятие решений судовладельцами;
- внесение соответствующих изменений в руководящие и нормативные документы, касающиеся данного вопроса, с привлечением ведущих НИИ и КБ, судостроительных и судоремонтных предприятий, а также производителей (поставщиков) данных материалов.

Подводя итог данной статьи, можно сказать, что вопрос о применении неметаллических материалов для палубных настилов на сегодняшний день очень актуален. Этим должны заинтересоваться не только организации, выполняющие задачи по ремонту и замене деревянных настилов, но и проектные КБ, разрабатывающие новые корабли и суда для ВМФ и гражданского флота.

Решение его позволит добиться увеличения межремонтных и полных сроков для палубных настилов, надежной защиты металлической палубы от повреждений и обеспечить палубу на длительное время красивым внешним видом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Технология судостроения и судоремонта / Под ред. И. М. Гуревича. – М.: Транспорт. – 1976.
2. Технология судоремонта / Под ред. Ф. С. Держилова. – М.: Транспорт. – 1970. ■

Актуальность и распространение системы управления риском утомления – **Fatigue Risk Management System (FRMS)**. В последние годы за рубежом FRMS интенсивно разрабатываются для предприятий прежде всего тех отраслей, в которых инциденты при утомлении работников связаны с большими людскими, материальными и финансовыми потерями (авиационная промышленность и авиация [8], железнодорожный и автомобильный транспорт [10], нефтепереработка, энергетика [13], добывающие отрасли [11]). В ряде стран законодательно закреплено, что усталость* представляет собой опасность, которой необходимо управлять на рабочем месте. Усталость воздействует на эффективность, безопасность и здоровье работников; влияет на удовлетворенность трудом и текучесть кадров, на настроения и коммуникации работников, их поведение, внимательность и готовность к действиям, качество принятия решений. Вместе с тем хроническое утомление является первопричиной, начальной стадией и сопутствующим компонентом почти всех заболеваний, связанных с профессией [1]. Снижение качества результатов деятельности при усталости – одна из универсальных форм поведенческих адаптаций, которая отмечается всегда и при всех видах труда, когда работник, чтобы избежать большого утомления, вынужден экономить усилия (физические, умственные, эмоциональные), что приводит к увеличению рисков инцидентов [1, 3]. Существует два различных подхода к управлению утомлением: директивный (работники должны выполнять предписанные режимы работы и отдыха) и FRMS, которая согласована с регулятором.

FRMS как элемент организации судостроительного производства нацелена на управление рисками усталости, базируется на множестве источников информации об утомлении и обеспечивает интегральную, комплексную защиту от его риска. Эффективность FRMS зависит от ее четкой подотчетности, беспристрастности и справедливости, интеграции в повседневную деятельность предприятия [14]. При решении вопросов о здоровье работников, на которое может влиять их усталость, полезно руководствоваться следующими принципами [13]:

- оценка здоровья, программы скрининга и контроль заболеваемости с учетом конкретного риска для здоровья работников;
- гарантии одинакового доступа для обучения, тренинга;

* В отличие от англоязычных стран в России в физиологии труда различают понятия усталость (субъективные показания) и утомление (объективные характеристики).

СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РИСКОМ УСТАЛОСТИ НА РАБОЧЕМ МЕСТЕ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ СУДОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Г.А. Сорокин, канд. биолог. наук, ст. науч. сотрудник
ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья
Роспотребнадзора»,

В.Л. Суслов, канд. мед. наук, врач-терапевт Медицинского центра
АО «Адмиралтейские верфи»,
контакт. тел. (812) 717 0028

- помощь работнику и оценка здоровья и профилактики рисков;
- оценка различных личных причин усталости, требующих профессионального, тщательного и иногда конфиденциального управления;
- доступ сотрудников к системе отчетности об усталости;
- информирование семьи сотрудников о важности сна при сменной работе, о том, как обеспечить сон в дневное время, о последствиях его нарушения;
- использование разнообразных показателей эффективности работника, например, дней невыходов на работу из-за усталости.

Существуют различные определения содержания FRMS. В обзорах [10,14] FRMS определена как «научно обоснованная, выверенная данными наблюдения, гибкая система управления утомлением, включающая не только нормирование часов работы и отдыха, но и учет уровня экспозиции факторов риска и природы выполняемых трудовых действий». Более кратко «FRMS – это система управления риском, связанным с усталостью». Организации оценивают риски, определяют меры, соответствующие их приемлемому уровню, с учетом экономических потерь, связанных с утомлением. В недавнем обзоре «Практика управления рисками усталости работников: преимущества и проблемы» [6] дано несколько отличное определение FRMS, а именно как риск-ориентированная система контроля, которая определяет, наблюдает и управляет риском усталости, насколько это практически осуществимо с тем, чтобы сотрудники работали с адекватным уровнем бдительности (alertness)».

Ключевые характеристики FRMS [14]: научная обоснованность; всесторонняя разработанность на основе данных исследований, методики, процедуры, системы, политики; интегрированность в системы управления

охраной труда и здоровья, управление персоналом, организацию и оплату труда.

При использовании FRMS важны сотрудничество всех заинтересованных сторон (работчие, специалисты, руководители, работодатели); непрерывное улучшение – прогрессивное уменьшение риска с использованием обратной связи и модификацией; точное обоснование рентабельности инвестиций; ответственность высшего руководства организации.

Первые FRMS базировались на политике компании по управлению утомлением; включали процедуры управления риском утомления; технологии получения от сотрудников информации об усталости, а также исследования роли утомления в инцидентах; тренировку и обучение персонала управлению утомлением; технологию внутреннего и внешнего аудита. Установлены четыре базовых принципа разработки FRMS [13]:

1) соответствие специфике рабочих мест, природе и уровню риска утомления [6]; единая FRMS отсутствует. Для рабочих мест со стандартным режимом труда в экологически благоприятных условиях достаточно малой и простой системы [13];

2) базирование на оценке риска и фактах;

3) использование принципа взаимной ответственности руководителей, специалистов, рабочих;

4) интегрированность в существующую на предприятии систему управления рисками.

Основные положения FRMS [6]:

1. Документированное обязательство по системному управлению рисками, связанными с усталостью.

2. Положение об области применения FRMS.

3. Четкое описание ролей и обязанностей различных заинтересованных сторон в их организации.

4. Положение о рабочем времени и сверхурочных, в котором излагаются

процедуры, которые должны соблюдаться при работе сверхурочно.

5. Развитие системы управления рисками усталости: обучение, осведомленность и коммуникации.

6. Процессы управления рисками усталости: идентификация опасности, оценка риска, контроль.

7. Процедура самооценки работниками усталости, что требует изменения организационной культуры на многих предприятиях (усталость распространена, поскольку она недостаточно контролируется).

8. Обязательный анализ усталости при расследовании инцидентов, поскольку она, как правило, является их непосредственной причиной.

9. Управление проблемами, связанными со здоровьем работников, которое может влиять на усталость. Зависимость усталости, здоровья, работоспособности и благополучия работников является неоднозначной и различается в разных организациях.

10. Процесс аудита и постоянного совершенствования FRMS.

Защита от усталости включает пять уровней [14]: решение кадровых вопросов в управлении рисками усталости; режимы и графики работы; обучение работников; управление расстройствами сна работников; защита от негативных факторов производственной среды; индивидуальная оценка рисков их снижения. В [11] даны рекомендации работникам, как избежать и уменьшать риск усталости.

Разработка FRMS должна вестись с учетом специфики рабочих мест предприятия и рекомендаций. Например, в [11] описана стратегия эффективного контроля рисков усталости работников добывающих отраслей, основанная на консультациях с персоналом предприятий: идентификация инцидентов усталости; оценка риска утомления в соответствии с существующими научными данными и практическим опытом; внедрение эффективных процедур контроля рисков, регулярный мониторинг и обзор эффективности контроля. В настоящее время существует значительное количество методических руководств по разработке FRMS в разных отраслях промышленности с примерами их внедрения [6]. Вместе с тем нами не выявлены аналогичные разработки для предприятий судостроения.

В обзоре FRMS [14] утомление определяется как ответ организма на недостаток сна и(или) длительное физическое и умственное напряжение. Это указывает на физиологическую первопричину усталости – потребность в восстановлении сил из-за дефицита дневного и ночного отдыха у работника [1–3]. Физиологическая природа этих дефи-

цитов различается: первый уменьшается при снижении активности поведения, а субъективная сонливость – симптом недостатка сна, при этом, наоборот, часто усиливается. Работник будет надежен и ответствен, когда ему обеспечены режимы труда, включающие адекватное время для сна, отдыха и восстановления сил. Во многих FRMS усталость определяют двояко: как комбинацию симптомов, и как комбинацию причин утомления. К симптомам утомления относят: ухудшение работы (потеря внимания, замедление реакций, ухудшение оценок и выполнения сложных контролируемых действий, увеличение вероятности засыпания) и субъективные чувства дремоты или утомленности. Канадская система [8] в отличие от других FRMS при изучении усталости учитывает симптомы профессионального выгорания персонала, возникающего при частых действиях психогенных стрессоров, при этом последствия утомления разделяют на три группы – для работника, организации, взаимосвязей и взаимоотношений.

Причины усталости. Согласно рекомендациям Международной организации труда «Безопасность и здоровье в судостроении» [7], профессионально-обусловленные и непрофессиональные причины усталости работников можно объединить в семь групп: время суток, в которое происходит работа; продолжительность рабочего времени и обязанностей, связанных с работой; тип и продолжительность рабочих операций и производственная среда, в которой они выполняются; эргономический дизайн рабочих мест и условий, в которых выполняются работы; количество и качество отдыха до и после работы; деятельность вне работы, например, семейные обязанности или вторая работа; индивидуальные факторы, такие, как нарушения сна.

К важным непрофессиональным индивидуальным факторам усталости относят [7]: недостаток сна из-за болезни членов семьи; напряженная деятельность вне работы, такая, как вторая работа; нарушения сна; ненадлежащее употребление алкоголя, лекарств, отпускаемых по рецепту и без него; психический стресс, связанный с финансовыми трудностями или домашними обязанностями. Одной из наиболее важных, но часто упускаемых коренных причин усталости работников является несоответствие объема работ численности и качеству персонала («the workload-staffing imbalance» [14]). В этих случаях ежедневная острая усталость, возникающая из-за дефицита отдыха, приводит к хроническому переутомлению работников и связанными с ним заболеваниями [1]. Общая схема причинно-следствен-

ных связей при возникновении и развитии острой и хронической усталости работников при дефиците отдыха приводится в [3].

Классификация показателей риска усталости. Для управления и уменьшения организационных рисков утомления в FRMS используется множество методов их выявления, измерения, оценки и наблюдения. Для всестороннего обзора влияния усталости на рабочем месте следует рассматривать различные показатели безопасности и надежности, а не полагаться на один из них. В [9] приводится следующая классификация показателей, которые часто именуются как «safety performance indicators» (SPIs): режим, график, расписание работ; факторы усталости и субъективного состояния; оценка уровней сонливости и бодрствования(внимательности); объективные показатели работы и работоспособности; объективные показатели качества сна; Fatigue Model Metrics. Оценка показателей риска, которую должен проводить специально обученный персонал, помогает определить приоритеты [11]. В [6] приводятся процедуры, вопросники, показатели риска усталости, биоматематическая модель, используемые в FRMS для выявления и оценки факторов утомления. Величину «риска усталости на рабочем месте» логично определять как вероятность нахождения работника на рабочем месте в состоянии усталости определенной степени (умеренная или большая [1,3]).

Достоинства FRMS перечислены в [13]:

- повышение уровня безопасности и предохранение от инцидентов, обусловленных усталостью работников;
- систематизированный и документированный подход к управлению усталостью;
- привязанность управления усталостью к специфике рабочего места, основанная на рисках, а не на одном универсальном показателе;
- включение как упреждающего, так и реагирующего способов управления рисками;
- использование уникального комплекса способов управления усталостью на рабочем месте;
- ответственность за управление риском усталости лежащая на эксплуатационных компаниях (operating companies), а не на контролирующем органе;
- улучшение здоровья, удовлетворенности трудом и благополучия работников;
- улучшение социально-психологического климата в трудовом коллективе, стабилизация кадров и сокра-

щение прогулов; обучение, которое может привести к уменьшенным производственным затратам.

- управление неблагоприятным воздействием усталости на работоспособность, что может повысить надёжность, качество и производительность персонала;

В некоторых регионах FRMS может способствовать соблюдению местных нормативных требований к охране труда, здоровья и безопасности, включая управление рабочим временем.

FRMS может повысить оперативную гибкость производственных процессов, если существующий контроль является достаточно жестким.

Многие юрисдикции законодательно закрепили, что усталость является опасностью, которая должна управляться на рабочем месте. В соответствии с правилами FRMS работники могут применять более гибкий, многоуровневый подход к управлению усталостью без увеличения затрат или времени. Осознание преимуществ системы управления безопасностью, понимание того, как измерить и уменьшить усталость, помогут фирмам, занимающимся разработкой, внедрением FRMS и ее сопровождением [8, 13], решать ряд задач. Специалисты этих фирм полагают, что нередко организации имеют ограниченное представление о профиле риска усталости и не понимают, что потенциал сотрудников зависит от нее [6].

По данным зарубежных авторов, частота травм и болезней в судостроении

выше в два раза по сравнению с общим уровнем в промышленности [12]. По нашим данным, заболеваемость рабочих судоверфи находится на высоком уровне оценочной шкалы [5], также показано, что профессионально обусловленный риск хронических неинфекционных заболеваний у рабочих судоверфи (гипертоническая болезнь, болезни костно-мышечной системы и др., заболеваемость с временной утратой трудоспособности и др.) проявляется в динамике, по годам стажа [2]. Годовой прирост риска различных хронических нарушений здоровья у основных рабочих в 3–10 раз выше контрольных величин. У вспомогательных рабочих годовой тренд риска менее выражен. Постоянная усталость вследствие дефицита отдыха является первопричиной начальной стадии и сопутствующим компонентом почти всех хронических профессиональных заболеваний [1, 4]. В табл. 1 представлены данные шестифакторного регрессионного анализа рисков нарушений здоровья работников основных цехов :

$$R_j (\%) = \text{const} + \sum \Phi_i \quad (1)$$

где R_j – риск нарушения здоровья по j – нозологиям, указанным в таблице; Φ_i – балльная оценка различных $i \div 1...6$ табличных факторов условий труда (1 и 2 балла – оптимальное и допустимое значение фактора; 3...5 – различная степень вредности от 3.1 до 3.3 гигиенической классификации труда – см. Руководство Р 2.2.2006-05). Видно, что для большинства показателей здоровья работников основных цехов судоверфи ве-

дущую роль играет химический фактор (загрязненность воздуха рабочей зоны), затем микроклимат и шум.

Защита судостроителей от вредных факторов производственной среды путем рационального использования рабочего времени. Данные табл. 2 показывают, что важным способом защиты здоровья основных рабочих судоверфи от вредностей производственной среды является рациональное использование бюджета рабочего времени. Использование годового фонда рабочего времени на 47–62% существенно защищает рабочих от риска усталости от воздействия неблагоприятных факторов окружающей среды и связанной с этим заболеваемости. Несомненно, при повышении процента занятости основных рабочих эти риски здоровью резко возрастут.

Риск усталости и профессионального выгорания судостроителей. В табл. 3 приведены данные, характеризующие риски усталости и эмоционального напряжения при работе судостроителей. У основных рабочих и ИТР риск усталости достаточно высок, а у мастеров – очень высок. У последних частота эмоционального напряжения на работе выше, чем в профессиях высокого риска «профессионального выгорания» (врачей и учителей [3]). Результатом этого является повышенный риск гипертонической болезни 2-й степени среди руководителей и специалистов основных цехов судоверфи (средний возраст $40,7 \pm 0,6$ лет)

Таблица 1

Значение условий труда показателей заболеваемости работников основных цехов судоверфи

Условия труда	Заболеваемость с временной нетрудоспособностью		Показатель заболеваемости									
	дни	случаи	РДБ20*	Гипертония, 2-я степень	ЭКГ	Органы дыхания	Органы пищеварения	Почки	Холестерин	Суставы	Неврология	Глаза
Химический фактор	1	3	1	1	2		3		1	1	1	1
Микроклимат		1	3	3	3	1		1		3	2	2
Шум	3		2	2	1	3	1	3	2		3	
Вибрация	2	2										
Тяжесть труда									2			3
Напряженность						2	2	2	3			

* Риск длительных болезней, 20 дней и более за год.

[†] 1,2,3 – ранг фактора, 1 – наибольшее значение среди величин $\Phi_1, \Phi_2 \dots \Phi_6$ в регрессии [1]

Таблица 2

Использование годового фонда рабочего времени основными рабочими судоверфи ($M \pm m$)

Профессия	Отработано за год		Рабочее время смены, РС, %**	Годовой фонд рабочего времени, РД×РС, %
	рабочих дней	% от годового фонда*, РД		
Сварщик	153 ± 15,9	67 ± 7,3	71	48
Сборщик	181 ± 17,5	79 ± 7,2	78	62
Рубщик	191 ± 30,1	83 ± 13,3	57	47

* 100% = 229 рабочих дней; ** 100% = 8 часов

Сравнительная оценка рисков усталости и эмоционального напряжения работников судовой верфи и врачей, учителей

Профессия	Численность обследованных мужчин	Частое и постоянное эмоциональное напряжение на работе, %		Умеренная и сильная усталость на работе, %
		Из-за ответственности	При работе с людьми	
Рабочие основных цехов	31	16	0	42
ИТР основных цехов	14	50	27	57
Мастера участков основных цехов	20	55	50	85
Контрольная группа мужчин				
Врачи ЛПУ в СПб	27	31	37	80
Учителя школ в СПб	19	36	39	77

Вероятность влияния организационных, психосоциальных факторов и условий труда на напряжение и утомление мастеров основных цехов судовой верфи

Фактор (стрессор)	Степень влияния		
	умеренная	большая	очень большая
	Вероятность, % обследованных		
Неопределенность обязанностей, ответственности, заданий	42	16	5
Неритмичность по дням и неделям загруженностью работ	37	11	0
Объем и интенсивность работы, напряженность труда, дефицит времени	58	11	0
Вечерняя и ночная смены, работа в выходные	47	16	0
Повышенная продолжительность рабочего времени (рабочего дня и недели)	32	21	0
Дисбаланс усилий и вознаграждения	44	11	6
Неудовлетворенность работой	39	17	6
Разобщенность трудового коллектива (нет взаимной поддержки, разногласия)	21	32	0
Отсутствие поддержки администрации	28	17	6
Недостаточная самостоятельность в работе (планирование, методы, сроки, результаты)	21	37	0
Неопределенность обязанностей, ответственности, полномочий, правил, требований, планов	32	21	5
Производственный шум	32	16	11
Микроклимат (температура, влажность, сквозняки)	42	21	5
Качество воздуха (загазованность, запыленность)	58	21	5
Вибрация	32	0	11
Другие факторы производственной среды	35	11	0
Внерабочая нагрузка	21	26	5
Недостаточно свободного времени	32	26	0
Состояние здоровья, особенности личности	33	11	0
Недостаток знаний и опыта	16	21	5
Другие не профессиональные факторы	10	19	5

– 14,8±3,8%, который статистически не отличается от такового у основных рабочих этих цехов – 15,6±1,3% (средний возраст – 39,5±0,3 лет, [4]).

Данные табл. 4 характеризуют профессиональные стрессоры, вызывающие напряжение и усталость цеховых мастеров судовой верфи. В таблице темным цветом выделены факторы, которые с вероятностью более 25% оказывают большое и очень большое влияние на напряжение и утомление мастеров.

Взаимосвязь усталости с качеством и количеством работы. Нахождение работника в состоянии усталости ухудшает его работоспо-

собность. Нормирование труда – основной регулятор усталости работников и первичной профилактики организационных и психосоциальных рисков. Согласно ГОСТ «Руководство по менеджменту психосоциального риска на рабочем месте», рабочая нагрузка является его ведущей причиной. Для рабочих мест, на которых производительность труда зависит от его физиологической интенсивности, соотношение производительности труда, вызывающей большую степень усталости работника, к максимальной производительности, еще не вызывающей его утомление, составляет 1,5±0,1. Риск, обусловленный высокой физиологической интенсивностью действий,

может наблюдаться у судостроителей с меньшим опытом, с менее рациональными приемами труда, с меньшими способностями к данному виду труда. Закономерности связи усталости с качеством и количеством результатов деятельности иллюстрирует график рис. 1.

По нашим данным, 19% рабочих основных цехов считают, что рабочая нагрузка «сильно» и «очень сильно» влияет на их усталость, что примерно в 2 раза больше, чем у мастеров. Представляется, что относительно небольшая роль рабочей нагрузки как фактора усталости рабочих обусловлена особенностями производства на судовой верфи – единичное и мелкосерийное, при кото-

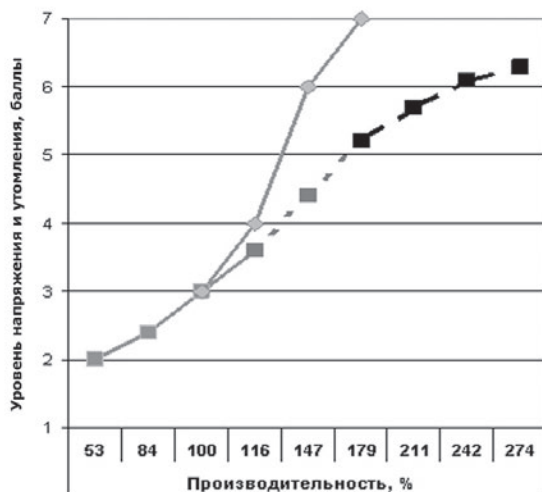


Рис. 1. Взаимосвязь утомления работника с качеством и количеством работы, совершенной за рабочий день.

Уровень физиологического напряжения: 1 – расслабленное состояние; 2 – комфортное состояние; 3 – небольшое напряжение, утомление к концу рабочего дня; 4 – умеренное напряжение, утомление к концу рабочего дня; 5 – высокое напряжение и сильное утомление к концу рабочего дня; 6 – очень высокое напряжение и очень сильное утомление; 7 – перенапряжение, переутомление, «срыв» к концу работы. Сплошная линия – внешний контроль качества результатов всех трудовых действий работника, выполненных за смену; пунктирная линия – самоконтроль работником качества результатов своих трудовых действий:

—■— — качество отличное или хорошее; —■— — качество удовлетворительное; —■— — качество неудовлетворительное или плохое; —◆— — качество неизменное.

ром нормы труда рабочих являются менее напряженными, чем при серийном и массовом производстве. Вместе с тем 38 % «умеренно устающих» и «сильно устающих» рабочих указывают на рабочую нагрузку как причину утомления на работе.

Выводы

Для полноценного обоснования актуальности FRMS с целью повышения эффективности, безопасности и надежности работников судостроительных предприятий необходимо помимо использования зарубежного опыта и исследовать риски усталости персонала на отечественных судостроительных предприятиях. Зарубежные FRMS разработаны почти исключительно для предприятий непрерывного производства, на которых главнейшим фактором риска усталости работников является нарушение суточного ритма сна и бодрствования. На судостроительных предприятиях – сменный труд, включающий и ночную работу, не является распространенным фактором риска утомления (см. табл. 4). При определении актуальности вопроса о риске усталости работников судостроительных предприятий необходимо выяснить:

- значение существующей практики защиты основных рабочих от экологической усталости при воздей-

- влияние вредных факторов производственной среды, используя бюджет рабочего времени, (высокий риск общих хронических заболеваний и заболеваний с временной утратой трудоспособности [5], несмотря на ограничение занятости – см. табл. 2;
- распространенность состояния острой и хронической усталости среди категорий и профессий работников судостроения (см. табл. 3);
- ранжирование рабочих мест по степени усталости работников для повышения эффективности, безопасности и надежности производственного процесса;
- соответствие объема работ в подразделениях численности и качеству подготовки персонала [14];
- влияние на повышение риска усталости судостроителей объема сверхурочных работ и распределения его между работниками, неритмичности загруженности;
- значение психогенных факторов усталости работников судостроения (см. табл. 3);
- обоснованность и напряженность норм труда (качество технического нормирования);
- отношение рабочих, специалистов и руководителей судостроения к FRMS.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сорокин Г.А. Работа, утомление и профессиональный риск. – СПб.: Изд. Политех. ун-та. – 2016. – 456 с.
2. Значение хронических нарушений сна для здоровья работающих и их связь с профессиональным и непрофессиональным нервнопсихическим напряжением // Медицина труда. – 2018. – № 5. – С.8-3.
3. Сорокин Г.А. Интегральная оценка психосоматических симптомов профессионального выгорания и его профилактика // Вестник Росздравнадзора. – 2018. – №1. – С. 40–5.
4. Сорокин Г.А., Сулов В.Л. Возрастная и стажевая динамика общей заболеваемости работников судостроительного предприятия // Профилактическая и клиническая медицина. – 2011. – №4. – С.39-5.
5. Сулов В.Л., Сорокин Г.А., Гребеньков С.В. Анализ и гигиеническая оценка 9-летней динамики заболеваемости с временной утратой трудоспособности судостроителей // Медицина труда. – 2018. – № 5. – С.25-1.
6. Butler C., Bell J. Worker Fatigue Risk Management in Practice: Benefits and Challenges // Symposium series. – 2017. – № 162. – (www.icheme.org/~media/Documents/Subject%20Groups/Safety_Loss_Prevention/Hazards%20Archive/XXVII/XXVII-Paper-28.pdf).
7. Code of practice on safety and health in shipbuilding and ship repair 1 Revised edition MECPS/2018/5, ILO. – Geneva. – http://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/ed_dialogue/sector/documents/normativeinstrument/wcms_618575.pdf.
8. Fatigue Risk Management System for the Canadian Aviation Industry: An Introduction to Managing Fatigue // Transport Canada. – TP 14572E. – April 2007. – www.tc.gc.ca/CivilAviation and www.tc.gc.ca/TDC.
9. Fatigue Safety Performance Indicators (SPIs): A Key Component of Proactive Fatigue Hazard Identification. – [www.iata.org/whatwedo/ops-infra/Documents/fatigue spis a key component of proactive-fatigue hazard identification.pdf](http://www.iata.org/whatwedo/ops-infra/Documents/fatigue%20spis%20a%20key%20component%20of%20proactive-fatigue%20hazard%20identification.pdf) (Edition One – 2014.01.15).
10. Fourie C. etc. Fatigue Risk Management Systems: A Review of the Literature. – September 2010. – London: Clockwork Research Ltd. Department for Transport. – <http://www.clockworkresearch.com/publications/2010b>.
11. Guidance Note for Fatigue Risk Management. – State of Queensland, Department of Natural Resources and Mines, 2013.
12. Implementing a Shipyard Safety and Health Management System. Training for Shipyard Workers. – https://www.osha.gov/dte/grant_materials/fy08/sh-17817-08/ishms_participant_manual.pdf
13. Managing fatigue using a fatigue risk management plan (frmp). – Published by Energy Institute. – London 1st edition. – April 2014.
14. Steven E. etc. Fatigue Risk Management in the Workplace // JOEM. – 2012. – Vol. 54, – № 2 (February). – P. 231–258. ■

Действительный член Российской Академии наук, профессор, лауреат золотой медали академика А. П. Александра, вице-адмирал Ашот Аракелович Саркисов за более чем шестидесятилетний период исключительно активной научной, педагогической, просветительской и общественной деятельности внес выдающийся, а по ряду направлений уникальный вклад в зарождение, становление и развитие отечественной, прежде всего транспортной судовой и корабельной, атомной энергетики. Он по праву является пионером в деле создания научной и учебно-методической базы подготовки корабельных инженерных кадров советского, а затем и российского атомного подводного флота. С именем академика, вице-адмирала А. А. Саркисова Военно-Морской Флот РФ в значительной степени связывает успешное освоение и многолетнюю безаварийную эксплуатацию многоцелевых атомных подводных лодок и атомных подводных крейсеров стратегического назначения трех поколений. Сегодня он по-прежнему в строю и принимает самое активное участие в создании уникальных отечественных подводных кораблей четвертого и пятого поколений.

Начиная с 1956 г., при непосредственном участии А. А. Саркисова, по его лекциям, учебникам и монографиям подготовлено более 10 тысяч высококлассных специалистов по эксплуатации корабельных атомных энергетических установок. Он стоял у истоков создания уникального действующего комплекса с учебно-исследовательским действующим ядерным реактором в Севастопольском высшем военно-морском инженерном училище. По своим учебным и исследовательским возможностям этот комплекс и до настоящего времени не имеет аналогов в мире, а создание в Крыму на базе Военно-морского инженерного училища действующего ядерного реактора вообще сродни творческому и трудовому подвигу.

Академик А. А. Саркисов создал уникальную научную школу, широко известную как в России, так и за рубежом. Под его непосредственным научным руководством подготовлено более 10 докторов и свыше 40 кандидатов наук. Среди его учеников – известные ученые, Герои Советского Союза, Герои Социалистического Труда, Герои России, лауреаты Государственных премий, Премий Правительства РФ, руководители ВМФ, главные конструкторы.

Многие направления научной и научно-педагогической деятельности академика А. А. Саркисова формировались, а затем и динамично развивались под непосредственным влиянием выдающихся отечественных ученых, академиков А. П. Александра, В. А. Кириллина, М. А. Стири-

ФЛАГМАНУ КОРАБЕЛЬНЫХ ИНЖЕНЕРОВ-МЕХАНИКОВ ВМФ РОССИИ - 95 ЛЕТ К ЮБИЛЕЮ АКАДЕМИКА А.А. САРКИСОВА

*В.Н. Половинкин, д-р техн. наук, проф., заслуженный деятель науки РФ, научный руководитель ФГУП «Крыловский государственный научный центр»,
контакт. тел. (812) 748 6427*



ковича, Н. А. Доллежала, А. Е. Шейндлина, И. А. Глебова, В. И. Субботина, Н. С. Хлопкина, С. С. Кутателадзе, которые неоднократно бывали в Севастопольском ВВМИУ, возглавляемом в то время вице-адмиралом А. А. Саркисовым. Со многими из них у А. А. Саркисова сложились очень тесные дружеские отношения. Например, руководитель АН СССР академик А. П. Александров в официальных докладах руководству Министерства обороны и ВМФ СССР высоко оценивал успехи коллектива училища.

А. А. Саркисов родился 30 января 1924 г. в Ташкенте. В 1931 г. поступил и в 1941 г. окончил с золотым аттестатом русскую среднюю школу. В школе особый интерес юноша проявлял к изучению физики и математики. В 1940 г. на республиканской математической олимпиаде он завоевал первое место. В 1941 г. А. А. Саркисов поступил в Высшее военно-морское инженерное училище им. Ф. Э. Дзержинского. В ноябре 1941 г. он вместе с другими курсантами первого курса был направлен в действующую армию, где вплоть до 1945 г. участвовал во многих боевых операциях на Карельском фронте. За героизм, проявленный на полях сражения, А. А. Саркисову было присвоено офи-

церское звание, и он был награжден многими боевыми орденами. Удивительна и чрезвычайно трудна военная судьба А. А. Саркисова. Ему даже пришлось воевать старшиной штрафной роты батальона морской пехоты. Об этом периоде своей жизни он подробно написал в великолепной книге «Воспоминания. Встречи. Размышления. Ситуации».

В марте 1945 г. старший лейтенант А. А. Саркисов был отозван с фронта и зачислен слушателем Высшего военно-морского инженерного училища им. Ф. Э. Дзержинского. В 1950 г., продемонстрировав блестящие способности, в звании капитан-лейтенанта А. А. Саркисов окончил это училище с отличием и занесением на мраморную Доску почета. Параллельно с учебой в училище в 1951 г. он экстерном с отличными результатами завершил обучение на механико-математическом факультете Ленинградского государственного университета.

В 1949 г., будучи курсантом пятого курса, А. А. Саркисов был удостоен первой премии на Всесоюзном конкурсе научных работ слушателей высших военных учебных заведений. С 1950 по 1954 г. он проходил службу на Балтийском флоте в должностях флагманского

инженера-механика бригады, а затем и дивизии торпедных катеров.

В 1954 г. А. А. Саркисов поступает в адъюнктуру Высшего военно-морского инженерного училища им. Ф. Э. Дзержинского и досрочно завершает ее успешной защитой кандидатской диссертации. С этого времени началась активная научная, научно-педагогическая и общественная деятельность А. А. Саркисова в системе военно-морских учебных заведений страны: в Севастопольском ВВМИУ, Военно-морской академии, Научно-техническом Комитете ВМФ и в Российской академии наук, советником который он является уже многие годы.

Достаточно перечислить только некоторые занимаемые им должности в названных выше организациях, чтобы представить масштаб личности и многогранность деятельности академика А. А. Саркисова. На всех должностях он проявлял свои удивительные черты характера: требовательность к себе, доброе и внимательное отношение к подчиненным, постоянное стремление к совершенствованию, тяга к новым знаниям.

В 1959 г. А. А. Саркисова назначают начальником вновь организованной, первой в системе военных учебных заведений, кафедры ядерных реакторов и парогенераторов подводных лодок в Севастопольском ВВМИУ. Здесь он проработал 12 лет. За годы руководства кафедрой он подготовил не только первые в нашей стране основные курсы по ядерно-энергетической специализации, но и первые учебники для курсантов и студентов – будущих инженеров по эксплуатации атомных энергетических установок, организовал создание уникальной для условий высших учебных заведений лабораторной и научно-экспериментальной базы.

В январе 1971 г. доктора технических наук, профессора капитана 1 ранга А. А. Саркисова назначают заместителем начальника Севастопольского ВВМИУ по учебной и научной работе, а в ноябре 1971 г. – начальником этого же училища. Во многом благодаря ему училище в течение короткого периода превратилось в лучшее в Министерстве обороны СССР высшее военное учебное заведение, оснащенное самой передовой учебно-материальной базой. Это было самое большое по численности переменного состава и самое сбалансированное высшее образовательное учреждение ВМФ СССР. В течение длительного времени училище, возглавляемое А. А. Саркисовым, являлось основной базой подготовки высококвалифицированных инженеров-механиков для отечественного подводного флота.

В 1972 г. А. А. Саркисову было присвоено звание контр-адмирала, а в 1978 г. – вице-адмирала. В 1983 г. его

назначают заместителем начальника Военно-морской академии им. А. А. Гречко по научной работе (г. Ленинград). С назначением на должность заместителя начальника академии по научной работе ведущего ученого ВМФ А. А. Саркисова в академии наметилась тенденция повышения качества научных исследований. В тематике НИР академии стали преобладать фундаментальные исследования. При обосновании тактических и оперативных решений ученые Военно-морской академии стали опираться на современные математические методы. По мнению многих, это был короткий, но весьма продуктивный и интересный период в Военно-морской академии.

В 1985 г. вице-адмирала А. А. Саркисова назначают на ответственную должность в ВМФ, связанную с координацией и определением перспективных направлений дальнейшего развития отечественного ВМФ, он становится председателем Научно-технического комитета ВМФ. Это был золотой период отечественного военного кораблестроения. Благодаря А. А. Саркисову связи ВМФ с АН СССР стали еще более тесными и плодотворными. В состав ВМФ в этот период были включены самые современные боевые надводные корабли и подводные лодки. НТК ВМФ становится важнейшим экспертным органом.

В 1968 г. А. А. Саркисов защитил докторскую диссертацию. Спустя год ему присваивают ученое звание профессора. Выпускники Севастопольского училища до настоящего времени вспоминают блестящие лекции Ашота Аракеловича, его внимательное и вместе с тем требовательное к ним отношение.

В 1981 г. Ашот Аракелович Саркисов был избран членом-корреспондентом Академии наук СССР по специальности «энергетика» (в том числе ядерная энергетика). В 1994 г. он избирается действительным членом Академии наук СССР по этой специальности.

Академик А. А. Саркисов внес выдающийся вклад в развитие корабельной ядерной энергетике, в повышение ее живучести, надежности и безопасности. Ему принадлежит около 300 фундаментальных научных трудов и многие десятки изобретений. В числе его научных публикаций – восемь монографий, в том числе первая в мировой научной литературе фундаментальная работа по нестационарным и аварийным режимам работы корабельных ядерных энергетических установок (ЯЭУ). Исследованные академиком А. А. Саркисовым аварийные режимы работы корабельных АЭУ, практические рекомендации личному составу атомных подводных лодок включены в основные руководящие документы.

К числу его важнейших исследований относятся также труды с обоснованием работоспособности систем безбатарейного пуска и расхолаживания судовых ядерных энергоустановок, по обеспечению их бесшумности и живучести в экстремальных условиях.

Проведенные А. А. Саркисовым теоретические и экспериментальные исследования позволили впервые создать принципиально новый бесшумный энергоисточник – термоэлектрический генератор, встроенный в активную зону ядерного реактора. Он был спроектирован и изготовлен ИАЭ им. И. В. Курчатова и ВНИИТ и отработал 1500 часов, сохранив при этом свои эксплуатационные характеристики. Таким образом, была создана научная база для проектирования более мощных генераторов, пригодных для обеспечения электроэнергией глубоководных аппаратов, донных станций спецназначения и даже малого хода подводных лодок в бесшумном режиме.

А. А. Саркисов – основоположник ряда новых научных направлений, связанных с динамикой ЯЭУ, их маневренными качествами, надежностью, безопасностью и защитой, в основу которых положены фундаментальные исследования нейтронно-физических и теплофизических процессов в главных элементах энергоустановок. Им создана теория динамических процессов и автоматической аварийной защиты ЯЭУ, разработаны методы оптимизации аварийной защиты реакторов на основе количественных показателей надежности элементов ЯЭУ в характерных для оборонной техники экстремальных условиях эксплуатации.

А. А. Саркисовым разработаны вопросы, связанные с теплотехнической надежностью активных зон при разгерметизации контуров, с исследованием теплогидравлических процессов в активных зонах кипящих реакторов при мощных ударных воздействиях (до 35g). В тот же период были выполнены исследования по сохранению работоспособности активных зон реакторов при прекращении циркуляции теплоносителя или рабочего тела. Полученные результаты были учтены в ходе создания головной установки с кипящим реактором для ВМФ и разработки эксплуатационных инструкций для личного состава АПЛ. Они также были использованы при создании ядерных реакторов третьего поколения с естественной циркуляцией.

Ряд результатов выполненных А. А. Саркисовым исследований по моделированию переходных и аварийных процессов был использован при создании первых в нашей стране полномасштабных тренажеров корабельных ЯЭУ.

Особенностью выполненных непосредственно А. А. Саркисовым и руко-

водимых им работ является сочетание фундаментальных теоретических исследований с крупномасштабными экспериментами на базе созданных уникальных установок и стендов, в том числе лаборатории с исследовательским реактором ИР-200. Результаты научных исследований А. А. Саркисова активно внедрялись в практику строительства флота. Под его научным руководством были разработаны и реализованы в судостроении в виде ГОСТ требования ВМФ по обеспечению живучести, надежности и безопасности судовых атомных энергетических установок, что способствовало существенному повышению боевой эффективности кораблей.

Одновременно с основной служебной деятельностью А. А. Саркисов постоянно ведет активную работу во многих общественных организациях, советах, научных секциях и редколлегиях научных изданий. Более 20 лет он был председателем Экспертного совета ВАК РФ по проблемам флота и кораблестроению, где вносил большой вклад в подготовку и аттестацию научных и научно-педагогических кадров для ВМФ и судостроительной промышленности. В течение ряда лет он успешно занимал должность заместителя председателя Военно-технического совета ВМФ, председателя секции № 1 Научного совета ГНТК по проблеме «Изучение океанов и морей и использование их ресурсов».

Ашота Аракеловича отличает удивительное творческое долголетие, настоящее время он активно работает в отделении РАН, входит в Экспертно-консультативный совет по проблемам национальной безопасности при Председателе Государственной Думы РФ, является заместителем председателя Научного совета РАН по атомной энергетике.

О международном признании научной деятельности академика А. А. Саркисова свидетельствует то, что он четырежды (в 1995, 1997, 2002 и 2004 гг.) был организатором и сопредседателем с российской стороны международных научных конференций в формате «Россия–НАТО» по проблемам радиационной безопасности, в которых участвовали ученые и специалисты России, США, Франции, Германии, Великобритании и многих других стран.

В 1999 г. А. А. Саркисов назначен председателем Экспертного совета крупной Международной научно-технической программы по проблеме обращения с радиоактивными отходами (АТРП). Его участие в составе делегаций, активная позиция и высокий научный авторитет в мире поднимают имидж российских делегаций на международных форумах различного формата, поз-

воля быстрее достигать необходимых российской стороне результатов. Особое значение для обеспечения экологической безопасности РФ имеют разработанные под руководством А. А. Саркисова стратегические подходы к решению проблем утилизации выведенного из эксплуатации российского атомного флота в Северо-Западном и Дальневосточном регионах, а также предложения по экологической реабилитации этих важнейших для страны регионов.

А. А. Саркисов более трех десятилетий возглавляет созданную им научную школу по динамике и безопасности судовых ЯЭУ. Сотни его учеников плодотворно трудятся на кораблях и судах с атомными энергетическими установками, на атомных электростанциях, в правительственных организациях страны, во многих учебных заведениях и научных учреждениях Российской Федерации и Украины.

Под научным руководством и при личном участии академика А. А. Саркисова были развернуты масштабные исследования по разработке Стратегического мастер-плана утилизации (экологической реабилитации) выведенных из эксплуатации объектов атомного флота на северо-западе России. В этой работе участвуют более 50 ведущих специалистов основных профильных научных организаций страны.

Неоднократные выступления академика А. А. Саркисова на международных Ассамблеях стран-доноров в Европейском банке реконструкции и развития (ЕБРР) неизменно получают высокую оценку, что способствует росту международной помощи России в решении экологических проблем и ликвидации наследия холодной войны.

Будучи сопредседателем с российской стороны совместного научного комитета РАН и НАН США, А. А. Саркисов осуществлял руководство и лично принимал участие в выполнении актуальных научных исследований, посвященных проблемам нераспространения ядерного оружия (2004 и 2005 гг.). Эти исследования, в разработке которых приняли участие крупные американские и российские специалисты, получили высокую оценку не только со стороны международной научной общности, но и руководства двух академий наук, а также ряда официальных структур, в том числе МАГАТЭ и соответствующих правительственных органов РФ и США.

Под научной редакцией А. А. Саркисова в Российской академии наук в 1997 г. издательством «Наука» была издана книга «Российская наука – Военно-Морскому Флоту». В настоящее время в издательстве «Наука» готовятся

несколько новых монографий, в которых А. А. Саркисов выступает как основной автор и научный руководитель. Среди его очередных научных трудов выделяется недавно изданная книга энциклопедического содержания «Российская наука – отечественному подводному флоту».

В течение последних 15 лет под руководством А. А. Саркисова проводятся фундаментальные исследования, направленные на решение сложнейшей экологической проблемы глобального масштаба – радиоэкологической реабилитации арктического региона.

Его заслуги перед Отечеством отмечены многими государственными и академическими наградами, в числе которых есть Золотая медаль имени А. П. Александрова и Премия Правительства Российской Федерации в области науки и техники 2013 г. Свидетельством мирового признания научных заслуг А. А. Саркисова является то, что в 2014 г. он стал лауреатом престижной Международной премии «Глобальная энергия», на которую претендовали 2710 ученых из 60 стран. Практически каждый этап его жизни отмечен незаурядными свершениями и высокими достижениями.



Академик, вице-адмирал А. А. Саркисов награжден орденами Отечественной войны I и II степени, тремя орденами Красной Звезды, орденами «За службу Родине в Вооруженных силах СССР» III степени, «За заслуги перед Отечеством» IV степени, «За заслуги перед Отечеством» III степени, «Знак Почета» и орденом Почета.

От всей души поздравляем этого удивительного человека, нашего Учителя, выдающегося ученого с юбилеем и желаем ему крепкого здоровья, семейного счастья и долгих лет жизни.

Редакционный совет и редколлегия журнала «Морской вестник» присоединяются к этим поздравлениям и желают Ашоту Аракеловичу долгого здоровья и дальнейших творческих свершений. ■

К50-м гг. XX в. фундаментальные геотергические исследования в области газо-, термо- и аэродинамики, успехи в металлургии при создании жаропрочных материалов, накопленный положительный опыт проектирования, конструирования и эксплуатации авиационных, стационарных газотурбинных двигателей в СССР, Германии, США, Великобритании позволили заявить о начале эпохи широкомасштабного применения газотурбинных двигателей (рис. 1).



Рис. 1. Газотурбинный двигатель в сборочном цеху

В настоящее время газотурбинные двигатели – основной тип двигателей для гражданских и военных самолетов, в структуре парогазовых установок теплоэлектроцентралей (ТЭЦ) при совместной выработке тепловой и электрической энергии, наиболее распространенный привод газоперекачивающих агрегатов (ГПА) для газоперекачивающих систем (ГПС), установок для обессоливания морской воды, в устройствах для сжигания каменного угля в кипящем слое и др.

В конце 40-х гг. XX в. начинаются экспериментальные исследовательские работы по применению ГТД в составе ГЭУ кораблей ВМС. В 1947 г. газотурбинный двигатель G1 фирмы «Метрополитен Викарс» (модификация турбореактивного двигателя F2 мощностью 2500 л. с.) был установлен на быстроходном катере береговой обороны MGB-2009 (Великобритания). В 1951–1953 гг. газотурбинный двигатель M1 (модификация ТРДВ-1 мощностью 4000 л. с.) был разработан для ускорительной УГТУ-1 и установлен на быстроходном катере 183тк (СССР). В конце XX в. ГТД уже широко применяются на надводных кораблях основных классов в составе ГЭУ ВМС США, Великобритании, РФ, Италии, Франции, Германии, Японии и др. В настоящее время суммарное число газотурбинных двигателей на кораблях ВМС в мире превышает несколько тысяч, разработкой и строительством двигателей занимается целый ряд фирм. Крупнейшие из них – «General-Electric», «Pratt & Whitney», «Allison» (США), «Rolls-Royce» (Великобритания), ОАО «Сатурн» (Россия)

ПРОБЛЕМЫ РЕАЛИЗАЦИИ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ТЕПЛООВОГО ЦИКЛА В ПЕРСПЕКТИВНЫХ КОРАБЕЛЬНЫХ ГАЗОТУРБИНЫХ ДВИГАТЕЛЯХ

А.А. Бабичев, канд. техн. наук, доцент ВУНЦ ВМФ «ВМА»,
контакт. тел. (812) 431 9408

и др. Концепция развития ГЭУ кораблей ВМС ведущих стран мира в XXI в. основана на преимущественном применении газотурбинных двигателей для обеспечения вращения гребных винтов, привода электрогенераторов в структуре электроэнергетической системы.

Множество корабельных ГТД, созданных в США, Великобритании, России во второй половине XX–начале XXI в., условно относятся к четырем эволюционным поколениям: 1-е поколение – двигатели, построенные до 60 гг., 2-е – до 70-х гг., 3-е – 70-е гг. – конец XX в., 4-е – разработки после 2000 г. Поступательное развитие корабельных газотурбинных двигателей связано с поиском и реализацией возможностей повышения эффективности рабочего цикла Брайтона по значениям КПД и величине удельной полезной работы с целью улучшения характеристик ГТД, а именно: агрегатной мощности (МВт), экономичности (удельный расход топлива (кг/кВт·ч), часовой расход топлива (кг/ч), надежности (назначенного ресурса (ч), вероятности безотказной работы и др., массогабаритных показателей, отдельных показателей качества (удельной полезной работы, коэффициента полезной работы, удельной массы, экологических характеристик) и др.

Максимальная мощность серийного корабельного ГТД 4-го поколения, установленного на кораблях ВМС, – 36 МВт (MT-30, 1998 г., «R-R», Великобритания). Удельный расход топлива – у ГТД сложного цикла 4-го поколения WR-21 $N_e = 25$ МВт (1997 г. – «R-R», Великобритания) – 0,190 (кг/кВт·ч). Минимальная удельная масса ГТД 2-го поколения LM2500 $N_e = 24–27$ МВт (1969 г., «G-E» США) – 0,2 кг/кВт. Назначенный ресурс для корабельного ГТД 4-го поколения M90 ФР $N_e = 20$ МВт (2007 г., ОАО «Сатурн», Россия) превышает 40 тыс. ч. (для сравнения – ресурс ГТД 1-го поколения M1 (1951 г., СССР) составлял всего 100 ч) и др.

Потенциальная перспективность дальнейшего совершенствования ГТД как теплового двигателя определяется реальной возможностью увеличения температуры газа на входе в турбину высокого давления

или усложнением рабочего цикла (теоретически вплоть до полной «карнотизации» за счет применения многоступенчатого промежуточного охлаждения, промежуточного подогрева и регенерации). При оценке потенциальных возможностей улучшения показателей эффективности теплового цикла для перспективных корабельных газотурбинных двигателей необходимо напомнить, что максимальное значение КПД цикла теплового двигателя не может превышать значения для теоретического цикла Карно:

$$\eta_{\text{ik}}^{\text{max}} = 1 - \frac{T_1}{T_3}$$

При минимальной в цикле температуре воздуха на входе в тепловой двигатель $T_{\text{min}} = T_{\text{H}} = T_1 = 288\text{K}$ (15°C) и максимально возможной, достижимой при сжигании органического топлива в воздухе, $T_{\text{max}} = T_3 = 2800\text{K}$ (определяется из условия полного использования в процессе горения кислорода воздуха и составляет $T_{\text{max}} = 2300...2800\text{K}$), предельная величина для теоретического КПД цикла составляет:

$$\eta_{\text{ik}}^{\text{max}} = 1 - \frac{T_1}{T_3} = 1 - \frac{288}{2800} = 0,897.$$

По величине КПД несложно оценить минимально возможное значение удельного расхода органического топлива для теплового двигателя ($Q_{\text{р.н.}} = 43000$ кДж/кг – низшая теплотворная способность дизельного топлива):

$$b = 3600 / \eta_{\text{ik}}^{\text{max}} Q_{\text{р.н.}} = 3600 / (0,897 \times 43000) = 0,093 \text{ кг/кВт·ч.}$$

В настоящее время КПД современных ГТД, работающих по открытому простому циклу, не превышает 42% (рис. 2).



Рис. 2. Значения эффективного КПД η_e наземных и конвертируемых ГТД различных мощностей. Условия ISO 2314 (ГОСТ 20440–75)

При этом $b_e = 3600 / (0,42 \times 43000) = 0,199$ кг/кВт·ч.

Иными словами, топливная экономичность перспективных ГТД по сравнению с достигнутыми характеристиками серийных двигателей может быть существенно улучшена (рис. 3).

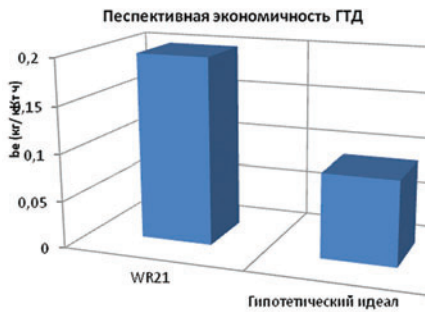


Рис. 3. Теоретическая перспектива совершенствования топливной экономичности ГТД

При расчетах значений характеристик цикла ГТД максимальное значение температуры газа $T_3 = T_{max}$ определяется по температуре газа T_{CA}^* перед сопловым аппаратом первой ступени турбины высокого давления (рис. 4).

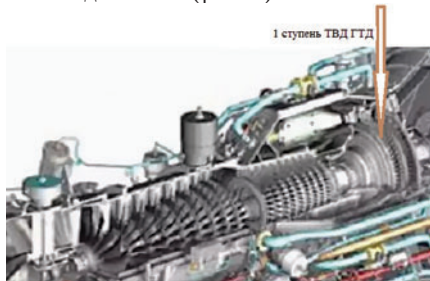


Рис. 4. Зона замера температуры T_{CA}^* в ГТД

Ограничения значений T_{CA}^* в современных ГТД зависят от технологических возможностей, свойств жаропрочных материалов, конструкции систем охлаждения и др.

Подходы к выбору конкретного способа реализации высоких температур газа в тепловом цикле газотурбинных двигателей для ГТД США, Великобритании, бывшего СССР во многом отличались, но, несомненно, общей и главной

проблемой для всех проектировщиков была задача поиска жаропрочных материалов (рис. 5).

Прогресс в развитии мирового газотурбостроения связан с авиационными технологиями, реализованными в конструкциях ГТД различного назначения и характеристик: ТВД; ТРД; ТРДД и др. Наибольшие температуры $T_r = 1850 \dots 1870$ К достигнуты на новейших военных ТРДДФ и гражданских ТРДД (рис. 6).

Высокие температуры газа в турбине авиационных двигателей при этом в настоящее время обеспечиваются монокристаллическими лопатками, защитными покрытиями, системами охлаждения и др. Температура газа в турбинах корабельных ГТД традиционно ниже авиационных. Параметры наиболее распространенных корабельных ГТД ВМС ведущих стран мира приведены в таблице.

Характеристики корабельных ГТД ВМС ведущих стран мира

ГТД	Фирма, страна-изготовитель	Год создания	N_e (ном), МВт	T_3 , К
Olympus TM3B	«R-R» (Великобритания)	1975	16,04	1153
Sprey SM1A	Тоже	1980	12,75	1128
Sprey SM1C	« «	1987	18,01	1181
LM2500	«G-E» (США)	1969	24,62	1411
MT30	«R-R» (Великобритания)	1998	36	1475
WR21	Тоже	1997	25,24	1365
M75 РУ	ОАО «Сатурн» РФ	2006	4,4	1256
M70 ФРУ	Тоже	2007	8,8	1493
M90 ФР	« «	2006	20,2	1433

Работы по созданию жаропрочных материалов для ГТД не прекращаются. В настоящее время в США и Европе по перспективным программам развития авиационных ГТД (ИНРТЕТ, УЕЕТ, АМЕТ) разрабатываются технологии и испытываются опытные двигатели, обеспечивающие работу с максимальной температурой газа перед турбиной $T_{CAmax}^* = 2000 \dots 2200$ К, что приближается к максимальному значению температуры горения органического топлива. Разработка жаропрочных материалов ведется

на основе Ti-Ni сплавов, композитов на основе Al, Ti, упрочненных полимерных материалов и др. Одним из технических решений реализации высоких температур цикла ГТД по объединенной программе разработки технологий ГТД с высокими параметрами рабочего процесса ИНРТЕТ (Integrated High Performance Turbine Engine Technology) стала разработка легкого термостойкого композиционного материала СМС (Ceramic Matrix Composite). В основе его лежит структура из карбида кремния, армированного волокнами из того же самого материала. Рабочая температура СМС – более 1300°С (1573К), что превышает аналогичные показатели наиболее термостойких металлических сплавов. По программе ТВС (Thermal Barrier Coating) совершенствуются антитермальные защитные покрытия для термонагруженных узлов.

Таблица

Для перспективных корабельных ГТД основной проблемой является разработка как жаропрочных сплавов, так и систем охлаждения. Для различных типов серийных корабельных ГТД в процессе эволюционного развития проблема решалась несколькими способами: полным отказом от системы охлаждения при относительно невысоких температурах газа ($T_r = 800-820$ °С), воздушным пленочным наружным охлаждением соплового аппарата ТВД ($T_r = 820-850$ °С), воздушным внутренним охлаждением соплового аппарата и первой ступени ТВД ($T_r = 900-1050$ °С), воздушным внутренним охлаждением ($T_r > 1050$ °С) нескольких ступеней ТВД, дисков и др.

Для корабельных ГТД 1–2-го поколений бывшего СССР (60-е гг. XX в.) с температурой газа $T_r < 900$ °С использовалась система воздушного наружного охлаждения. Для самого распространенного корабельного ГТД в мире – LM2500 (США), конвертированного из ТРДД TF-39 (1969 г.) с температурой газа $T_r = 1170$ °С – была выбрана внутренняя воздушная система охлаждения рабочих и сопловых лопаток ТВД. Аналогичный подход реализован в корабельном ГТД SM1C (Великобритания, 1981 г.) с температурой газа $T_r = 1070$ °С, конвертиро-

Жаропрочность материала лопаточного аппарата газовой турбины ГТД (Тм) для реализации температурного потенциала газа ($T_{3,r}$)



Рис. 5. Совершенствование жаропрочных материалов ГТД по годам

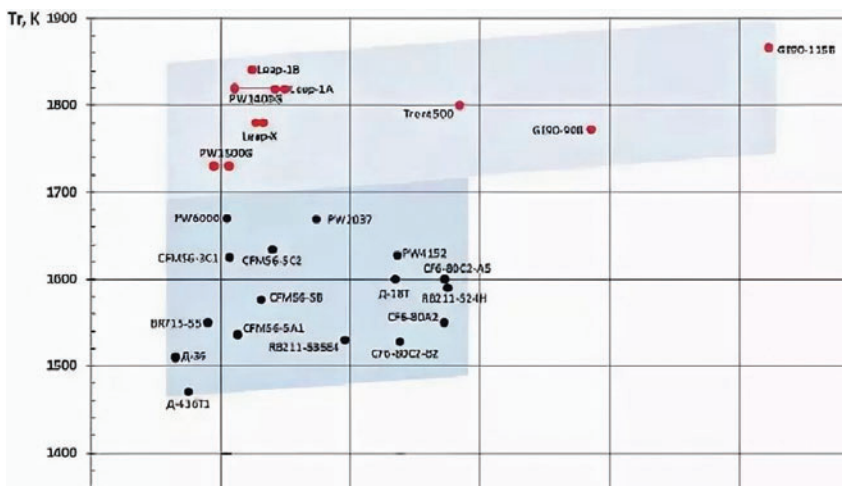


Рис. 6. Температура газа перед сопловым аппаратом турбины высокого давления авиационных ГТД

ванного из авиационного ТРДД TF-41 (1981 г.). В корабельных ГТД 4-го поколения РФ М75 РУ, М70 ФРУ, М70 ФР также использована система внутреннего воздушного охлаждения рабочих и сопловых лопаток турбины.

При увеличении температуры газа при наружном и внутреннем воздушном охлаждении требуется отбор большего количества воздуха из компрессора для нагретых частей двигателя. Но, если из цикла отбирается более 8% общего расхода воздуха через компрессор, то теряются все преимущества от повышения температуры газа.

Проблема охлаждения при повышении температуры газа может быть решена за счет использования пара. Паровое охлаждение в перспективе позволяет создавать турбины с температурой газа до 2000 °С, может быть использовано для охлаждения воздуха после компрессора перед подачей в охлаждающие каналы турбин, так как для перспективных ГТД температура воздуха после компрессора может достигать 850 °С и выше. Паровое охлаждение особенно удобно в комбинированных установках, где пар генерируется и используется в качестве рабочего тела для паровой турбины и в цикле ГТД по схеме STIG. При этом впрыск всего 5% пара к воздуху в компрессор или непосредственно в камеру сгорания может увеличить до 12% мощность двигателя. В то же время при подаче пара в ГТД снижается пропускная способность турбины, и возможно снижение запаса устойчивости компрессора, усложняется конструкция, как двигателя, так и всей корабельной энергетической установки в целом.

Дополнительная серьезная проблема на корабле возникает в связи с необходимостью постоянного пополнения запасов воды из-за невозвратных потерь пара после его использования по схеме STIG и системе охлаждения. Несмотря на сказанное, необходимо отметить, что активное использование новейших авиационных технологий при проекти-

ровании и производстве турбин, реализация сложных систем их охлаждения с использованием теплообменников и водяного пара в качестве охладителя позволило наземным мощным энергетическим ГТД (мощностью более 150 МВт), в основном применяемых в ПГУ, постепенно преодолевать технологическое отставание от авиадвигателей. В новейших моделях мощных энергетических ГТД (Siemens SGT5–8000H $N_e = 340$ МВт) достигнута рабочая температура газа перед турбиной $T_{Gmax}^* = 1700...1800$ К.

Увеличение температуры газа в цикле для перспективных корабельных ГТД вызывает необходимость решения и проблемы высокотемпературной коррозии рабочих и сопловых лопатках ТВД, появляющейся в условиях высокой температуры и агрессивных соединений после сжигания органического топлива. Проблема обеспечения достигнутого уровня, а в перспективе и увеличения назначенного ресурса для корабельных ГТД (более 40 тыс. ч) неразрывно связана с необходимостью отодвигания пределов высокотемпературной коррозии металлов. Кроме известных в настоящее время защитных покрытий (термобарьерных на основе $ZrO_2-Y_2O_3$ толщиной 100–300 мкм, диффузионных и плазменных), разрабатываются новые алитирующие покрытия толщиной 25–75 мкм с добавлением платины, что увеличивает стойкость к коррозии.

Отдельная проблема для перспективных корабельных ГТД – обеспечение в конструкции двигателя оптимального соотношения между параметрами рабочего процесса при увеличении температуры газа. Характеристики эффективности теплового цикла Брайтона для ГТД зависят от выбранного соотношения между температурой T_3 и степенью повышения давления (степенью сжатия) воздуха в компрессоре. При этом температура газа и степень сжатия в цикле жестко связаны.

В цикле ГТД оптимальные значения степени повышения давления воздуха в компрессоре для достижения максимальных КПД и величины удельной полезной работы увеличиваются с ростом T_1 (рис. 7).

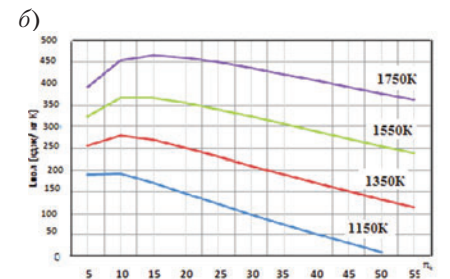
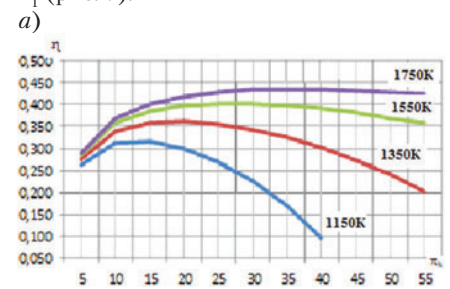


Рис. 7. Характерная зависимость КПД: а – простого цикла и удельной работы цикла от суммарной степени сжатия, б – температуры газа перед турбиной и КПД компрессора и турбины

При этом оптимальные значения степени повышения давления для максимальных значений КПД и удельной полезной работы в цикле существенно различаются. Указанная особенность теплового цикла Брайтона для ГТД приводит к возникновению проблемы выбора значения степени сжатия при проектировании. Максимальная экономичность ГТД при температуре $T_1 = 1750$ К ($\eta = 44\%$) достигается при $\pi_k^* = 35-40$, максимальная удельная полезная работа ($L_{пол} = 460$ кДж/кг) при $\pi_k^* = 15$ (см. рис. 11). Степень сжатия компрессора в современных наземных ГТД простого цикла достигает значений $\pi_k^* = 30...35$. В авиационных двигателях $\pi_k^* = 60...65$ и имеет тенденцию к дальнейшему росту (рис. 8).

При повышении степени сжатия воздуха увеличивается давление и плотность воздуха на выходе из компрессора. Площадь проходного сечения проточной части в зоне последних ступеней компрессора, размеры (высота рабочих и направляющих лопаток) также снижаются. При этом растут потери в лопаточном аппарате компрессора и турбины, приводящие к снижению их КПД. Серьезной проблемой при этом является обеспечение устойчивой работы компрессора на режимах пониженной мощности. Повышенные значения степени сжатия воздуха требуют установки дополнительных ступеней в компрессоре, что приводит к увеличению его осевых размеров, массы и др.



Рис. 8. Степень повышения воздуха в компрессоре авиационных ГТД

Политропное сжатие воздуха в компрессоре сопровождается увеличением температуры в соответствии с зависимостью

$$T_{\text{вых.к}} = T_{\text{вх.к}} \cdot \pi_k^{(k-1)/k} / \eta_k,$$

где $T_{\text{вых.к}}$ – температура воздуха на выходе из компрессора, К; $T_{\text{вх.к}}$ – температура воздуха на входе в компрессор, К; k – показатель адиабаты для воздуха; η_k – адиабатный КПД компрессора при сжатии (рис. 9).

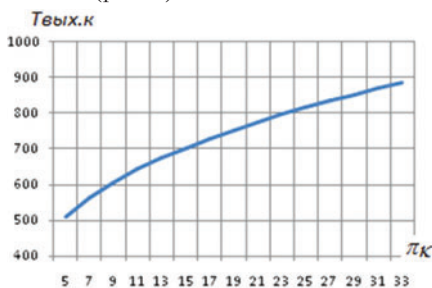


Рис. 9. Температура воздуха на выходе из компрессора $T_{\text{вых.к}}$ в конце политропного сжатия (температура воздуха на входе в компрессор $T_{\text{вх.к}} = 288\text{K}$)

При степенях сжатия $\eta_k > 15$ рабочие лопатки компрессора необходимо изготавливать из жаростойких сплавов или, как было сказано выше, решать проблемы охлаждения элементов компрессора. Для изготовления статора, лопаток компрессора приходится использовать хромистые теплоустойчивые, а также никель-хромистые стали. Это приводит к увеличению стоимости двигателя, усложняет конструкцию, технологию изготовления лопаток, дисков и др.

Существующие подходы к разработке новых двигателей с повышенными параметрами основываются на применении ранее разработанных турбокомпрессорных блоков с внесением конструктивных изменений. Например, в конструкции ГТД LM2500+ используется компрессор двигателя

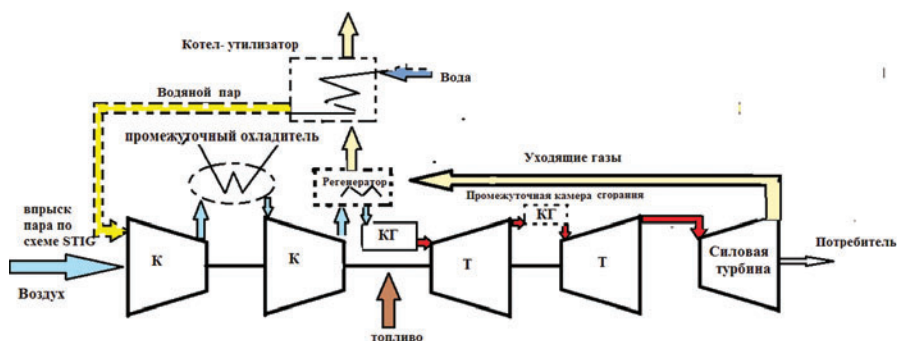


Рис. 10. Возможности усложнения конструкции ГТД (без схемы в составе ПГУ)

ГТД LM2500 (добавлена еще одна ступень), ГТД LM2500 – компрессор ТРДД TF-39. Указанный компрессор используется и морским ГТД SM1A (Великобритания). Аналогично подходят к созданию ГТД M70ФРУ, в конструкции которого используется компрессор двигателя ГТД M75РУ. В настоящее время рассматриваются варианты разработки перспективных корабельных ГТД 5-го поколения на основе существующего газогенератора авиационного ГТД ПС-90А и др.

С увеличением удельной полезной работы в цикле при увеличении температуры газа для перспективных корабельных ГТД приходится решать проблему обеспечения оптимальных условий функционирования турбокомпрессорного блока и силовой турбины. Проблема связана с необходимостью увеличения частоты вращения компрессора и увеличения числа ступеней в силовой турбине. Например, частота вращения в ГТД M62 2-го поколения $\eta_k = 6800$ об/мин, используется трехступенчатая силовая турбина; в корабельном газотурбинном двигателе LM2500 $\eta_k = 9600$ об/мин – шестиступенчатая силовая турбина. Увеличение частоты вращения компрессора приводит к росту центробежных нагрузок на лопатки и диски, возрастанию уровня механических

напряжений. Число ступеней силовой турбины влияет на изменение массогабаритных характеристик, стоимость двигателя и др.

Рассматривая проблемы реализации потенциальных возможностей теплового цикла Брайтона за счет его усложнения, необходимо отметить, что в перспективных корабельных ГТД теоретически возможно использование промежуточного охладителя воздуха в компрессоре, промежуточной камеры сгорания, регенератора в различных сочетаниях (рис. 10).

Применение промежуточного охладителя позволяет уменьшить работу сжатия воздуха в компрессоре, а использование промежуточной камеры сгорания – увеличить работу расши-

рения газа в турбине, и, как следствие, удельную полезную работу до 40–45% по сравнению с простым циклом:

$$L_{\text{пол}} = L_{\text{расш}} - L_{\text{сжат}}.$$

При этом можно говорить о возможности создания более мощных перспективных двигателей или уменьшения их габаритов (отметим, что при увеличении удельной полезной работы при неизменной мощности двигателя требуется меньшее количество воздуха). Но практическое использование ГТД с промежуточным охладителем связано с проблемами обеспечения расхода теплоносителя для охлаждения воздуха, ростом расхода топлива в двигателе. Практическое использование ГТД с промежуточным подогревом ограничено из-за возможного снижения КПД цикла. Такой цикл в настоящее время используется только в энергетических наземных ГТД в составе ПГУ, например, GT24 и GT26 мощностью 180 и 260 МВт фирмы «Alstom».

Применение регенератора (рекуператора) в конструкции ГТД позволяет увеличить КПД цикла по сравнению с простым до 40–42%. Конструкция регенератора отличается относительной простотой по сравнению с промежуточным охладителем, промежуточной камерой сгорания, при его работе не требуется энергии (для прокачки теп-

ноносителя, подвод топлива). Но регенерация тепла возможна, если температура газов после расширения в турбине $T_{\text{вых.г.т.}}$ существенно выше температуры воздуха на выходе из компрессора $T_{\text{вых.компр.}}$ – перед входом в камеру сгорания: $T_{\text{вых.г.т.}} \gg T_{\text{вых.компр.}}$, т. е. при относительно высокой температуре газа перед входом в турбину и небольшой степени сжатия $\pi_k^* = 4 \dots 10$.

Сочетание относительной высокой температуры газа и небольшой степени сжатия характерно для несбалансированного относительно рабочих параметров ГТД с низкой эффективностью или специально спроектированного ГТД с регенератором. Проблема практического применения регенератора заключается в том, что металлоемкость и стоимость оборудования ГТД при этом значительно увеличивается (в 1,6 раза и более), возрастают гидравлические сопротивления и массогабаритные характеристики двигателя, установки ухудшаются.

Площадь поверхности теплообмена между газом и воздухом в регенераторе, например, для ГТД мощностью $N_e = 10$ МВт может достигать 3000–5000 м². В настоящее время регенеративный цикл достаточно широко используется в наземных ГТД небольшой размерности (мощностью до 16 МВт) и в микротурбинах, для которых применение высокой степени сжатия ограничивается малой размерностью лопаточных машин.

Соответственно одновременное использование промежуточного охладителя или дополнительной промежуточной камеры сгорания и регенератора позволяет увеличить удельную полезную работу цикла и КПД. В конце 90-х гг. совместными усилиями «R-R» (Великобритания) и «Northrop Grumman» (США) был создан ГТД WR-21 с КПД 43–44% со сложным термогазодинамическим циклом – с промежуточным охладителем и рекуператором для ГЭУ эсминцев «Daring». Максимальная экономичность двигателя соответствует режимам работы от 50 до 75%. На режиме номинальной нагрузки КПД немного меньше – 39–40%.

Усложнение конструкции двигателя при использовании названных выше устройств при повышении экономичности (до $\eta = 0,42 \dots 0,45$) приводит к существенному ухудшению массогабаритных характеристик энергетической установки в целом, возрастает трудоемкость технического обслуживания, ремонта и др. Серьезной проблемой для существующих и перспективных ГТД сложного цикла является существующая зависимость характеристик двигателя от параметров теплоносителя в системе охлаждения промежуточного охладителя воздуха.

В перспективе можно рассматривать конструкции корабельных ГТД, позволяющие реализовывать в тепловом цикле Брайтона рабочие температуры газа на входе в газовую турбину до 1500 °С, $\pi_k > 35$. При этом характеристики перспективных ГТД 5-го поколения могут составлять:

- КПД ГТД простого цикла – более 42–44%, сложного – более 48%, не уступающим дизельным двигателям;
- максимальная агрегатная мощность корабельных ГТД может быть увеличена до $N_e > 60 \dots 65$ МВт за счет удельной полезной работы газа и номинальной производительности компрессора G_b (кг/с):

$$N_e \approx L_{\text{пол.}} G_b.$$

Как было ранее рассмотрено, максимальные значения удельной полезной работы при развитии корабельных ГТД непрерывно увеличиваются, но имеют ограничения. Производительность компрессора также не может расти до бесконечности. Например, в корабельном ГТД МТ-30 (Великобритания) производительность компрессора $G_b = 159$ кг/с (рис. 11).

При увеличении производитель-

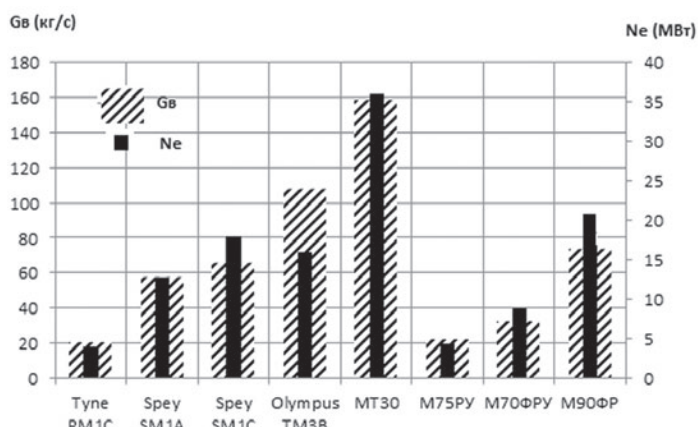


Рис. 11. Характеристики агрегатной мощности и расхода воздуха для корабельных ГТД

ности компрессора растет площадь проходного сечения проточной части компрессора и турбины, повышаются массогабаритные характеристики воздухозаборных и газовыпускных устройств. Например, при $G_b = 159$ кг/с площадь проходного сечения входного устройства компрессора может составлять $F > 2,5$ м², что соответствует условному диаметру проходного сечения компрессора $D > 1,65 \dots 2,15$ м.

Увеличение диаметра проходного сечения компрессора и, как следствие, диаметра турбокомпрессорного блока приводит к росту окружных скоростей рабочих лопаток компрессора и турбины. Возрастают центробежные нагрузки вращающихся элементов турбомашин, механические напряжения. В

настоящее время максимальные значения окружной скорости для элементов ГТД ограничиваются $u < 300 \dots 350$ м/с. Увеличение агрегатной мощности перспективного корабельного ГТД за счет впрыска пара в проточную часть компрессора по схеме STIG (рис. 11), возможно, но в настоящее время целесообразно только для стационарных энергетических установок.

Проблемы реализации потенциальных возможностей теплового цикла в перспективных корабельных ГТД 5-го поколения в настоящее время могут быть решены лишь при тесной кооперации научно-производственных предприятий и организаций, проведении целого комплекса научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ с учетом мирового опыта проектирования, опыта реализаций лучших технических решений в ГТД ранних поколений, наличии государственной программы и финансирования в целях развития корабельного газотурбостроения. При этом затраты на создание опытного экземпляра двигателя могут быть компенсированы лишь в результате серийного производства, а серийное производство корабельных ГТД,

в свою очередь, неразрывно связано с общей кораблестроительной программой развития ВМФ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ход реализации в США программы создания перспективного авиационного ГТД // Зарубежное военное обозрение 2013. – № 6. – С. 64–67.
2. Иванов Ю. Применение перспективных технологий в надводном кораблестроении за рубежом // Зарубежное военное обозрение. – 2011. – № 1. – С. 79–95.
3. Иноземцев А. Двигатель ПД-14 – будущее российского авиапрома // Военно-промышленный курьер. – <http://vpk-news.ru/articles/17206>.
4. Федоров И. Сегодня мы строим новый «Сатурн». – <http://vtbrussia.ru/>. 15.08.2013. ■

Специалистами АО «СПМБМ «Малахит» было разработано и запатентовано техническое решение малогабаритной пусковой установки (ПУ) с силовым приводом на основе линейного электродвигателя (ЛЭД) [1]. Пусковая установка предназначена для постановки за борт подводной лодки (ПЛ), находящейся в подводном положении радиобуев, сигнальных патронов, средств радиоэлектронной борьбы и гидроакустического противодействия и других изделий калибром 123 мм (далее – изделий).

Принцип действия ПУ состоит в следующем: после загрузки изделия в ПУ, заполнения ее водой и выравнивания давления с забортным происходит «взвод» поршня – он передвигается в крайнее верхнее положение, сообщая при этом внутреннюю полость ПУ с гидравлическим цилиндром. При выстреле поршень движется вниз под действием силы Ампера и создает давление, выбрасывающее изделие из ПУ. При прохождении расстояния, достаточного для выброса изделия из пусковой трубы, ЛЭД переключается на медленный режим хода, и поршень, достигнув крайнего нижнего положения, разобщает внутреннюю полость ПУ от забортной среды [2].

Целью работы является создание алгоритма оптимизации параметров силового привода данной ПУ. При этом будут рассматриваться только параметры, определяемые конструкцией самой ПУ, без обозначения типа и конструкции линейного электродвигателя. В рамках принятого схематического решения и заданных требований к конструкции ПУ параметры линейного привода можно условно разделить на жестко заданные и варьируемые. К жестко-заданным относятся, в частности, длина статора ЛЭД, определяемая заданной максимальной длиной ПУ ($L_{ПУ} - L_{ВЕРХ} - L_{НИЗ}$), и внутренний диаметр поршня-индуктора, определяемый диаметром пусковой трубы. Основными варьируемыми параметрами являются наружный диаметр поршня-индуктора и его длина.

Учитывая сравнительно небольшую мощность данной ПУ, можно создать установку и без решения задачи оптимизации, исходя только из чисто конструктивных и технологических требований. Актуальность задачи оптимизации определяется следующими факторами:

- а) общей тенденцией к повышению КПД и энергоэффективности во всех областях техники;
- б) возможностью создания серии различных ПУ, отличающихся длиной пусковой трубы – в этом случае алгоритм оптимизации позволит рассмотреть параметры силового привода для всей серии ПУ и использовать унифицированные элементы привода, что повысит технологичность и уменьшит стоимость ПУ;
- в) возможностью использования алгоритма, составленного для малогабаритной ПУ при создании ПУ большего калибра, для которой вопрос энергозатрат будет стоять острее.

ПОСТРОЕНИЕ АЛГОРИТМА ОПТИМИЗАЦИИ

Термином «оптимизация» в литературе обозначают процесс или последовательность операций, позволяющих получить уточненное решение. Хотя конечной целью оптимизации является поиск наилучшего или «оптимального» решения, обычно приходится довольствоваться улучшением решения до некоторой величины. С математической точки зрения задача оптимизации представляет собой процесс нахождения минимума или максимума некоторой функции, называемой *целевой функцией*. Величины, значения которых варьируются в процессе оптимизации, называются *проектными параметрами*. Область, определяемая всеми проектными параметрами, называется *пространством проектирования*. При этом на

ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ СИЛОВОГО ПРИВОДА МАЛОГАБАРИТНОЙ ПУСКОВОЙ УСТАНОВКИ

А.А. Борискин, инженер-конструктор 1-й категории АО «СПМБМ «Малахит», контакт. тел. (812) 242 1547

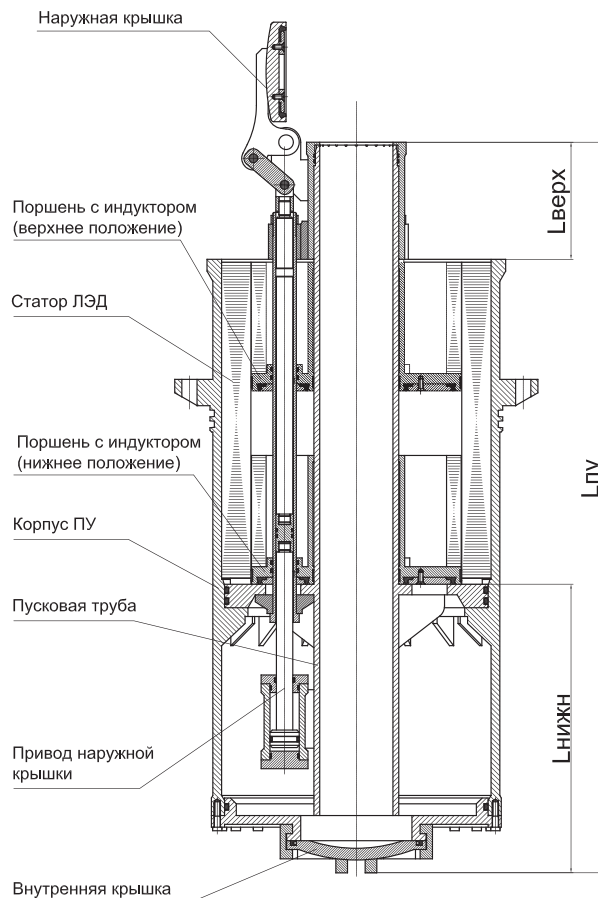


Рис. 1. Пусковая установка. Общий вид

пространство проектирования накладываются *ограничения* в виде равенств или неравенств, определяемые, исходя из условий работы оптимизируемого механизма. Из-за наличия ограничений-неравенств часто целевая функция имеет наиболее оптимальное решение не там, где ее поверхность имеет нулевой градиент [3].

В решаемой задаче:

- а) целевая функция – механическая работа на поршне со стороны ЛЭД;
- б) проектные параметры – наружный диаметр D и длина $L_{П}$ поршня-индуктора;

Ограничениями неравенствами являются:

- а) объем жидкости, прокачиваемой силовым приводом, должен быть больше объема пусковой трубы (рис. 1 и рис. 2):

$$(L_{ПУ} - L_{ВЕРХ} - L_{НИЗ} - L_{П}) \times \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) > L_{ПТ} \frac{\pi}{4} D_{ПТ}^2; \quad (1)$$

- б) скорость выхода изделия в должна быть больше или равна заданной, ускорение не должно превышать максимально допустимого значения:

$$V_{И} \geq V_{И}^{3АД}; \quad (2)$$

$$\frac{dV_{И}}{dt} \leq \frac{dV_{И}}{dt} \max; \quad (3)$$

в) скорость поршня в момент остановки в нижнем положении должна быть не более заданной (безударное торможение):

$$V_{\text{п}} \leq V_{\text{п}}^{\text{зад}}. \quad (4)$$

Самым простым решением задачи оптимизации является метод полного перебора, при котором для каждого варианта сочетания значений проектных параметров с некоторым дискретным шагом проводится проверка на нахождение в пространстве проектирования (т.е. на выполнение ограничений-неравенств). Затем значения сравниваются между собой. Данный метод и принят за основу при создании алгоритма.

Если для проверки выполнения ограничения «а» достаточно простой подстановки значений в формулу (1), то для проверки условий «б» и «в» необходимо построение математической модели внутренней баллистики ПУ. Построим данную модель.

Движение поршня и изделия описывается вторым законом Ньютона:

$$\frac{dV_{\text{п}}}{dt} = \frac{F_{\text{лэд}} + (P_{\text{наруж}}^{\text{п}} - P_{\text{внутр}}^{\text{п}})S_{\text{п}} + m_{\text{п}}g - F_{\text{тр}}^{\text{п}} - F_{\text{гт}}}{m_{\text{п}}}; \quad (5)$$

$$\frac{dV_{\text{и}}}{dt} = \frac{(P_{\text{корм}}^{\text{и}} - P_{\text{нос}}^{\text{и}})S_{\text{изд}} - m_{\text{и}}g - F_{\text{гт}}^{\text{и}} - R_{\text{гд}}}{m_{\text{и}}}, \quad (6)$$

где $F_{\text{лэд}}$ – сила, создаваемая ЛЭД, $F_{\text{тр}}^{\text{п}}$ – сила трения, $F_{\text{гт}}^{\text{п}}$ – сила создаваемая гидравлическим тормозом, m – масса, g – ускорение свободного падения, P – давления, S – площади поперечного сечения. Индексы «П» «И» – поршень и изделие соответственно.

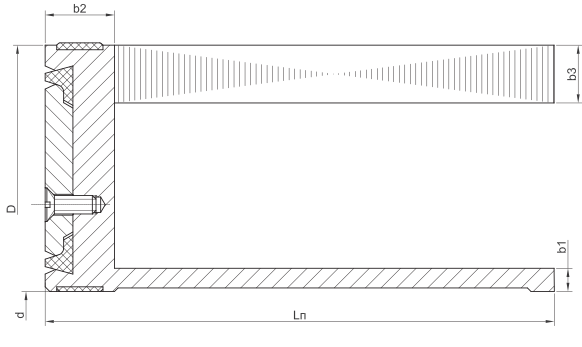


Рис. 2. Определение параметров поршня

Масса поршня приблизительно равна (рис. 2):

$$m_{\text{п}} = \rho \frac{\pi}{4} ((d + b_1)^2 - d^2) \times (L_{\text{п}} - b_2) + \rho \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) \times b_2 + \rho \frac{\pi}{4} (D^2 - (D - b_3)^2) \times (L_{\text{п}} - b_2). \quad (7)$$

Сила, развиваемая двигателем, в первом приближении может быть описана как возрастающая экспоненциально:

$$F_{\text{лэд}} = F_{\text{лэд}}^{\text{макс}} \times (1 - e^{-\frac{t}{\tau}}); \quad (8)$$

где $F_{\text{лэд}}^{\text{макс}}$ – максимальная сила на ЛЭД с единицы площади индуктора, t – время, τ – постоянная времени ЛЭД.

Для получения входящих в (5) и (6) давлений на наружной и внутренней поверхностях поршня и на носовой и кормовой поверхности изделия необходимо построить гидравлическую схему (рис. 3).

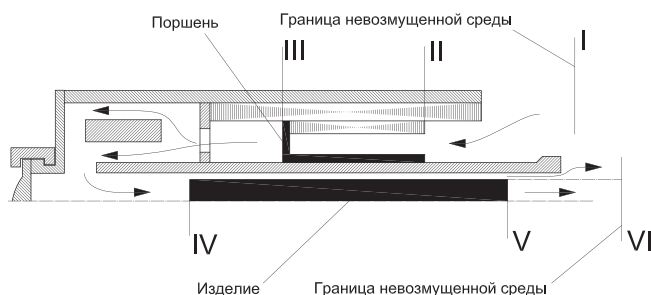


Рис. 3. Гидравлическая схема ПУ при выходе изделия

Из рис. 3 видно, что имеются четыре участка движения жидкости: от невозмущенной среды до наружного торца поршня (I–II); от внутреннего торца поршня до кормы изделия (III–IV); от кормы изделия через зазор до невозмущенной среды (IV–VI); от носа изделия до невозмущенной среды (V–VI).

Запишем уравнение Бернулли для каждого участка. Поскольку перепад высоты между конечными сечениями невелик, этой составляющей потенциальной энергии жидкости можно пренебречь:

$$P_{\text{заб}}^{\text{п}} = P_{\text{наруж}}^{\text{п}} + \frac{\rho}{2} V_{\text{п}}^2 + \xi_1 \frac{\rho}{2} V_{\text{п}}^2 + L_1 \rho \frac{dV_{\text{п}}}{dt}; \quad (9)$$

$$P_{\text{внутр}}^{\text{п}} + \frac{\rho}{2} V_{\text{п}}^2 = P_{\text{корм}}^{\text{и}} + \frac{\rho}{2} V_{\text{пт}}^2 + \xi_2 \frac{\rho}{2} V_{\text{пт}}^2 + L_2 \rho \frac{dV_{\text{пт}}}{dt}; \quad (10)$$

$$P_{\text{заб}}^{\text{и}} = P_{\text{корм}}^{\text{и}} + \frac{\rho}{2} V_{\text{заз}}^2 + \xi_3 \frac{\rho}{2} V_{\text{заз}}^2 + L_3 \rho \frac{dV_{\text{заз}}}{dt}; \quad (11)$$

$$P_{\text{нос}}^{\text{и}} + \frac{\rho}{2} V_{\text{и}}^2 = P_{\text{корм}}^{\text{и}} + \frac{\rho}{2} V_{\text{пт}}^2 + \xi_4 \frac{\rho}{2} V_{\text{пт}}^2 + L_4 \rho \frac{dV_{\text{пт}}}{dt}, \quad (12)$$

где ξ – гидравлические сопротивления участков, L – длины участков, $V_{\text{пт}}$, $P_{\text{пт}}$ – скорость и давление жидкости в пусковой трубе до изделия, $V_{\text{заз}}$ – скорость жидкости в зазоре между изделием и стенкой пусковой трубы, $P_{\text{заб}}^{\text{п}}$ – заборное давление.

Путем подстановки выраженных величин давлений из (9), (10), (11), (12) в (5), (6), а также с учетом того, что, исходя из свойств неразрывности жидкости,

$$V_{\text{пт}} = V_{\text{п}} \frac{S_{\text{п}}}{S_{\text{пт}}}; \quad (13);$$

$$V_{\text{заз}} = \frac{V_{\text{п}} S_{\text{п}} - V_{\text{и}} S_{\text{и}}}{S_{\text{заз}}}, \quad (14),$$

решена задача Коши для системы дифференциальных уравнений (5), (6). Уравнения могут быть решены и численными методами (Эйлера или Рунге-Кутты), при этом на каждом шаге интегрирования проверяется условие (3), а при выходе изделия из пусковой трубы – условие (2).

После выхода изделия из пусковой трубы гидравлическая схема приобретает вид, приведенный на рис. 4.

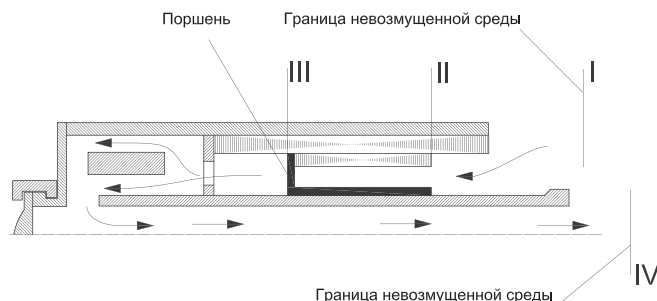


Рис. 4. Гидравлическая схема при торможении поршня

При этом движение поршня по-прежнему описывается уравнением (5), давления в него могут быть получены из уравнения (9) и из уравнения

$$P_{\text{внутр}}^{\text{п}} + \frac{\rho}{2} V_{\text{п}}^2 = P_{\text{заб}}^{\text{п}} + \xi_2 \frac{\rho}{2} V_{\text{пт}}^2 + L_2 \rho \frac{dV_{\text{пт}}}{dt}. \quad (15)$$

Сложность расчета процесса торможения поршня возрастает при необходимости учета наличия гидравлического тормоза, сила торможения которого $F_{\text{гт}}$ зависит от скорости поршня.

Для расчета целесообразно использовать следующий алгоритм: в момент выхода изделия из пусковой трубы параметры движения поршня запоминаются, после происходит расчет торможения при выключенном ЛЭД ($F_{\text{лэд}} = 0$). В случае невыполнения ограничения (4) происходит многократный пересчет уравнений динамики с момента выхода изделия с включением двигателя в тормозном режиме на все большее

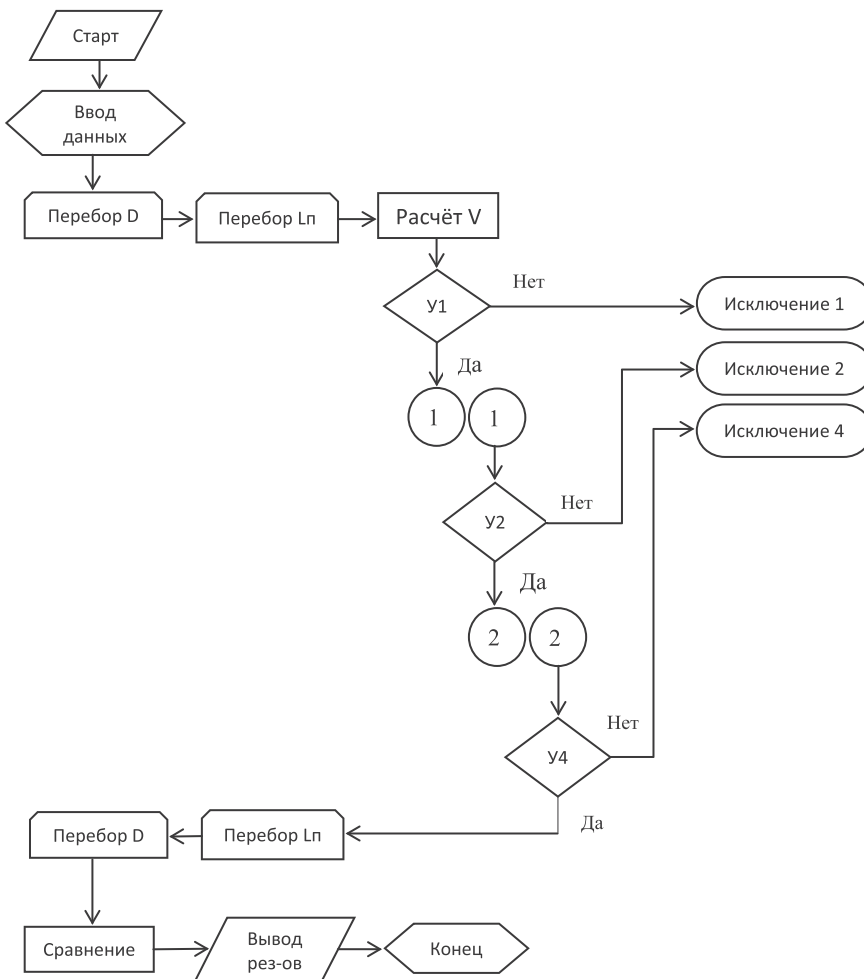


Рис 5. Алгоритм расчета (общая часть)

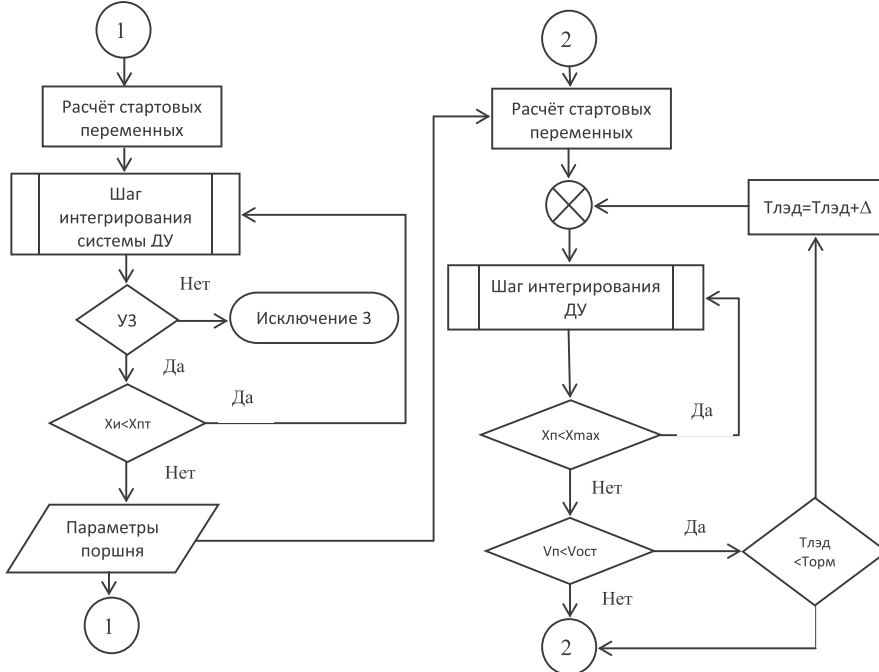


Рис 6. Алгоритм расчета (часть дифференциальных уравнений)

время до тех пор, пока неравенство (4) не будет выполнено. В случае если при постоянной работе двигателя в течение торможения неравенство (4) не будет выполнено, вариант отбрасывается.

Итоговый алгоритм расчета приведен на рис. 5 и рис. 6. В схеме:

У1...У4 – проверка выполнения условий-неравенств;

V – объем жидкости, прокачиваемый силовым приводом;

Хп, Хмакс – текущее и максимально возможное перемещение поршня;

Хпт – путь изделия;

Хпт – длина пусковой трубы;

Vп – скорость поршня;

Vост – заданная скорость остановки поршня;

Тлэд – время работы ЛЭД в режиме торможения;

Торм – время торможения.

Приведенный алгоритм позволяет выполнить расчеты по оптимизации ПУ в зависимости от заданных проектных параметров и ограничений и будет использован на последующих этапах проектирования.

ВЫВОДЫ

Составленный алгоритм оптимизации и математическая модель позволят на любом этапе проектирования оценить работоспособность и энергоэффективность ПУ в зависимости от принятых проектных решений.

Алгоритм составлен в общем виде и будет применен для установок подобного принципа действия различной длины и калибра.

ЛИТЕРАТУРА

1. Борискин А.А., Владимиров Т.В., Колюхов А.С., Лавренов С.Н., Михлин В.Г., Румянцев Д.Н., Убытков М.А. Патент РФ №2648912 опубл. 28.03.2018. // Бюл. №10. «Пусковая установка подводной лодки», 2018.
2. Борискин А.А., Лавренов С.Н., Убытков М.А. и др. Перспективы развития внутренних пусковых установок малого калибра на ПЛ// Мат-лы конфер. «ВОКОР-2016». – СПб, 2016.
3. Шун Т. Решение инженерных задач на ЭВМ. – М.: Мир, 1982. ■

Трехэксцентриковый дисковый затвор (ДЗ) – запорная арматура, устанавливаемая на трубопровод и предназначенная для перекрытия потока рабочей среды. ДЗ имеет более высокие массогабаритные характеристики по сравнению с клапанами, кранами шаровыми, задвижками, поэтому он все чаще применяется в различных трубопроводных системах во всех отраслях промышленности, в том числе и в судостроении. ДЗ в системах судостроительной отрасли используются в среде морской воды, что накладывает особые требования к выбору материалов составных частей, соприкасающихся с этой средой. Для обеспечения требуемого ресурса изделия целиком каждый элемент в отдельности должен сохранять свою работоспособность на протяжении заданного ресурса, который выражается в количестве циклов срабатывания изделия и часах работы. Конструктивно ДЗ имеет два наиболее нагруженных узла, определяющих общий ресурс изделия – это узел трения «опорные втулки–шпиндель» и узел затвора «ламельное уплотнение–седло корпуса».

Потеря работоспособности опорных втулок (рис. 1) происходит в основном из-за износа трущихся поверхностей, появления на этих поверхностях задиров и последующего заклинивания изделия. Потеря работоспособности узла затвора (рис. 2) происходит в результате износа уплотнительной поверхности седла корпуса с появлением на этой поверхности царапин и рисок, приводящих к потере герметичности ДЗ.

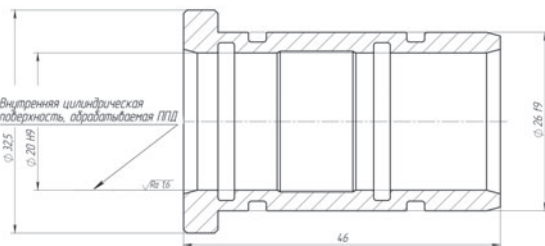


Рис. 1. Опорная втулка трехэксцентрикового дискового затвора

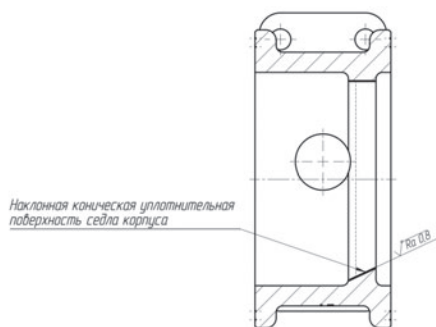


Рис. 2. Корпус трехэксцентрикового дискового затвора

Для увеличения ресурса опорных втулок и узла затвора обычно применяют упрочнение поверхностей путем нанесения на поверхности трения покрытия из твердых и износостойких материалов методом сверхскоростного детонационного напыления. Однако этот метод имеет ряд недостатков. Требования к качеству поверхностей опорных втулок (Ra 1,6) и узла затвора (Ra 0,8) не могут быть обеспечены методом сверхскоростного детонационного напыления без введения операций механической обработки (чистовое точение, шлифование) после нанесения покрытия. При этом из-за плохой адгезии покрытия с основным металлом деталей часты случаи скалывания покрытия при обработке резанием. Для предотвращения скалывания покрытия поверхности, на которые оно наносится, сопряженные поверхности должны иметь

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТРЕБУЕМОГО РЕСУРСА ТРЕХЭКСЦЕНТРИКОВЫХ ДИСКОВЫХ ЗАТВОРОВ

П.Г. Васильев, магистр техники и технологии, заместитель гл. конструктора – начальник конструкторского бюро,
Д.А. Лебедев, начальник конструкторского бюро,
С.С. Остапенко, начальник цеха,
О.А. Голубенко, зам. начальника цеха,
 АО «Машиностроительный завод «Армалит»,
 контакт. тел. (812) 603 4077 доб. 802, 459 4475

плавные переходы, но даже наличие таких переходов сокращает процент брака незначительно. Требуется полное удаление дефектного покрытия и повторное нанесение (зачастую неоднократно), что делает эту технологию дорогостоящей.

В настоящей статье рассмотрим вариант упрочнения поверхностей опорных втулок и узла затвора, подверженных износу, без нанесения износостойкого покрытия, методом поверхностного пластического деформирования (ППД). Описываемый метод направлен на изменение структуры поверхностного слоя деталей, что позволяет гарантированно обеспечить отсутствие его откалывания от материала основного металла. Существенным достоинством ППД является обеспечение требуемого качества поверхности без последующей механической обработки.

ППД металла, осуществляемое в холодном состоянии, сопровождается упрочнением его поверхностного слоя – наклепом. При этом существенно повышаются показатели сопротивления металла деформированию (твердость, пределы текучести, прочности и пр.), а показатели пластичности (относительное остаточное удлинение и сужение) значительно снижаются.

По современным научным представлениям, основной причиной упрочнения является лавинообразное развитие дислокаций в пластически деформированном слое. Они скапливаются вблизи линий сдвигов и затем застревают перед различными препятствиями, которые образуются в процессе деформации или существовали до нее (пересечение траекторий движения дислокаций, межкристаллитные граничные слои и т.п.).

Упрочнение металла при ППД сопровождается повышением твердости поверхностного слоя, которое принято характеризовать степенью и глубиной наклепа. На рис. 3 приводятся типичные кривые изменения твердости по сечению детали, обработанной ППД.

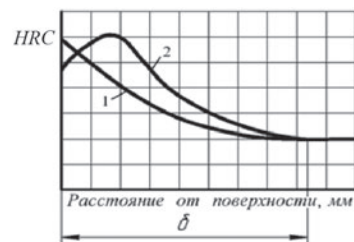


Рис. 3. Типичные кривые изменения твердости по сечению заготовки, обработанной ППД

1 – кривая, характерная для ППД с режимами без перенаклепа, при котором происходит разрушение кристаллической решетки в поверхностном слое заготовки;
 2 – кривая, характерная для ППД с режимами обработки, при которых происходит перенаклеп или отмечается состояние, близкое к перенаклепу

Для упрочнения поверхностей опорных втулок и узла затвора с помощью ППД нами было предложено использование метода раскатки внутренних цилиндрических поверхностей опорных втулок, позволяющего повысить исходную твердость поверхности. Этим обеспечивается требуемая разность твер-

достей поверхности опорных втулок и поверхности шпинделя, что, в свою очередь, снижает износ деталей и препятствует появлению на этих поверхностях задигов.

При проведении экспериментальных работ по раскатке внутренней цилиндрической поверхности опорных втулок из бронзы БрАЖНМц 9-4-4-1 многшариковой сепаратной раскаткой (рис. 4) по жесткой схеме с принудительной осевой подачей ($s = 0,05$ мм/об на один шарик), с оборотами вращения $n = 50$ об/мин, с непрерывной подачей масла были получены результаты, отраженные в табл. 1. После раскатки образцы разрезались вдоль на две половинки с последующим замером твердости. Исходная твердость образцов составляла от 21 до 23 HRC.

Таблица 1

Твердость внутренней цилиндрической поверхности опорной втулки после ППД

Результаты замера твердости в трех точках, HRC				СН, %
1	2	3	Среднее	
36	36	36,5	36	56
37,5	34	37,5	36	56
39,5	40	39	39,5	72
39	39	38	38,5	67
32	34	39	35	52
39,5	39,5	40	39,5	72
37	39	36	37	61
38	40	39	39	69
39,5	40	39	39,5	72
37,5	40,5	39	39	69
33,5	36	34	34,5	50
37	37,5	37	37	61
37	40	33	36,5	59
38	40	38,5	38,5	67
38	40	37	38	65
38	40	39	39	69
39,5	40,5	39	39,5	72
37	39	36,5	37,5	63
39	39,5	40	39,5	72
39	40	38,5	39	69
36	38,5	33	35,5	54
36	37,5	36	36,5	59
37	38	37	37	61
35	37	38,5	36,5	59

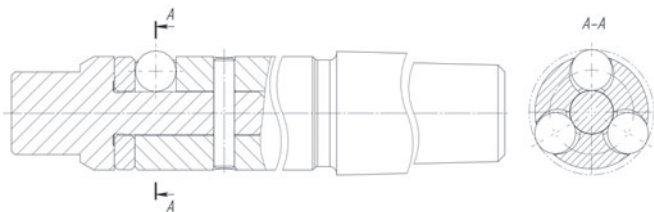


Рис. 4. Многшариковая сепаратная раскатка

Степень наклепа (СН) – это степень увеличения твердости поверхности после ППД, она рассчитывается по формуле

$$СН = \frac{HRC_2 - HRC_1}{HRC_1} \cdot 100\%,$$

где HRC_2 – твердость поверхности после обработки ППД; HRC_1 – исходная твердость обрабатываемого материала.

В результате ППД опорных втулок степень наклепа составила от 50 до 71%, шероховатость внутренней цилиндрической поверхности опорных втулок после ППД – от Ra0,8 до Ra1,6.

Время обработки ППД одной детали напрямую зависит от величины осевой подачи и при подаче, равной $s = 0,05$ мм/об, на один шарик составило около 20 минут.

Для повышения производительности был предложен способ раскатки внутренних поверхностей вращения, заключающийся в том, что при подаче устройства шарики, закрепленные в пазах устройства, деформируют обрабатываемую внутреннюю поверхность вращения детали на определенную величину, при этом каждый шарик вне зависимости от его расположения в пазах устройства движется по индивидуальной траектории, не наслаивающейся на траектории других

шариков, причем траектории равномерно расположены по поверхности, а подача устройства рассчитывается по формуле

$$t = 2 \cdot n \cdot m \cdot \sqrt{Rz \cdot (D - Rz)},$$

где t – расчетная величина подачи устройства (мм); n – количество пазов в оправке устройства; m – количество шариков в пазу устройства; Rz – требуемая высота микронеровностей внутренних поверхностей вращения обрабатываемой детали; D – диаметр шарика устройства, мм.

В итоге подача принимается равной ближайшему меньшему значению подачи на металлорежущем станке t_{cr} , на который будет установлено устройство.

Дополнительно было разработано устройство для раскатки внутренних поверхностей вращения, состоящее из оправки, в которой равномерно расположены не менее трех глухих пазов в плоскости, перпендикулярной оси устройства; шариков, расположенных в пазах (в каждом пазу не менее двух шариков), и фиксатора шариков от их осевого перемещения, сконструированное таким образом, что между диаметром каждого шарика устройства и принятой подачей металлорежущего станка выполняется следующая зависимость:

$$D_{расч} = \frac{t_{cr}^2}{4 \cdot n^2 \cdot m^2 \cdot Rz} + Rz,$$

где $D_{расч}$ – расчетный диаметр шарика устройства, обеспечивающий требуемую высоту микронеровностей внутренних поверхностей вращения обрабатываемой детали, мм; t_{cr} – подача металлорежущего станка, мм.

Данный способ раскатки внутренних поверхностей вращения и устройство для его осуществления позволяют повысить производительность обработки (сократить время раскатки) за счет увеличения подачи устройства без снижения требуемого качества обрабатываемой поверхности (с соблюдением требуемой высоты микронеровностей). Подача устройства увеличивается в количество раз, равное количеству пазов в оправке и количеству шариков в пазу устройства.

Использование метода раскатки внутренней конической наклонной поверхности седла корпуса ДЗ также позволит повысить исходную твердость поверхности. Повышение твердости уменьшит износ уплотнительной поверхности седла корпуса и снизит вероятность появления на этих поверхностях царапин, рисок, приводящих к потере герметичности ДЗ.

Для осуществления данного метода разработана конструкция конической многорольковой сепаратной раскатки по жесткой схеме с принудительной осевой подачей, представленная на рис. 5.

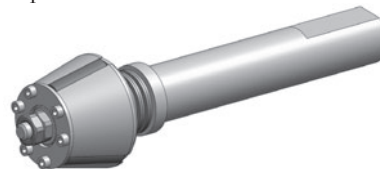


Рис. 5. Коническая многорольковая сепаратная раскатка

Использование метода раскатки внутренних цилиндрических поверхностей опорных втулок и внутренней конической наклонной поверхности седла корпуса ДЗ обеспечивает значительный технико-экономический эффект и внедряется на АО «Армалит» в процесс изготовления линейки типоразмеров от DN80 до DN600 серийно выпускаемых ДЗ на рабочую среду «морская вода» для судостроительной отрасли.

ЛИТЕРАТУРА

1. Емельянов В.Н. Технология обработки деталей машин поверхностным пластическим деформированием: Учеб. пособие / НовГУ им. Ярослава Мудрого. – Великий Новгород, 2012.
2. Заявка на изобретение №2017146674 (РФ). МПК В24В 39/02. Способ раскатки внутренних поверхностей вращения и устройство для его осуществления / А.В. Кузнецов, Л.Н. Архипов, П.Г. Васильев, М.С. Остапенко, О.А. Голубенко. ■

Осевые колебания валопроводов особенно сильно стали проявляться после применения на судах длинноходных малооборотных дизелей с отношением хода поршня к его диаметру больше трех. У таких двигателей отсутствует перекрытие шеек коленчатого вала, поэтому уменьшается изгибная жесткость шеек, из-за этого под действием радиальной силы, приложенной к шатунной шейке, колено вала легко изгибается. Деформация изгиба сопровождается продольным укорочением или удлинением колена. В итоге податливость коленчатого вала в осевом направлении увеличивается, следовательно, растет вероятность появления опасных резонансов осевых колебаний в диапазоне эксплуатационных частот вращения валопровода. В [1,2] описаны различные явления и аварийные ситуации, вызванные резонансами осевых колебаний судовых валопроводов. Здесь лишь отметим, что эти резонансы становятся причиной повышенной вибрации, интенсивного износа упорных подшипников, фреттинг-коррозии конических сопрягаемых поверхностей, поломок коленчатого вала и т.д.

При расчете осевых колебаний коленчатый вал вместе с судовым валопроводом и гребным винтом заменяется дискретной моделью, состоящей из совокупности сосредоточенных масс. Их на расчетной модели принято изображать кружками, а осевые податливости, упруго связывающие эти массы, – отрезками прямых. В качестве примера на рис. 1 представлена дискретная модель судового валопровода для расчета осевых колебаний. На ней ответвление аппроксимирует главный упорный подшипник. Предлагается заменять его тремя массами: массой гребня, массой корпуса подшипника и присоединенной массой жесткой заделки фундамента. Все массы связаны соответствующими податливостями, наделенными еще и демпфирующими свойствами.

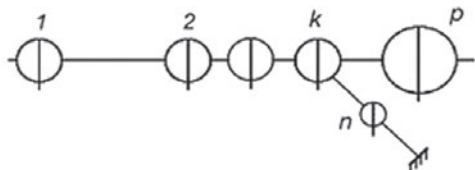


Рис. 1. Дискретная модель судового валопровода
1, 2, ..., p – номера масс; k – масса гребня; n – масса корпуса подшипника

Определение упругомассовых и демпфирующих параметров главных судовых упорных подшипников – непростая задача. Данный факт объясняется большим разнообразием применяемых конструкций, невозможностью точного учета присоединенной части фундамента и, главное, неопределенностью оценки податливости и демпфирования гидродинамического масляного слоя, образующегося между гребнем и подушками подшипника. Из-за этой неопределенности до сих пор при расчете осевых колебаний податливостью упорного подшипника задаются по опытным данным. В частности, для встроенных подшипников в двигатель осевую податливость выбирают в диапазоне от $10 \cdot 10^{-11}$ до $80 \cdot 10^{-11}$ м·Н⁻¹, при этом рекомендуется проводить параметрический анализ учета этой податливости. Насколько это оправданно, поясняет рис. 2, где показано влияние податливости упорного подшипника на частоты свободных колебаний. Видно, для одних частот это влияние ничтожно мало, а для других – весьма значительно и может достигать до 30% по резонансным оборотам двигателя. Еще более неопределенной является оценка демпфирования упорного подшипника, т.е. фактора, от которого во многом зависит амплитуды резонансных колебаний. Коэффициент демпфи-

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УПРУГИХ И ДЕМПФИРУЮЩИХ СВОЙСТВ УПОРНОГО ПОДШИПНИКА ПРИ РАСЧЕТЕ ОСЕВЫХ КОЛЕБАНИЙ СУДОВЫХ ВАЛОПРОВОДОВ

В.К.Румб, канд. техн. наук, проф.,
Хоанг Ван Ты, аспирант, СПбГМТУ,
контакт. тел. (812) 494 0952

рования рекомендуется принимать по опытным данным. Все это свидетельствует о существующей проблеме определения осевой податливости упорного подшипника.

Частота свободных колебаний, Гц

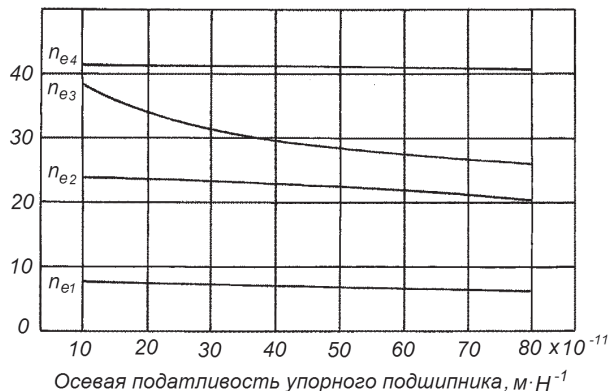


Рис. 2. Зависимость частоты свободных колебаний от осевой податливости упорного подшипника

Встроенные в остов двигателя упорные подшипники – это подшипники скольжения, работающие в режиме жидкостного трения. Как известно, при таком режиме поверхности трения разделены слоем масла, и металлический контакт между ними отсутствует. В этом случае упор от гребного винта передается корпусу судна через масляный слой, и, таким образом, закономерности развития осевых колебаний во многом определяются законами гидродинамики масляного слоя.

Конструктивно встроенный упорный подшипник (рис. 3) состоит из гребня 1, изготовленного за одно целое с коленчатым валом, упорных подушек (колодок) 2 в виде секторов с профилированной упорной поверхностью 3 и стопоров 4, которые одновременно служат местом опирания подушек и их фиксации в перегородке остова дизеля 5. Профилированием подушек обеспечивают зазор клиновидной формы, поэтому масло, прилипшее к поверхности вращающегося гребня, вовлекается в этот зазор и создает тем самым гидродинамическое давление, увеличивающееся по мере сужения зазора. Теоретической основой для определения гидродинамического давления и его изменения по зазору служит урав-

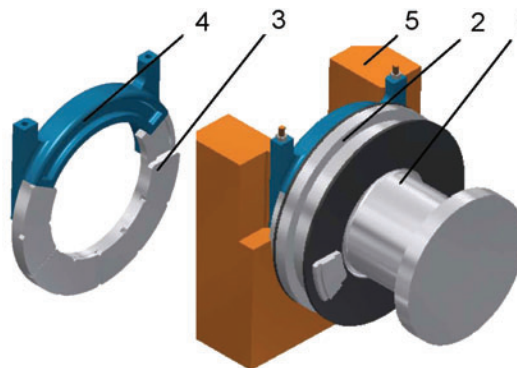


Рис. 3. Конструкция встроенного упорного подшипника

нение Рейнольдса. Если исходить из малой толщины масляной пленки и постоянства вязкости масла, соответствующей его температуре на входе в двигатель, то данное уравнение в эллиптических координатах принимает вид [3, 5]

$$\frac{\partial}{\partial r} \left(rh^3 \frac{\partial p}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial \varphi} \left(h^3 \frac{\partial p}{r \partial \varphi} \right) = 12\mu \vartheta_z r + 6\mu \frac{\partial}{\partial r} (rh\vartheta_r) + 6\mu \frac{\partial}{\partial \varphi} (h\vartheta_\varphi), \quad (1)$$

где μ – динамическая вязкость масла; h – толщина масляного слоя; ϑ_r , ϑ_φ и ϑ_z – составляющие скорости точек на поверхности гребня в радиальном, окружном и осевом направлениях (рис. 4).

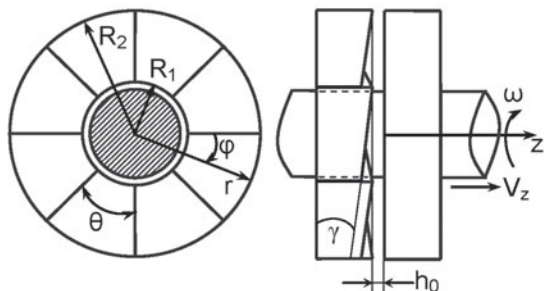


Рис. 4. Геометрия гребня и подушки упорного подшипника

Для гидродинамических самоустанавливающихся упорных подшипников с наклонными рабочими поверхностями подушек величина осевого зазора одновременно зависит от радиуса r и угла φ . На этом основании зависимость для толщины h получается из чисто геометрических рассуждений. Если считать подушку недеформируемой, то согласно [7]

$$h(r, \varphi) = h_0 + r \sin \varphi \operatorname{tg} \gamma = h_0 + r \gamma \sin \varphi, \quad (2)$$

где h_0 – установочный зазор, γ – угол наклона подушки (см. рис. 4), ввиду малости $\operatorname{tg} \gamma \approx \gamma$.

Напомним, формула (1) с учетом зависимости (2) позволяет полностью решить задачу по определению эпоры гидродинамического давления в масляном слое одной подушки. Наличие таких решений позволяет путем интегрирования выражения для давления подсчитать искомые коэффициенты жесткости и демпфирования упорного подшипника по зависимостям [4, 6]

$$K = z \int_0^{\theta} \int_{R_1}^{R_2} \left(\frac{\partial p}{\partial h} \right) r dr d\varphi, \quad (3)$$

$$B = z \int_0^{\theta} \int_{R_1}^{R_2} \left(\frac{\partial p}{\partial \vartheta_z} \right) r dr d\varphi, \quad (4)$$

где z – число упорных подушек.

Простота приведенных формул кажущаяся. Объясняется это тем, что уравнение Рейнольдса допускает точное аналитическое решение лишь для простейших частных случаев. При определении демпфирующих и упругих свойств масляного слоя реального упорного подшипника приходится прибегать к упрощениям и применять численные методы интегрирования. Классическим упрощением служит замена размерных величин их безразмерными аналогами [3, 7]. Приведение исходных уравнений к безразмерному виду несколько усложняет первоначальные преобразования, однако существенно облегчает дальнейшие вычисления, поскольку все параметры выражаются простыми числами одного порядка – единицы. Это, в свою очередь, позволяет избежать больших ошибок при численной реализации формул и получить общие закономерности распределения гидродинамического давления по рабочей поверхности упорной подушки.

При решении задачи о гидродинамических характеристиках смазочного слоя используются следующие безразмерные величины (они помечены чертой) [6, 7]:

$$\bar{r} = \frac{r}{R_2}; \quad \bar{h} = \frac{h}{h_0}; \quad \bar{\mu} = \frac{\mu}{\mu_0}; \quad \bar{\vartheta}_r = \frac{\vartheta_r}{\omega R_2};$$

$$\bar{\vartheta}_\varphi = \frac{\vartheta_\varphi}{\omega r}; \quad \bar{\vartheta}_z = \frac{\vartheta_z}{\omega h_0}; \quad \bar{p} = \frac{p h_0^2}{R_2^2 \omega \mu_0}.$$

С учетом этих величин приведенные выше уравнения после несложных преобразований могут быть представлены в безразмерном виде:

$$\frac{\partial^2 \bar{p}}{\partial \bar{r}^2} + A \frac{\partial \bar{p}}{\partial \bar{r}} + \frac{\partial^2 \bar{p}}{\bar{r}^2 \partial \varphi^2} + C \frac{\partial \bar{p}}{\partial \varphi} = D + E; \quad (5)$$

$$\bar{h} = 1 + \gamma R_2 \bar{r} \sin \varphi / h_0.$$

В этих формулах приняты следующие обозначения:

$$A = \left(\frac{1}{\bar{r}} + \frac{3}{\bar{h}} \frac{\partial \bar{h}}{\partial \bar{r}} \right); \quad C = \frac{3}{\bar{h}} \frac{\partial \bar{h}}{\bar{r} \partial \varphi}; \quad D = \frac{12 \bar{\mu} \bar{\vartheta}_z}{\bar{h}^3};$$

$$E = \frac{6 \bar{\mu}}{\bar{h}^3} \left\{ \left[\bar{h} \frac{\partial \bar{\vartheta}_r}{\partial \bar{r}} + \left(\frac{\bar{h}}{\bar{r}} + \frac{\partial \bar{h}}{\partial \bar{r}} \right) \bar{\vartheta}_r \right] + \left[\bar{h} \frac{\partial \bar{\vartheta}_\varphi}{\bar{r} \partial \varphi} + \frac{\partial \bar{h}}{\bar{r} \partial \varphi} \bar{\vartheta}_\varphi \right] \right\}.$$

Аналогичным образом можно выразить выражения (3) и (4) в безразмерном виде:

$$K = \frac{z R_2^4 \omega \mu_0}{h_0^3} \bar{K}; \quad (6)$$

$$B = \frac{z R_2^4 \mu_0}{h_0^3} \bar{B}, \quad (7)$$

где \bar{K} и \bar{B} – безразмерные коэффициенты жесткости и демпфирования:

$$\bar{K} = \int_0^{\theta} \int_{\bar{r}_1}^{\bar{r}_2} \left(\frac{\partial \bar{p}}{\partial \bar{h}} \right) \bar{r} d\bar{r} d\varphi, \quad \bar{B} = \int_0^{\theta} \int_{\bar{r}_1}^{\bar{r}_2} \left(\frac{\partial \bar{p}}{\partial \bar{\vartheta}_z} \right) \bar{r} d\bar{r} d\varphi.$$

Как уже отмечалось, интегрирование уравнений гидродинамики масляного слоя возможно только с применением численных методов. Для этого в инженерных расчетах чаще всего применяется метод конечных разностей (метод сеток). Его достоинства: простота реализации, наглядность алгоритма, приемлемая точность, возможность решения двухмерных дифференциальных уравнений. Если кратко, то суть этого метода заключается в том, что рабочая поверхность подушки радиальными прямыми и дугами окружностей разделяется на сетки (рис. 5). Для каждого узла сетки заданное дифференциальное уравнение заменяется соответствующим алгебраическим конечно-разностным аналогом. В конечном итоге эта замена приводит к системе линейных алгебраических уравнений. Решать эту систему уравнений можно любыми доступными способами, но эффективнее и удобнее это делать с привлечением метода Гаусса–Зейделя. При этом давления в узлах сетки находят итерационным путем, в результате которого одновременно должны быть удовлетворены начальные и граничные условия: начальные условия – давление масла на входе в подшипник; граничные условия – нулевые гидродинамические давления на контуре подушки.

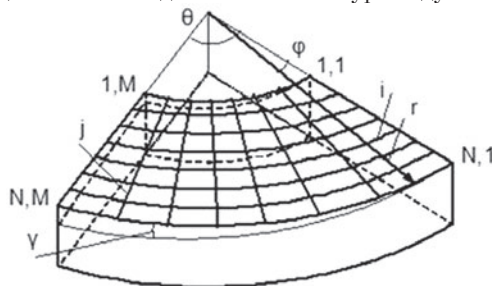


Рис. 5. Разбивка рабочей поверхности упорной подушки

Изложенное следует рассматривать как словесный алгоритм, реализация которого позволяет определить эпоры давления в масляном слое. В полном соответствии с этим алгоритмом написана программа в среде Matlab. Следует отметить, что даже при наличии программы нахождение

гидродинамических давлений не относится к простой вычислительной процедуре, что делает реализацию данного алгоритма малоприменимой для оперативных расчетов. В этом отношении удобнее в инженерных расчетах использовать зависимости калкуляторного типа, которые, несмотря на сравнительную простоту, дают решения с точностью, приемлемой для решения практических задач. Это обстоятельство вынудило разработать упрощенный подход к определению безразмерных коэффициентов жесткости \bar{K} и демпфирования \bar{B} . Его основу составляет аппроксимация интегральных решений, полученных методом конечных разностей, простыми аналитическими формулами. С этой целью были выполнены расчеты с исходными данными, варьируемыми случайным образом в пределах их изменения.

Геометрические и рабочие параметры упорного подшипника

- Наружный радиус подушки R_2 , м 0,115...0,565
- Внутренний радиус подушки R_1 , м 0,061...0,305
- Осевой зазор в подшипнике h_0 , мм 0,4...1,2
- Число подушек, z 6...12
- Рабочий угол подушки θ , град 30...60
- Угол масляного слоя γ , град 0,1...0,3
- Угловая скорость гребня ω , c^{-1} 4...30

Результаты этих расчетов в виде осредненных графиков для искомых безразмерных коэффициентов жесткости и демпфирования показаны на рис. 6 и рис. 7.

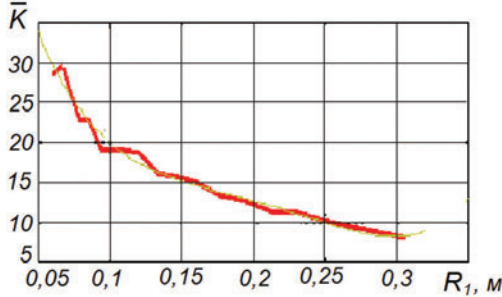


Рис. 6. Коэффициент \bar{K} в зависимости от R_1

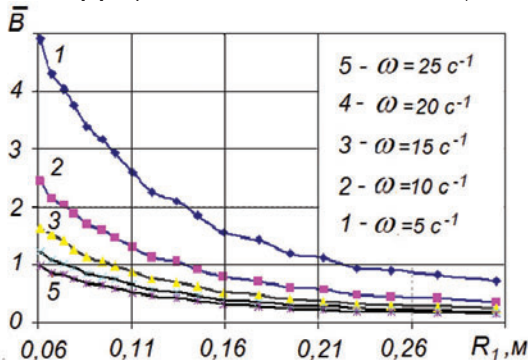


Рис. 7. Зависимость коэффициента \bar{B} от внутреннего радиуса R_1 и угловой скорости ω

Соответствующие им аппроксимирующие полиномы имеют вид

$$\bar{K} = \frac{1}{k} (26503R_1^4 - 22112R_1^3 + 6786,6R_1^2 - 958,96R_1 + 67,495); \quad (8)$$

$$\bar{B} = \frac{1}{k} (A_4\omega^4 - A_3\omega^3 + A_2\omega^2 - A_1\omega + A_0), \quad (9)$$

где k – коэффициент, зависящий от отношения $\alpha=R_1/R_2$, подсчитывается по формуле

$$k = 307,96\alpha^4 - 617,65\alpha^3 + 473,29\alpha^2 - 162,46\alpha + 21,808;$$

A_i ($i = 0,1,\dots,4$) – коэффициенты, входящие в (9):

$$A_0 = -1226,7R_1^3 + 904,79R_1^2 - 230,17R_1 + 22,456;$$

$$A_1 = -205,05R_1^3 + 151,26R_1^2 - 38,483R_1 + 3,755;$$

$$A_2 = -15,075R_1^3 + 11,119R_1^2 - 2,8287R_1 + 0,276;$$

$$A_3 = -0,49954R_1^3 + 0,36847R_1^2 - 0,093735R_1 + 0,009145;$$

$$A_4 = -0,006095R_1^3 + 0,0044957R_1^2 - 0,0011436R_1 + 0,0001116.$$

При рассмотрении приведенных полиномов обращает на себя внимание следующее:

– безразмерный коэффициент жесткости масляного слоя зависит только от геометрии упорной подушки, т.е. $\bar{K} = f(R_1, \alpha)$, см. рис. 6;

– безразмерный коэффициент демпфирования является функцией геометрии подушки и угловой скорости гребня, т.е. $\bar{B} = f(R_1, \alpha, \omega)$, см. рис. 7.

Естественно напрашивается вопрос о точности расчета коэффициентов K и B по формулам (6) и (7). Ответом на данный вопрос служит таблица, в которой представлены результаты расчета гидродинамического давления упорного подшипника по методу конечных разностей и по предлагаемым формулам. Из таблицы видно, что в целом расчетные величины искомых коэффициентов достаточно близки друг другу. Расхождение между ними не превышает 6%. Напомним, подобная погрешность свойственна и расчетам по методу конечных разностей, прежде всего, из-за итерационного численного решения уравнения (5). Таким образом, сравнительный анализ расчетных значений коэффициентов K и B дает право утверждать: предлагаемые упрощенные формулы (6) и (7) обеспечивают вполне приемлемую точность расчета указанных коэффициентов, а поэтому их допустимость для определения параметров дискретной модели упорного подшипника очевидна и не требует дополнительных доказательств.

Остановимся еще на вопросе о соотношении жесткостей корпуса упорного подшипника и масляного слоя, заключенного между его вращающимся гребнем и неподвижными подушками. Во многом данный вопрос инициируется тем, насколько учет масляного слоя упорного подшипника влияет на амплитудно-частотные характеристики осевых колебаний судовых валопроводов. Чтобы показать вклад масляного слоя в общую жесткость упорного подшипника,

Таблица

Расчетные значения коэффициентов жесткости и демпфирования

Исходные данные	Коэффициенты жесткости ($H \cdot m^{-1}$), подсчитанные по формулам			Коэффициенты демпфирования ($кг \cdot c^{-1}$), подсчитанные по формулам		
	(3)	(6)	Различие, %	(4)	(7)	Различие, %
$R_2=0,565$ м, $R_1=0,305$ м, $h_0=1,2$ мм, $z=8$, $\theta=45^\circ$, $\gamma=0,2^\circ$, $\omega=15$ c^{-1}	$2,219 \cdot 10^9$	$2,202 \cdot 10^9$	0,76	$4,315 \cdot 10^6$	$4,084 \cdot 10^6$	5,37
$R_2=0,299$ м, $R_1=0,159$ м, $h_0=0,7$ мм, $z=8$, $\theta=45^\circ$, $\gamma=0,2^\circ$, $\omega=15$ c^{-1}	$1,698 \cdot 10^9$	$1,632 \cdot 10^9$	3,89	$3,869 \cdot 10^6$	$3,817 \cdot 10^6$	1,34
$R_2=0,330$ м, $R_1=0,229$ м, $h_0=0,8$ мм, $z=8$, $\theta=45^\circ$, $\gamma=0,2^\circ$, $\omega=15$ c^{-1}	$6,216 \cdot 10^9$	$6,288 \cdot 10^9$	1,17	$1,298 \cdot 10^6$	$1,254 \cdot 10^6$	3,34

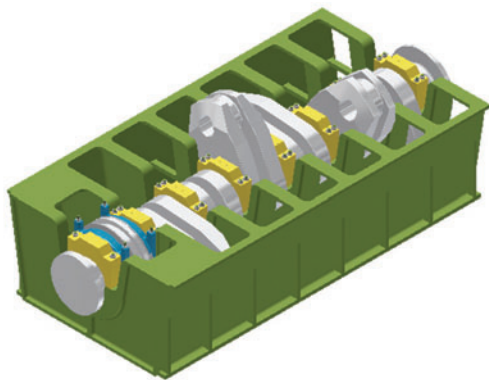


Рис. 8. Объемная твердотельная модель фундаментной рамы двигателя 6S50MC-C

выполнены сравнительные расчеты на примере судового дизеля 6S50MC-C (6ДКРН 50/200). Жесткость его встроеного подшипника определялась с помощью метода конечных элементов. С этой целью была составлена объемная твердотельная модель, включающая в себя фундаментную раму, коленчатый вал и упорный подшипник (рис. 8). Затем эта модель была импортирована в вычислительную среду ANSYS, где автоматически генерировалась сетка конечных элементов и вычислялись деформации гребня под действием заданной осевой силы, равной 10 кН и дискретно приложенной к коленчатому валу. Отношение этой силы к полученной деформации дает искомую жесткость

$$K_i = \frac{10\,000}{1,356 \cdot 10^{-6}} = 7,375 \cdot 10^9 \text{ Н} \cdot \text{м}^{-1}.$$

Что касается жесткости отдельно взятого масляного слоя, то она определена ранее (см. пример 1 в табл. 1) и равна $K_i = 2,219 \cdot 10^9 \text{ Н} \cdot \text{м}^{-1}$.

Далее будем характеризовать упругие свойства упорного подшипника и его масляного слоя податливостями – величинами, обратными жесткостям. Переход к этим понятиям позволяет находить общую податливость упорного подшипника как сумму податливостей его корпуса и масляного слоя. С учетом этого

$$e_y = e_n + e_m = \frac{1}{7,375 \cdot 10^9} + \frac{1}{2,219 \cdot 10^9} = 1,356 \cdot 10^{-10} + 4,507 \cdot 10^{-10} = 5,863 \cdot 10^{-10} \text{ м} \cdot \text{Н}^{-1}.$$

Сопоставление чисел данной суммы свидетельствует о значительном влиянии масляного слоя на упругие свойства упорного подшипника. Нетрудно подсчитать: на долю масла приходится 77% суммарной податливости подшипника. Это лишний раз подтверждает то, что при расчете осевых колебаний судовых валопроводов задавать податливость упорного подшипника необходимо с учетом смазочного слоя. Более того, представляется целесообразным рассматривать смазоч-

ный слой в виде основного элемента упругости, а влияние корпусных деталей подшипника учитывать косвенно с помощью соответствующего множителя. Однако такой подход к определению осевой податливости упорного подшипника нарушает существующие приоритеты и требует дальнейшего обоснования.

В заключение отметим, что работоспособность судового валопровода во многом определяется корректностью расчета его осевых колебаний, которые особенно сильно проявляются на судах с длинноходными дизелями. Несмотря на значимость, расчет осевых колебаний остается пока весьма неопределенным в вычислительном отношении из-за отсутствия простых аналитических зависимостей для определения коэффициентов жесткости и демпфирования масляного слоя упорного подшипника. Не претендуя на первенство, отметим, что все изложенное в статье – это не что иное, как методическое описание процедуры получения таких зависимостей путем аппроксимации численных решений дифференциальных уравнений гидродинамики. Полученные в конечном итоге алгебраические полиномы позволяют подсчитывать искомые коэффициенты достаточно оперативно и весьма точно при минимальных исходных данных. На этом основании предлагается рассматривать податливость масляного слоя в виде основного элемента упругости упорного подшипника.

ЛИТЕРАТУРА

1. Румб В.К., Арутюнян А.С. О необходимости расчета осевых колебаний судовых валопроводов // Морской вестник. – 2009. – №2 (30). – С. 56–58.
2. Румб В.К., Хоанг Ван Ты, Серов А.В. Современный взгляд на осевые колебания валопроводов судовых пропульсивных установок // Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства. – 2017. – № 46/47. – С. 82–84.
3. Подольский М.Е. Упорные подшипники скольжения: теория и расчет. – Л.: Машиностроение, 1981. – 261 с.
4. Хлопенко Н. Я. Расчет динамических характеристик главных упорных подшипников судовых валопроводов. – В кн.: Трение и износ, 1990, с. 295–303.
5. Wu Z. X., Liu Z. L. Analysis of properties of thrust bearing in ship propulsion system // Journal of marine science and application. – 2010. – Vol. 9. – P. 220–226.
6. Srikanth D.V., Chaturvedi K.K., Reddy A.C.K. Modelling of large tilting pad thrust bearing stiffness and damping coefficients // Tribology in industry. – 2009. – Vol. 31. – №3&4. – P. 23–28.
7. Kittipong Boonlong, Puttha Jeenkour. Numerical study on axial vibration of water-lubricated small thrust bearing considering grooved pad // Vibroengineering procedia. – 2017. – Vol. 16 (Dec.). – P.13-18. ■

«Стратегия развития судостроительной промышленности на период до 2035 г.» не только ставит весьма амбициозные задачи перед всеми без исключения судостроительными предприятиями России, но и предъявляет определенные требования к ряду смежных областей промышленного производства. Создание продуктивного альянса науки и бизнеса наравне с государственной поддержкой являются на сегодняшний день теми драйверами, которые способны дать существенный толчок развитию как судостроения, так и многих смежных областей промышленности. И если само судостроение необделено в настоящее время государственным вниманием, то такие области, как холодноснабжение, кондиционирование воздуха, производство промышленных сепараторов, фильтрационных станций, газогенераторов и многого другого судового оборудования, развиваются зачастую разнонаправленно, интуитивно нащупывая перспективные потребности отрасли.

В данной статье раскрывается вопрос приготовления, или генерации, технических газов в корабельных условиях.

Наличие запаса таких газов, как азот, кислород, ацетилен, гелий, является важным условием функционирования и военных кораблей, и гражданских судов. Кислород и ацетилен незаменимы при выполнении ремонтных работ. Смесь горючего газа с техническим кислородом дает повышенную температуру пламени и используется для сварки и резки металлов. Гелий необходим для производства тримиксных дыхательных смесей (смесь на основе азота, кислорода и гелия), используемых при водолазных работах на глубинах до 500 м, например, при спасении людей с затонувших подводных лодок. Соотношение компонентов таких смесей вычисляется для конкретных диапазонов глубин. Азот используется для приготовления смесей и для защиты топливных баков с легковоспламеняющимися жидкостями (ЛВЖ) от взрыва путем создания и постоянного поддержания в них инертной (невоспламеняющейся) микроатмосферы с содержанием кислорода по объему не более 8%. В такой обедненной кислородом среде невозможно воспламенение углеводородных паров, выделяемых авиационным топливом во внутренних объемах емкостей. Таким образом, баллоны и емкости с техническими газами – неотъемлемый атрибут любого судна.

Но так ли необходимо хранить все используемые технические газы в баллонах? Выделение отдельных мест для хранения баллонов и сопряженные с этим меры безопасности, необходимость постоянного контроля герметич-

ПРИГОТОВЛЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ ГАЗОВ В КОРАБЕЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ

Л.А. Мальцев, начальник сектора ООО «Винета»,

*В.С. Дворцов, начальник конструкторского бюро ООО «Тепловые моторы»,
контакт. тел. +7(921) 976 6440*

ности и остаточного заполнения баллонов вызывает риски для безопасности и увеличивает расходы на эксплуатацию судна. При длительном плавании, особенно в полярных широтах, требуется заблаговременное планирование снабжения газами в баллонах на случай возникновения внеплановых ситуаций. Все эти факторы заставляют задуматься о производстве технических газов непосредственно на судне путем разделения воздуха на фракции.

В современных системах используются три основные технологии разделения газов: адсорбционная, мембранная и криогенная.

Адсорбционная технология применяется для разделения и очистки газов при помощи циклов адсорбции и десорбции за счет колебания давления газа.

Как известно, адсорбенты имеют следующие особенности:

- чем выше давление, тем выше впитывающая способность адсорбента и, наоборот, чем ниже давление, тем она ниже;
- чем ниже падает температура, тем выше поглощающая способность адсорбента, по мере возрастания температуры снижается адсорбционная способность материала.

Первый принцип применяется в технологии адсорбции за счет колебания давления, а второй – в адсорбции за счет изменения температуры. В первом варианте адсорбция и десорбция происходят в соответствии с изотермическими характеристиками адсорбции при температуре окружающей среды, во втором адсорбция и десорбция происходят в диапазоне температур от температуры окружающей среды до высоких температур.

Мембранная (или диффузионная) технология зародилась еще в 70-х гг. прошлого века. Суть метода состоит в том, что газовая смесь, в данном случае воздух, проходит сквозь мембрану. Атомы и молекулы разных газов различаются размерами. Мембрана пропускает только молекулы или атомы определенного диаметра, более крупные остаются по другую ее сторону. В современной промышленности для разделения газов применяют полупроницаемые мембраны последнего пятого поколения, обладающие лучшими качествами по сравнению с их предшественными версиями.

Криогенная технология основывается на разнице в температурах кипения газов, составляющих атмосферный воздух. Легкокипящие вещества, такие как гелий и неон, оказываются в виде пара, скапливающегося в верхней части колонны. Более труднокипящие криптон и ксенон остаются в виде жидкости внизу. Аргон, кислород и азот относятся к средней фракции. Примерно на уровне одной трети высоты основной колонны располагается патрубок, через который в специальную колонну выводится фракция аргона, содержащая примерно 10–12% этого газа. Здесь происходит повторная ректификация. Азот как более летучее вещество уходит вверх колонны, а более «тяжелый» кислород опускается вниз.

Криогенная ректификационная технология выделения газов из атмосферного воздуха наиболее изучена и распространена, но дороговизна и сложность получения газов таким способом вдохновляет изобретателей на поиски более удобного и дешевого способа. Использование мембранного и адсорбционного методов дешевле, но создание крупных высокопроизводительных адсорбционных или диффузионных установок затруднено физическими свойствами самих материалов. Кроме того, установки обоих видов крайне чувствительны к попаданию масла в систему получения газа, а для установки мембранного отделения требуются еще и дополнительные затраты на осушение воздуха фреоновой холодильной установкой. Все возрастающие потребности в технических газах стимулируют новые исследования в этой отрасли.

Одним из таких перспективных направлений занимаются совместно специалисты кафедры «Гидравлика и прочность» Инженерно-строительного института СПбПУ, Сколковского института науки и технологий, ЮУрГУ, ВМА им. Н.Г. Кузнецова с индустриальными партнерами – ООО «Винета» и ООО «Тепловые моторы». Разработан и испытан первый образец криогенно-газовой машины (КГМ), производительностью 1 кг азота в час [1, 2].

Основным отличием данной машины от «классической» криогенной установки является применение в качестве основного привода либо теплового двигателя, работающего по циклу Стирлинга и использующего для достижения криогенных температур сбросовую

теплоту от судового дизельного двигателя, либо электродвигателя.

Возможное применение машин Стирлинга для решения комплексных задач получения полезной работы на валу, концентрации низкопотенциальной теплоты или получения низких температур напрямую связано с необходимостью принимаемых конструктивных решений. Для отработки узлов создаваемых машин был разработан экспериментальный образец – тепловая машина (ТМ) модульной конструкции, реализующая цикл Стирлинга.

ТМ была изготовлена, запущена и испытана в составе лабораторного стенда. Процесс доводки и испытаний позволил опробовать различные варианты теплообменных аппаратов и цилиндро-поршневых групп. Получена зависимость мощности охлаждения от температуры.

Основные требования для разрабатываемой ТМ определялись из условий эксплуатации в составе исследовательского стенда. По результатам предварительных оценок были приняты оптимальные размеры ТМ, соответствующие номинальной мощности 1 кВт (эл.). В качестве рабочего тела использован гелий. Максимальное давление заправки рабочим телом – 10 МПа.

В качестве силового механизма применен коромысловый механизм Чебышева (рис. 1). Его особенность – близкое к прямолинейному перемещение поршней, что снижает боковые нагрузки на поршни и улучшает условия работы поршневых уплотнений. С выбранным механизмом, работа ТМ реализуется по α -схеме с двумя поршнями (рабочим и вытеснителем). Поршни расположены в разных цилиндрах. С одной стороны, это упрощает конструирование деталей теплообменного контура и удобство работы с ними, с другой снижает эффективность рабочего процесса ТМ в целом. Вариант реализации механизма запатентован [3].

Поскольку ТМ разрабатывалась для лабораторных исследований, конструктивно уравновешена только горизонтальная составляющая сил инерции от поступательно движущихся масс. Вертикальную составляющую гасит массивное основание. Вал ТМ выведен наружу через уплотнение, поэтому для предотвращения передачи вибраций на внешние устройства (двигатель, генератор и т. д.) можно использовать муфты с упругими элементами или ременную передачу без специальных конструктивных доработок.

Все детали имеют сравнительно простую конфигурацию, не требуют специализированных высокоточных станков и потому пригодны для про-

изводства практически на любом предприятии, имеющем механический участок (рис. 2).

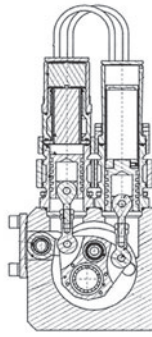


Рис. 1. Модель тепловой машины

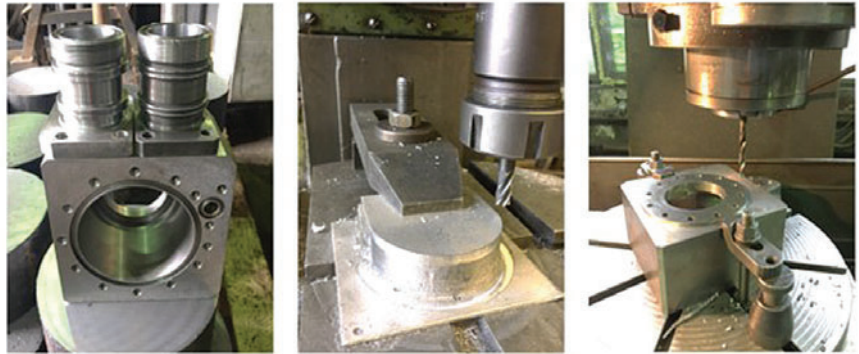


Рис. 2. Некоторые детали ТМ и их механическая обработка

Для имитации нагревателя, с учетом требований к технике безопасности, применен подвод теплоты к рабочему телу путем прямого нагрева трубок горячего теплообменника низковольтным током (рис. 3). Были изготовлены трансформатор и блок регулирования силы тока. Трансформатор обеспечивает ток 2000 А при напряжении 2 В.

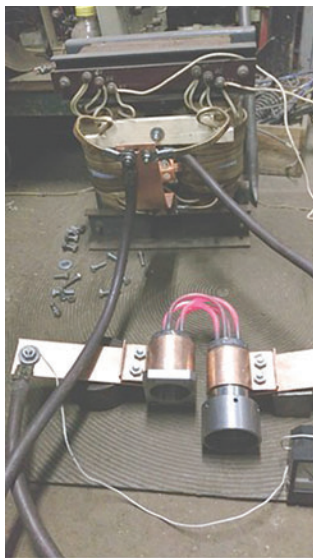


Рис. 3. Система нагрева трубок в работе

После серии прокруток машины в режиме двигателя образец разбирался и проводилась оценка состояния деталей с фиксацией выявленных недостатков.

Также проведена сборка и обкатка ТМ в режиме холодильной машины

(рис. 4). Доводка ТМ до рабочего состояния потребовала внесения ряда изменений в конструкцию. Были заменены поршневые уплотнения, изготовлен новый регенератор и холодильник внутреннего теплообменного контура.

В результате проделанной работы получена характеристика холодопроизводительности (рис. 5). Применялась теплоизолированная камера. В ней были размещены термопары и спиртовой термометр на низкую температуру. В качестве нагрузочного устройства использована нихромовая проволока, закрепленная на керамическом основании. На проволоку через ЛАТР

подавался ток и для заданной температуры подбиралось напряжение, соответствующее равновесному состоянию в камере. Частота вращения привода была постоянной на уровне 500 об/мин. Давление заправки рабочего тела в теплообменном контуре – 2 МПа.

Полученные при испытаниях ТМ данные свидетельствуют, в первую очередь, о соответствии теплообменного контура теоретическим расчетам. В частности, удалось создать для ТМ высокоэффективный регенератор, без которого было бы невозможно достичь минимальной температуры в 173К при столь малой частоте вращения вала.



Рис. 4. Обкатка ТМ в режиме холодильной машины

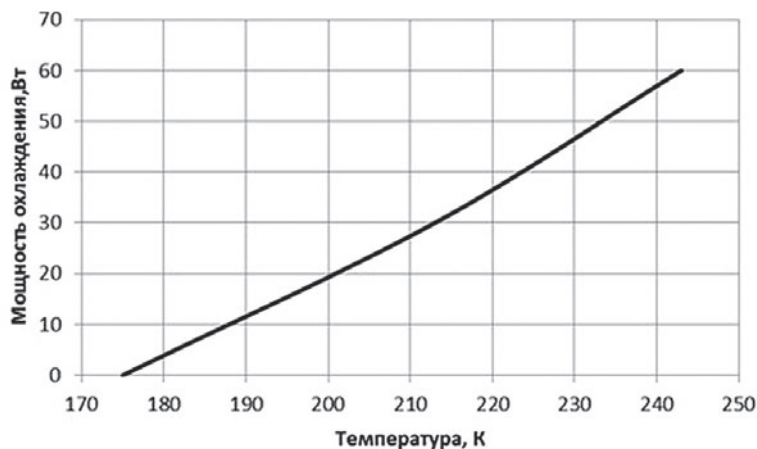


Рис. 5. Холодопроизводительность ТМ

После анализа полученных при испытаниях данных был разработан лабораторный стенд (рис. 6). Стенд имеет термокамеру и за счет регулируемого привода позволяет имитировать различные условия охлаждения сетевой водой. Имеется специальная система заправки рабочим телом с блоком осушки.

По результатам работ принято решение о дальнейшей проработке вопросов создания серийной холодильной машины Стирлинга с термокамерой. Расчетная холодопроизводительность образца планируется на уровне 200 Вт при 73К. В основу заложен уравновешенный ромбический привод, рабочий процесс будет осуществлен по β -схеме с соосным расположением поршней.



Рис. 6. Лабораторный стенд с термокамерой

Некоторые параметры разработанных образцов холодильных ТМ приведены в табл. 1.

Образец холодильной ТМ, построенный на базе I варианта (см. табл.) показал отличные показатели в ходе испытаний, что дает основания для дальнейшей работы над данным проектом и разработки комплекта конструкторской документации промышленного образца.

Параметры образцов холодильных ТМ

Характеристика	Вариант I	Вариант II (модернизированный вариант I)	Вариант III (проект с ромбическим силовым механизмом)
Холодопроизводительность	175К (-98°C) – 1 Вт 213К (-60°C) – 30 Вт 243К (-30°C) – 60 Вт	143К (-130°C) – 0 Вт 173К (-100°C) – 30 Вт 213К (-60°C) – 60 Вт	73К (-200°C) – 200 Вт
Рабочее давление, МПа	2	2	2
Рабочее тело	Гелий	Гелий	Гелий
Частота вращения коленчатого вала, об/мин	500	1500	1500
Особенности образца	Исследовательский	Модернизированный исследовательский	Для работы с криокамерой объемом 30 л

На рис. 7 представлен общий вид предлагаемой холодильной ТМ по варианту III (без воздухоразделительной колонны). Габариты: ширина – 402 мм, высота – 705 мм, глубина – 990 мм. Масса – 276 кг.

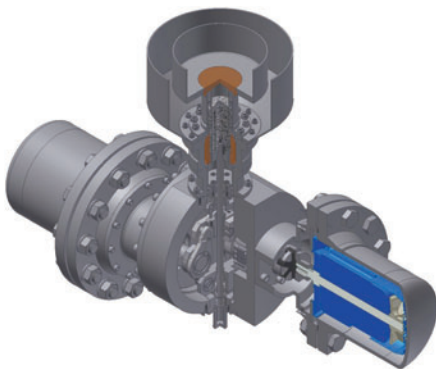


Рис. 7. Общий вид предлагаемой КГМ

В данном случае ромбический силовой механизм приводится в движение двумя асинхронными электродвигателями через два коленчатых вала. Такое решение принято для симметричного распределения нагрузок.

В промышленном образце два асинхронных электродвигателя могут быть заменены тепловыми машинами Стирлинга, работающими в двигательном режиме на сбросовой теплоте от судового дизельного двигателя.

Таким образом, несмотря на все сложности, связанные с финансированием самих разработок и с внедрением передовых технологий в отечественное машиностроение, работы над тепловыми машинами продолжаются. Есть надежда, что в ближайшем будущем российская промышленность получит рабочий эффективный образец инновационного оборудования, что хоть немного, но приблизит до-

Таблица

стижение поставленных Правительством РФ целей в области импортозамещения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Smirnov D., Dvortsov V., Saichenko A., Tkachenko M., Kukolev M., Bischi A., Ouerdane H. Experimental study of a high-tolerance piston-cylinder pair in the alpha Ross-yoke Stirling refrigerator//International Journal of Refrigeration, 2019. – <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2019.01.018>
2. Ноздрин Г. А., Абакшин А. Ю., Дворцов В. С. Разработка стенда для испытаний двигателя с внешним подводом теплоты. – Ма-лы XXXI отраслевой науч.-техн. конфер. молодых специалистов «Морское подводное оружие. Морские подводные роботы – вопросы проектирования, конструирования и технологий. – МПО-МС-2012». – СПб.: ОАО «Концерн «Морское подводное оружие – Гидроприбор», 2012. – С. 56–61.
3. Патент РФ на полезную модель № 175182. Тепловой мотор/В. С. Дворцов, М. М. Ткаченко, Д. С. Смирнов, А. С. Сайченко, М. И. Куколев//Бюл. – 2017. – № 33. ■

ВВЕДЕНИЕ

Проектирование и эксплуатация пропульсивного комплекса в значительной мере предопределяет эффективность работы судна и себестоимость морских перевозок. В течение жизненного цикла судна существует возможность отличия условий эксплуатации от проектных, что может привести к рассогласованию режимов работы пропульсивного комплекса.

Длительная работа установленного на судне двигателя ограничивается определенным сочетанием мощности и частоты вращения. При этом мощность двигателя определяется энергией, потребляемой гребным винтом (зависит от его частоты вращения и характеристик), характеристиками и состоянием подводной части корпуса судна и гидрометеорологическими факторами (внешними факторами эксплуатации) [1]. Корпус судна оказывает затеняющее воздействие на гребной винт, формируя особый режим его работы [2]. Гребной винт определяет режим работы главного двигателя в зависимости от конкретных характеристик корпуса судна. Сложное взаимное воздействие элементов пропульсивного комплекса, зависимость каждого элемента от параметров внешней среды формируют необходимость снижения влияния корпуса судна и гребного винта на двигатель в изменяющихся условиях плавания [3].

Цель работы – рассмотреть взаимодействие элементов пропульсивного комплекса и оценить возможность его совершенствования путем изменения параметров гребного винта за счет дополнительного струйного воздействия воды, подаваемой касательно засасывающей поверхности лопасти через щелевую насадку от входной кромки к выходной.

Взаимное рассмотрение корпуса судна, гребного винта и главного двигателя в единой системе обеспечивает возможность теоретического исследования сложных явлений их взаимодействия с целью оптимизации использования энергии для движения судна в масштабе всего пропульсивного комплекса. Совершенство пропульсивного комплекса оценивается способностью преобразовывать механическую энергию главного двигателя в движение судна с наименьшими потерями независимо от условий плавания [4].

Рассмотрим взаимное влияние элементов пропульсивного комплекса с целью оценки возможности его совершенствования по параметрам взаимодействия гребного винта с главным двигателем и корпусом судна.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОПУЛЬСИВНОГО КОМПЛЕКСА ПО ПАРАМЕТРАМ ГРЕБНОГО ВИНТА ПУТЕМ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО СТРУЙНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ВОДЫ, ПОДАВАЕМОЙ НА ЛОПАСТИ

А. С. Шаратов, инженер-механик учебно-научной лаборатории ФГБОУ ВО «Керченский государственный морской технологический университет», контакт. тел. +7(36561) 63 486

РЕЖИМЫ РАБОТЫ ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ НА ВИНТ ФИКСИРОВАННОГО ШАГА

Наибольшее распространение на морских судах торгового флота получили малооборотные двигатели (МОД). Эффективная мощность МОД может быть выражена через его среднее эффективное давление p_e (эквивалентное по изменению гидродинамическому моменту сопротивления гребного винта), постоянную, характеризующую размеры двигателя C_d и его частоту вращения n [5]:

$$N_e = C_d \cdot p_e \cdot n. \quad (1)$$

На рис. 1 показано поле рекомендуемых режимов работы главного двигателя MAN B&W [6].

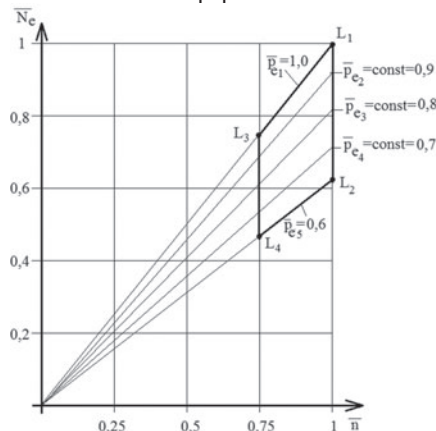


Рис. 1. Поле рекомендуемых режимов работы главного двигателя, построенное в относительных величинах: N_e – мощность главного двигателя; n – частота вращения главного двигателя; $\bar{p}_{e1} \dots \bar{p}_{e5}$ – среднее эффективное давление; $L_1 \dots L_4$ – характерные режимы работы главного двигателя

Анализ рис. 1 показывает, что отдельное рассмотрение двигателя независимо от характеристик потребления механической энергии не позволяет объективно оценить его влияние на пропульсивный комплекс. Для пропульсивного комплекса морского транспортного судна характерным потребителем меха-

нической энергии является винт фиксированного шага (ВФШ).

Работа МОД в судовых условиях характеризуется совокупностью режимов работы определяющих его теплонагруженность и эксплуатационные параметры. Режим работы главного двигателя на ВФШ определяется уравнением

$$N_e = C_b \cdot n^3. \quad (2)$$

Коэффициент C_b в уравнении (2) определяется условиями эксплуатации гребного винта с учетом влияния корпуса судна [7]. Рассмотрим влияния корпуса судна на винт.

ВЛИЯНИЕ КОРПУСА СУДНА НА ГРЕБНОЙ ВИНТ И ПРОПУЛЬСИВНЫЙ КОМПЛЕКС

Ходкость современного транспортного судна характеризуется оптимальной скоростью движения, зависящей от требований рейса при эффективном использовании пропульсивной мощности энергетической установки. Буксировочное сопротивление, зависящее от скорости движения судна, коэффициентов взаимодействия гребного винта с корпусом судна определяют требуемую эксплуатационную мощность главного двигателя. Подведенная к гребному винту механическая энергия затрачивается на преодоление гидродинамического момента сопротивления гребного винта вращению и создания перепада давления между засасывающей и нагнетающей поверхностями лопастей, что формирует упор [8]. При этом на эффективность работы гребного винта оказывает значительное влияние его расположение. Гребной винт подвержен влиянию неоднородности набегающего потока и является мощным источником периодических сил, действующих на корпус судна. Местные скорости на лопастях гребного винта неодинаковы по величине и непостоянны, поскольку зависят от положения лопасти относительно основной плоскости судна, а также от влияния пространственного пограничного слоя в верхней части и гидродинамического следа корпуса в нижней части. Это

обуславливает значительную сложность определения коэффициентов попутного и засасывания.

На рис. 2 показано поле возможного эмпирического сопротивления корпуса, формируемое под влиянием гидрометеорологических факторов и зависимых от них эксплуатационных характеристик корпуса судна, его осадки и состояния поверхности корпуса судна.

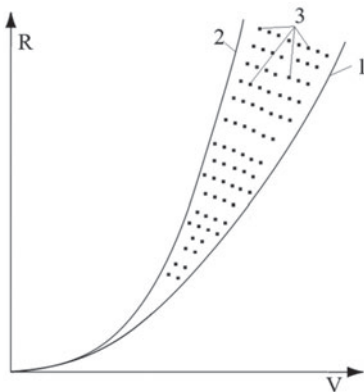


Рис. 2. Буксировочное сопротивление судна в разрезе его жизненного цикла

1 – чистый свежеокрашенный корпус с минимальным гидродинамическим сопротивлением, при нахождении судна в балласте и благоприятных погодных условиях; 2 – обросший корпус перед постановкой судна в док или очисткой подводной части корпуса водолазами, в грузу, при неблагоприятных погодных условиях; 3 – точки (режимы) винтовых характеристик, характеризующих эксплуатационный режим работы судна

Анализ рис. 2 позволяет говорить о необходимости снижения воздействия корпуса судна на пропульсивный комплекс. Реализовать это можно путем ограничения влияния неоднородности набегающего потока на гребной винт, снижения зависимости режима работы главного двигателя от параметров корпуса судна и гребного винта. Совершенствование пропульсивного комплекса достигается путем сохранения параметров гребного винта в изменяющихся условиях эксплуатации и снижения интенсивности воздействия периодических сил на корпус судна. Проанализируем параметры работы гребного винта в составе пропульсивного комплекса судна.

ГРЕБНОЙ ВИНТ В СОСТАВЕ ПРОПУЛЬСИВНОГО КОМПЛЕКСА

Анализ материала, изложенного выше, позволяет характеризовать гребной винт как связующее звено, позволяющее учесть влияние корпуса судна на режим работы главного двигателя и его теплонагруженность [9]. При этом характер обтекания гребного винта потоком набегающей жидкости определяет его гидродинамические характеристики.

Взаимодействие гребного винта с набегающим потоком формирует четыре основных вида потерь [10]:

- на создание вызванных осевых скоростей;
- на создание вызванных окружных скоростей;
- профильные потери;
- индуктивные (концевые).

При этом характер обтекания гребного винта влияет на создаваемый им упор и формирующийся на гребном винте гидродинамический момент сопротивления. Работа гребного винта в набегающем потоке жидкости характеризуется значительным числом явлений, к основным из них можно отнести проскальзывание гребного винта, кавитацию, изменение шероховатости лопастей, наличие попутного потока, обрастание и т.д. [11]. Взаимное влияние условий эксплуатации значительно снижает эффективность гребного винта, поэтому актуально сохранение КПД гребного винта при изменении режима работы.

Достижение совершенства эксплуатации гребного винта обеспечивается снижением потерь энергии, а также влияния внешнего потока на эффективность работы гребного винта. Это свойство активно используется в морской практике путем применения различных наделок, насадок и элементов, влияющих на гребной винт, набегающий на него поток и сходящую с него струю [12–14].

Некоторые авторы [15, 16] считают, что потери, сопровождающие работу гребных винтов неизбежны, и предлагают технические решения, направленные на утилизацию потерь энергии.

Анализ изменения шероховатости гребных винтов в эксплуатации позволил оценить влияние условий взаимодействия набегающего потока с лопастями, выражающееся в изменении гидродинамических характеристик.

На рис. 3 показаны зоны влияния шероховатости гребного винта на гидродинамические характеристики.

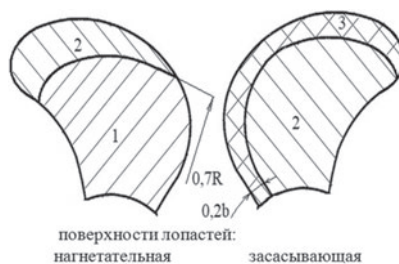


Рис. 3. Влияния шероховатости поверхности лопастей гребных винтов на гидродинамические характеристики

1 – зона малого влияния; 2 – зона значительного влияния; 3 – зона повышенного влияния

Анализ рис. 3 позволяет выделить засасывающую поверхность лопасти

гребного винта как определяющую взаимодействие с набегающим потоком, что подтверждается результатами исследований [14] по интенсивности изменения шероховатости гребных винтов в эксплуатации. Проанализируем метод воздействия на винт, распространенный в аэродинамике, с целью сохранения КПД гребного винта и снижения потерь энергии при изменении режима его работы.

ДОПОЛНИТЕЛЬНОЕ СТРУЙНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ ЖИДКОСТИ, ПОДАВАЕМОЙ НА ЛОПАСТИ ГРЕБНОГО ВИНТА

В технической литературе и многочисленных публикациях авторы предлагают различные способы воздействия на параметры взаимодействия гребного винта с набегающим потоком [11–16]. При этом отсутствует анализ возможностей управления режимом обтекания гребного винта методом, получившим распространение в смежной области – аэродинамике [17]. Струйного воздействия среды, подаваемой через щелевую насадку на плоскость, позволяет изменять параметры взаимодействия плоскости с набегающим потоком.

В зависимости от расположения щелевого аппарата дополнительного струйного воздействия и параметров подаваемой воды достигается различное воздействие на элементы пропульсивного комплекса:

- на гребной винт путем воздействия на характерный вид потерь;
- на маневренность судна путем изменения времени реверса и взаимодействия (взаимного влияния) с корпусом судна;
- на главный двигатель путем изменения его тепловой и механической напряженности, ограничивая влияние влияния внешних эксплуатационных факторов.

Установка щелевой насадки [18] позволяет реализовать воздействие на поток жидкости, взаимодействующий с лопастями гребного винта, путем подачи дополнительной воды (среды).

На рис. 4 показано расположение щелевой насадки на засасывающей поверхности лопасти гребного винта.

Анализ рис. 4 позволяет сформировать физический эффект [19] дополнительного струйного воздействия воды, подаваемой через щелевую насадку на гребной винт. Струйная подача дополнительной жидкости приводит к снижению неоднородности местных скоростей на лопасти гребного винта и прилопостом потоке (в диске гребного винта). При этом происходит абсолютное приращение скорости потока по всей омываемой плоскости засасывающей (подсасывающей) поверхности лопасти. Дополнительно достигается снижение

влияние набегающего потока, зависящего от корпуса судна, на режим работы гребного винта.

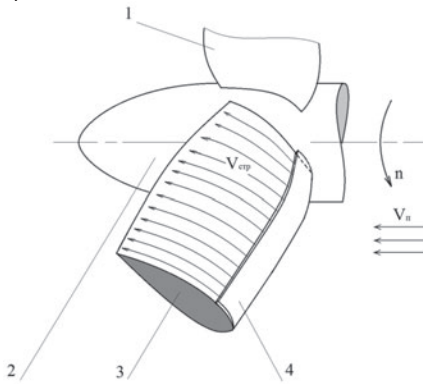


Рис. 4. Расположение щелевой насадки на поверхности лопасти гребного винта
1 – лопасть; 2 – ступица; 3 – профиль лопасти; 4 – щелевая насадка

На рис. 4 V_n – вектор скорости набегающего потока; $V_{стр}$ – вектор скорости дополнительного струйного воздействия подаваемой воды.

Подтверждение получаемого эффекта выполнено путем численного моделирования взаимодействия гребного винта и набегающего потока в программном комплексе FlowVision и экспериментальным исследованием моделей гребных винтов в специальном созданном стенде – гидродинамической трубе [20].

На рис. 5 показано поле скоростей гребного винта, работающего в набегающем потоке скоростью 1 м/с. Дополнительная вода подается через щелевые насадки лопастей со скоростью 2 м/с. Результаты получены расчетным методом численного моделирования в комплексе вычислительной гидродинамики.

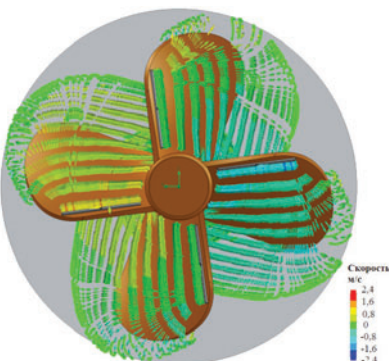


Рис. 5. Поле скоростей гребного винта, вращающегося против часовой стрелки. Вид в корму с щелевой насадкой дополнительного струйного воздействия в абсолютной системе координат

Анализ рис. 5 позволяет оценить влияние дополнительного струйного воздействия жидкости на величину основных потерь, сопровождающих работу гребного винта, за счет следующего:

1) снижения отношения вызванной осевой скорости к скорости движения

судна за счет создания дополнительной подъемной силы (упора) на лопасти гребного винта, за счет изменения «циркуляции» скорости потока;

2) снижения потерь на создание вызванных окружных скоростей за счет снижения неоднородности поля скоростей гребного винта при изменении взаимного расположения лопасти гребного винта и основной плоскости судна;

3) снижения профильных потерь, зависящих от шероховатости поверхности лопастей и влияющих на величину упора;

4) снижения индуктивных (концевых) потерь путем предотвращения перетекания потока жидкости через край лопасти;

5) увеличения кавитационного запаса гребного винта и снижения влияния кавитации на режим работы гребного винта.

На рис. 6 показана возможность сохранения КПД гребного винта в широком диапазоне изменения относительно поступи λ_p путем регулирования дополнительного струйного воздействия за счет изменения параметров воды, подаваемой на лопасти. КПД гребного винта выбран как параметр, характеризующий взаимное изменение показателей упора и гидродинамического момента в результате дополнительного струйного воздействия воды, подаваемой на лопасти.

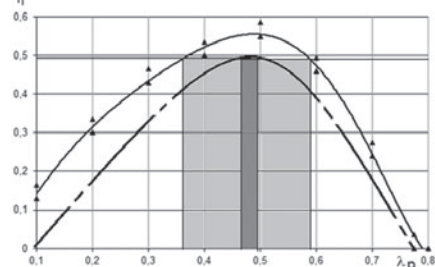


Рис. 6. КПД гребного винта гребного винта с дополнительным струйным воздействием воды, подаваемой на лопасти

— с щелевой насадкой подачи жидкости на лопасти гребного винта; --- без щелевой насадки подачи жидкости на лопасти гребного винта; точками показан доверительный интервал экспериментальных данных

Как следует из рис. 6, применение подачи воды на лопасти позволяет сохранить величину оптимального КПД гребного винта в значительном диапазоне относительной поступи.

В комплексе данный метод воздействия позволяет целенаправленно изменять характеристики главного двигателя в зависимости от внешних условий эксплуатации. Это позволяет реализовать концепцию постоянной согласованности главного двигателя и гребного винта, или обеспечить постоянную тепловую нагрузку.

На рис. 7 показаны графические зависимости тепловыделенности главного двигателя в изменяющихся условиях эксплуатации пропульсивного комплекса.

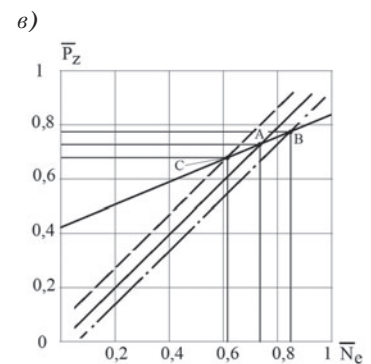
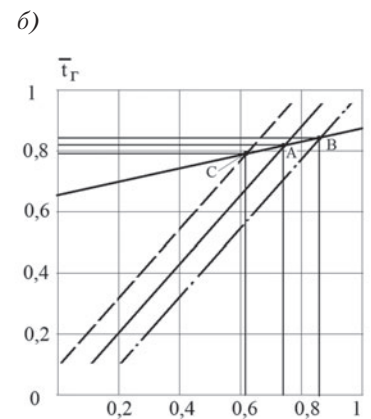
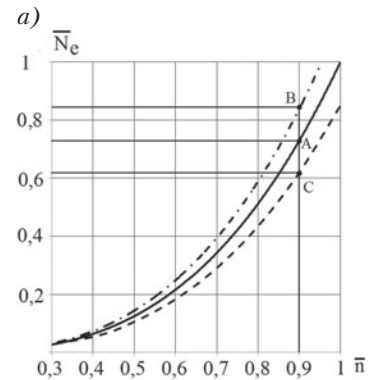


Рис. 7. Показатели тепловой (б) и механической напряженности (а, в) главного двигателя, работающего при переменной частоте вращения на гребной винт, оборудованный щелевой насадкой

— номинальная винтовая характеристика; --- облегченная винтовая характеристика; - · - · - утяжеленная винтовая характеристика; А, В, С – режимы работы ГД

На рис. 7: N_e – мощность главного двигателя; n – частота вращения; $t_г$ – температура отработавших газов; P_z – максимальное давление сгорания

Анализ рис. 7 позволяет рассмотреть работу пропульсивного комплекса в изменяющихся условиях эксплуатации судна. Она характеризуется утяжелением (см. рис. 7, точка В) или облегчением винтовой характеристики (см. рис. 7, точка С). Это приводит к изменению нагруз-

ки на двигатель и колебанию параметров тепловой и механической напряженности. За счет дополнительного струйного воздействия подаваемой на лопасти жидкости, колебания тепловой и механической напряженности могут быть целенаправленно ограничены средним значением. Это обеспечит сохранение запасов по тепловой и механической напряженности деталей двигателя, сохранение ресурса, выравнивание поля тепловых нагрузок двигателя, снижение колебания потоков теплотехнических сред [21].

Например, при утяжелении винтовой характеристики (см. рис. 7, точка В) наблюдается рост потребляемой мощности, возрастание гидродинамического момента сопротивления, что приводит к повышению температуры отработавших газов, снижению частоты вращения и скорости движения судна. За счет целенаправленного дополнительного струйного воздействия воды на лопасти гребного винта достигается относительное снижение гидродинамического момента сопротивления гребного винта, что приводит к уменьшению негативно снижения частоты вращения и скорости движения судна, с одной стороны, и относительному снижению среднего эффективного давления и температуры двигателя, с другой.

Комплексно дополнительное струйное воздействие воды гребной винт позволяет совершенствовать пропульсивный комплекс путем воздействия на каждый из его элементов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе анализа взаимного влияния элементов пропульсивного комплекса по параметрам взаимодействия с гребным винтом была оценена возможность оптимизации режима работы каждого из элементов путем дополнительного струйного воздействия воды, подаваемой через щелевую насадку на лопасти гребного винта.

Рассмотренный в работе метод выравнивания поля местных скоростей на фоне их абсолютного роста позволяет реализовать воздействие на теплонапряженность главного двигателя.

Дополнительно установлено преимущество применения струйного воздействия для снижения потерь на гребном винте и влияния корпуса судна на гребной винт.

Результаты струйного воздействия жидкости на гребной винт проверены путем численного моделирования и экспериментального исследования моделей гребных винтов в гидродинамической трубе.

В дальнейших исследованиях планируется выработка критериев оптимального метода воздействия на весь пропульсивный комплекс в зависимости от выполняемых производственных задач, режима работы и внешних условий эксплуатации.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Stapersma D., Woud Hk.* Matching propulsion engine with propulsor // *Journal of Marine Engineering & Technology.* – 2005. – Vol. 4:2. – P. 25. DOI: 10.1080//20464177.2005.11020189.
2. *Molland A., Turnock S., D. Hudson* Propeller Characteristics. In *Ship Resistance and Propulsion: Practical Estimation of Ship Propulsive Power.* – Cambridge: Cambridge University Press, 2017, p. 277. DOI:10.1017/9781316494196.014.
3. *Nelson M., Temple D.W., Hwang J.T., Young Y.L., Martins R.A., Collette M.* Simultaneous optimization of propeller-hull systems to minimize lifetime fuel consumption // *Applied Ocean Research.* – 2013. – Vol.43. – P. 46.
4. *Морской энциклопедический словарь.* В 2-х т. / Под ред. академика Н. Н. Исанина. – Л.: Судостроение, 1987. – 512 с.
5. *Шостаков В. П., Гершаник В. И., Кот В. П., Бондаренко Н. С.* / Под ред. В. П. Шостака. Проектирование пропульсивной установки судов с прямой передачей мощности на винт. – Николаев: УГМТУ, 2003. – 500 с.
6. *S70MC Project guide.* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://marine.map-es.com/> (дата обращения: 01.10.2018)
7. *Дитятев С. Г.* Исследование изменений винтовой характеристики судового малооборотного дизеля в эксплуатации: Дисс. на соискание уч. степени канд. техн. наук; специальность: 05.08.05 – судовые энергетические установки и их элементы (главные и вспомогательные). – ЛВИМУ им. адм. С. О. Макарова, 1984. – 295 с.
8. *Рублев В. П., Пакичев Я. В., Марц А. И.* Снижение шумов гребного винта при движении судна // *Вологодские чтения.* – 2009. – № 73. – С. 24.
9. *В. Ю. Гиттис, В. Л. Бондаренко, Т. П. Ефимов.* Теоретические основы эксплуатации судовых дизелей. – М.: Транспорт, 1965. – 376 с.
10. *Антоненко С. В.* Судовые движители / Дальневосточный государственный

технический университет. – Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2007. – 126 с.

11. *Carlton J. S.* Propeller Performance Characteristics. – In *Marine Propellers and Propulsion.* – Butterworth-Heinemann: Elsevier Ltd. – 2012. – 3rd ed. – P. 79. DOI: 10.1016/B978-0-08-097123-0.00006-X.
12. *Тогуляц А. Р., Вишневецкий Л. И.* Гидродинамические аспекты работы соосных гребных винтов противоположного вращения с электрической передачей мощности // *Морской вестник.* – 2018. – № 3 (67). – С. 83.
13. *Ashok P., Kumar P. J., Prema Kumar P. S.* Effect of stacking sequence on the performance of composite marine propeller // *Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems.* – 2017. – Vol. 9 (Special Issue 14). – P. 1823.
14. *Nouri N. M., Mohammadi S., Zarezadeh M.* Optimization of a marine contra-rotating propellers set // *Ocean Engineering.* – 2018. – Vol. 167. – P. 397.
15. *Mizzi K., Demirel Y. K., Banks C., Turan O., Kaklis P., Atlar M.* Design optimisation of Propeller Boss Cap Fins for enhanced propeller performance // *Applied Ocean Research.* – 2017. – Vol. 62. – P. 210. DOI:10.1016/j.apor.2016.12.006.
16. *Kim J. H., Choi J. E., Choi B. J., Chung S. H., Seo H. W.* Development of energy-saving devices for a full speed ship through improving propulsion performance // *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering.* – 2015. – Vol. 7. – Issue 2. – P. 390. DOI:10.1515/ijnaoe-2015-0027.
17. *Петров А. В.* Энергетические методы увеличения подъемной силы крыла – М.: Физматлит, 2011. 397 с.
18. Патент 46740 Украина, МПК В63Н 1/00 Конструкция механизированного гребного винта / Д. И. Осовский, А. С. Шаратов. Заяв. и патентообл. Керченский государственный морской технологический университет. № 200903725; заявл. 16.04.2009; опубл. 11.01.2010 // Бюлл. – 2010. – № 1. – 4 с.
19. *Шаратов А. С.* Струйное воздействие на динамику гребного винта // *Вісник двигунобудування.* – 2010. – Вып. № 2 (23). – С. 82.
20. *Осовский Д. И., Шаратов А. С.* Исследование гидродинамических характеристик гребного винта, оборудованного струйной механизацией в гидродинамической трубе // *Рыбное хозяйство Украины.* – 2007. – № 6. – С. 37.
21. *Безюков О. К., Жуков В. А., Тимофеев В. Н.* Современная концепция регулирования охлаждения судовых дизелей // *Вестник государственного университета морского и речного флота им. адм. С. О. Макарова.* – 2015. – № 3 (31). – С. 93. ■

25 января 2019 г. на базе предприятия АО «Новая ЭРА» состоялась презентация новых возможностей АО «Новая ЭРА» как авторизованного сервисного партнера АО «Шнейдер Электрик».

Сотрудничество АО «Новая ЭРА» с АО «Шнейдер Электрик», локализованное в РФ подразделение Schneider Electric, имеет глубокие корни: с 2002 г. предприятие применяет в своей работе оборудование этого производителя. Именно поэтому сегодня, располагая испытательной базой, подходящей для обслуживания, высококвалифицированными кадрами, а также являясь одним из крупнейших покупателей оборудования АО «Шнейдер Электрик», АО «Новая ЭРА» заключило соглашение о сотрудничестве. Сегодня АО «Новая ЭРА» – авторизованный сервисный партнер АО «Шнейдер Электрик» по выключателям и частотным преобразователям.

В рамках презентации обсуждались вопросы организации и проведения сервисного обслуживания на базе предприятия АО «Новая ЭРА». В современных условиях правильный выбор технического решения – планирование обслуживания за весь жизненный цикл оборудования. Эта тема являлась ключевой в докладе представителей АО «Шнейдер Электрик». Были освещены передовые методы технического обслуживания, которые повышают безопасность, сводят к минимуму время простоя электрооборудования и позволяют работать с ограниченными бюджетными ресурсами и средствами технического обслуживания. На сегодняшний день сервисный центр АО «Новая ЭРА» как авторизованный партнер АО «Шнейдер Электрик» предлагает полный спектр работ и услуг по поддержанию автоматических выключателей заказчика в работоспособном состоянии: от обеспечения постоянной работоспособности систем и ремонта неисправных модулей до комплексного технического обслуживания и сервисного визита на предприятие.

Далее АО «Новая ЭРА» представило более широкое понимание сервисного обслуживания. Это обусловлено тем, что предприятие разрабатывает и

АО «НОВАЯ ЭРА» - АВТОРИЗОВАННЫЙ СЕРВИСНЫЙ ПАРТНЕР АО «ШНЕЙДЕР ЭЛЕКТРИК»

АО «Новая ЭРА»,
контакт. тел. (812) 335 8294



Директор Департамента судостроения АО «Шнейдер Электрик» М.С. Серков, директор Северо-Западного региона АО «Шнейдер Электрик» Н.Ю. Картавиди, генеральный директор АО «Новая ЭРА» С.В. Савков, коммерческий директор АО «Новая ЭРА» И.О. Фокин

производит системы электроснабжения кораблей и судов. Широко внедряются системы мониторинга оборудования АО «Новая ЭРА», создаются интеллектуальные главные распределительные щиты (ГРЩ) – все это дает возможность в конечном итоге перейти от обслуживания по регламенту к обслуживанию по техническому состоянию.

В мероприятии приняли участие руководители и технические специалисты проектных организаций, судостроительных заводов, представители атомной и нефтегазовой отраслей. Особое внимание заслуживает участие в мероприятии представителей ФАУ «Российский морской регистр судоходства», ФГУП «Атомфлот», ООО «Газпром нефть шельф», ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова», которые активно обсуждали и комментировали выступления по рассматриваемым вопросам.

В рамках презентации сотрудники конструкторского бюро АО «Новая ЭРА» ознакомили участников с результатами новых научных разработок оборудования и систем для морских объектов: система контроля изоляции методом частичных разрядов, система контроля состояния

шинно-болтовых соединений в низковольтных ЭРУ, многоинверторный преобразователь частоты.

Активному обсуждению подвергся широкий круг вопросов модернизации оборудования. Особый интерес вызвало техническое решение АО «Новая ЭРА» по электроснабжению кораблей с берега по цепи 6 (10) кВ.

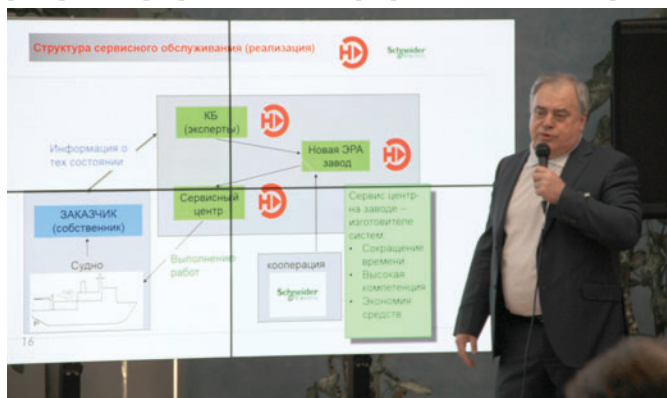


Докладывает менеджер по работе с ключевыми клиентами АО «Шнейдер Электрик» А.А. Баладин

Презентация завершилась экскурсией по цехам завода АО «Новая ЭРА», где все получили возможность лично пообщаться с разработчиками инновационного оборудования.

Участники мероприятия особо отметили необходимость более тесного научного и технического сотрудничества предприятий, целесообразность регулярности подобных встреч.

По итогам презентации удалось достичь нескольких договоренностей о реализации конкретных практических мероприятий в русле ключевой тематики и новых научных разработок АО «Новая ЭРА» с ООО «Газпром нефть шельф», ФГУП «Атомфлот» и другими участниками обсуждения. ■



Выступает коммерческий директор АО «Новая ЭРА» И.О. Фокин

Одной из приоритетных задач, решаемых корабельным комплексом приема и обработки информации от внешнего источника, является проведение классификации (распознавания типов, классов) излучающих надводных целей на основе результатов распознавания установленных на них корабельных РЛС по радиотехническим (РТ) параметрам их сигналов.

Проблематика этой задачи включает в себя следующие вопросы:

- создание баз априорных данных о РТ параметрах сигналов РЛС и оснащенности РЛС кораблей известных типов (классов);
- обеспечение возможности модификации баз априорных данных по оперативной информации путем их адаптации к данному тактическому району и к заданному времени;
- разработка формальных моделей для описания априорной информации и алгоритмов распознавания типов РЛС и классификации излучающих надводных целей.

В статье [1] дана формализация описания априорной информации баз данных, разработана структура алгоритмов распознавания типов РЛС по РТ параметрам их сигналов и классификации излучающих надводных целей, приведены результаты статистических испытаний этих алгоритмов на ПЭВМ.

Формуляры источников радиоизлучений (ИР), поступающие от внешнего источника информации, содержат оценки координат местоположения ИР и РТ параметров их сигналов. При этом ИР могут быть как корабельными, так и береговыми. Береговые ИР должны быть распознаны и исключены из дальнейших этапов обработки, на которых выполняется распознавание классов одиночных кораблей и типов корабельных группировок. На индикаторе комплекса приема и обработки информации отметки от ИР отображаются на фоне морской навигационной карты, содержащей в качестве одного из атрибутов береговую черту. Это позволяет при распознавании вида ИР дополнительно к сигнальным признакам (замерам РТ параметров сигналов) использовать еще и координатные признаки – оценки координат местоположения ИР.

В настоящей статье исследуется информативность координатных признаков ИР применительно к задаче распознавания их вида («корабельный» или «береговой»), приводятся учитывающие результаты анализа этих признаков байесовское решающее правило распознавания и оценки его статистических испытаний на ПЭВМ.

ИНФОРМАТИВНОСТЬ КООРДИНАТНЫХ ПРИЗНАКОВ ИСТОЧНИКОВ РАДИОИЗЛУЧЕНИЙ

Информативность координатных признаков ИР будем оценивать величиной разности вероятностей непопадания и попадания отметки от ИР за прямую, которой аппроксимирован выделенный участок береговой черты (далее – непопадания и попадания отметки от ИР за линию береговой черты).

В дальнейшем эти вероятности будут использоваться в байесовском решающем правиле распознавания вида ИР в качестве априорных вероятностей P_K и P_B принадлежности ИР к видам «корабельный» и «береговой» соответственно.

Таким образом, информативность I координатных признаков ИР может быть определена как

$$I = \begin{cases} 2P_K - 1, & \text{при отображении отметки} \\ & \text{от ИР на морской поверхности;} \\ 2P_B - 1, & \text{при отображении отметки} \\ & \text{от ИР на земной поверхности.} \end{cases}$$

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КООРДИНАТНЫХ ПРИЗНАКОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ВЕРОЯТНОСТИ РАСПОЗНАВАНИЯ ВИДА ИСТОЧНИКА РАДИОИЗЛУЧЕНИЙ

Г.А. Коржавин, д-р техн. наук, проф., ген. директор,

Ю.Ф. Подоплёкин, д-р техн. наук, проф., заслуженный деятель науки РФ, первый зам. ген. директора,

О.Г. Мальцев, д-р техн. наук, начальник НИЛ,

АО «Концерн «Гранит-Электрон»,

контакт. тел. (812) 271 4585, 271 6774

Интуитивно понятно, что чем дальше от береговой черты отображена отметка от ИР, тем выше информативность координат ИР при отнесении его к тому или иному виду. Так, например, при отображении отметки от ИР на морской поверхности на удалении от береговой черты, превышающем максимально возможные ошибки определения координат его местоположения, данный ИР следует считать корабельным вне зависимости от результатов анализа РТ параметров его сигнала. Это означает, что в данном случае РТ параметры можно и не анализировать. При таком же удалении от береговой черты отметки от ИР, отображенной на земной поверхности, данный ИР без анализа РТ параметров его сигнала достоверно может быть отнесен к виду «береговой». Очевидно, что в рассмотренных случаях информативность координатных признаков ИР будет максимальной и, допуская, что ошибки, обусловленные аппроксимацией береговой черты, являются несущественными и ими можно пренебречь, – равной единице.

В другом крайнем случае, когда отметка от ИР отображена на береговой черте, информативность координатных признаков ИР будет минимальной и, с учетом сделанного допущения, – равной нулю.

Во всех остальных случаях оценка информативности координатных признаков ИР требует проведения специального исследования.

Введем прямоугольную декартову систему координат xOy с осями Ox и Oy , направленными соответственно на Восток и на Север. Начало системы координат совпадает с отметкой от анализируемого ИР.

Рассмотрим вектор измерений $\vec{r}^T = [x; y]$, который имеет характеризующие точность определения координат местоположения ИР на плоскости среднее значение ошибки, равное нулю, и ковариационную матрицу ошибок положения

$$K = \begin{bmatrix} \sigma_x^2 & k_{xy} \\ k_{xy} & \sigma_y^2 \end{bmatrix}, \text{ где } k_{xy} \text{ – корреляционный момент, равный}$$

$k_{xy} = \rho_{xy} \sigma_x \sigma_y$; σ_x^2 , σ_y^2 и ρ_{xy} – соответственно дисперсии и коэффициент корреляции ошибок определения координат местоположения ИР. Соотношение

$$\vec{r}^T K^{-1} \vec{r} = l^2 \quad (1)$$

при распределении векторов ошибки по нормальному закону представляет собой уравнение алгебраической кривой второго порядка, контуры которой имеют равные значения плотности вероятности местоположения ИР.

Известно, что в общем случае, когда случайные величины (ошибки) x и y коррелированы, существует система координат $\zeta O \eta$, получаемая поворотом системы xOy на угол α , в которой корреляция случайных величин отсутствует.

После преобразования уравнение (1) можно переписать в стандартной (канонической) форме в виде $\frac{\zeta^2}{a^2} + \frac{\eta^2}{b^2} = 1$, где величины a и b являются полуосями кривой, которая при

$a \neq b$ является эллипсом. Каноническое уравнение соответствует такому выбору α , при котором фокусы эллипса лежат на оси $O\zeta$.

Вероятность того, что двумерный вектор измерений координат местоположения ИР попадает внутрь эллипса ошибок $\frac{\zeta^2}{\sigma_\zeta^2} + \frac{\eta^2}{\sigma_\eta^2} = l^2$, размеры которого определяются константой l ,

равна $P(l) = 1 - \exp(-l^2/2)$. Здесь $\sigma_\zeta, \sigma_\eta$ – главные полуоси единичного, т. е. при $l = 1$, эллипса ошибок. Задавшись вероятностью $P(l)$, можно вычислить $l = \sqrt{-2 \ln[1 - P(l)]}$ и, следовательно, определить размеры эллипса ошибок. Например, для $P(l) = 0,994$ значение $l = 3,2$.

Рассмотрим единичный эллипс

$$O_{\bar{r}}(\bar{m}, \mathbf{K}) = \{ \bar{r} : (\bar{r} - \bar{m})^T \mathbf{K}^{-1} (\bar{r} - \bar{m}) \leq 1 \} \quad (l=1, a=\sigma_\zeta, b=\sigma_\eta),$$

у которого $\bar{r}^T = [x; y]$; $\bar{m}^T = [0; 0]$; $\mathbf{K} = \begin{bmatrix} \sigma_x^2 & k_{xy} \\ k_{xy} & \sigma_y^2 \end{bmatrix}$.

Найдем длины полуосей этого эллипса и угол наклона большей полуоси эллипса к координатной оси Ox . Координаты центра эллипса задаются нулевым вектором $\bar{m}^T = [0; 0]$, т. е. центр эллипса совпадает с началом системы координат xOy . Собственные числа матрицы \mathbf{K} равны квадратам длин полуосей эллипса. Для определения собственных чисел матрицы \mathbf{K}

составим характеристическое уравнение $\begin{vmatrix} \sigma_x^2 - \lambda & k_{xy} \\ k_{xy} & \sigma_y^2 - \lambda \end{vmatrix} = 0$ или $\lambda^2 - J\lambda + D = 0$, где $J = \sigma_x^2 + \sigma_y^2$, $D = \begin{vmatrix} \sigma_x^2 & k_{xy} \\ k_{xy} & \sigma_y^2 \end{vmatrix}$. Величины J и

D являются инвариантами эллипса относительно переноса и поворота осей и следующим образом выражаются через корни характеристического уравнения: $J = \lambda_1 + \lambda_2$; $D = \lambda_1 \lambda_2$.

Если λ_1 и λ_2 – решения характеристического уравнения, то большая полуось эллипса $a = \sigma_\zeta = \sqrt{\lambda_1}$, а малая полуось $b = \sigma_\eta = \sqrt{\lambda_2}$, причем $\lambda_1 > \lambda_2$.

Ориентация осей эллипса определяется собственными векторами матрицы \mathbf{K} . Для определения собственных векторов рассмотрим систему координат $\zeta O \eta$, оси которой совпадают с осями эллипса. Система координат $\zeta O \eta$ повернута относительно xOy на неизвестный угол α . Ортогональная матрица перехода от системы координат $\zeta O \eta$ к системе

координат xOy имеет вид $\mathbf{W} = \begin{bmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha \\ \sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix}$. Матрица \mathbf{W}

является матрицей собственных векторов матрицы \mathbf{K} .

Требуется найти такой угол α , чтобы матрица, подобная матрице \mathbf{K} , была диагональной, т. е.

$$\mathbf{W}^{-1} \mathbf{K} \mathbf{W} = \begin{bmatrix} \lambda_1 & 0 \\ 0 & \lambda_2 \end{bmatrix}. \quad (2)$$

Равенство (2) умножим на матрицу \mathbf{W} , в результате получим систему линейных однородных уравнений

$$\begin{cases} (\sigma_x^2 - \lambda_k) w_{1k} + k_{xy} w_{2k} = 0; \\ k_{xy} w_{1k} + (\sigma_y^2 - \lambda_k) w_{2k} = 0, \quad k=1, 2. \end{cases} \quad (3)$$

Чтобы система (3) имела бы решение, отличное от нуля, нужно, чтобы определитель этой системы был равен нулю,

т. е. $\begin{vmatrix} \sigma_x^2 - \lambda & k_{xy} \\ k_{xy} & \sigma_y^2 - \lambda \end{vmatrix} = 0$. Это есть уравнение для собственных чисел $\lambda_k, k=1, 2$, матрицы \mathbf{K} .

Учитывая, что $w_{11} = \cos \alpha$, $w_{21} = \sin \alpha$, находим, например, из первого уравнения системы (3) при $k=1$, что $\alpha = \arctg \frac{\sigma_x^2 - \lambda_1}{-k_{xy}}$. Остальные три уравнения системы (3) дают тождественный результат вычисления значения угла α .

Вероятность попадания случайной точки, прямоугольные координаты которой распределены по нормальному закону, при совпадении центра распределения с центром единичного ($l=1$) эллипса, внутри этого эллипса равна 0,393. Чтобы эта вероятность была близка к 1 (равна, например, 0,994) размеры эллипса ошибок должны быть $a = 3,2\sigma_\zeta$, $b = 3,2\sigma_\eta$.

На рис. 1 показана геометрия задачи определения вероятности непопадания случайной нормально распределенной на плоскости точки местоположения ИР за линию береговой черты (в данном случае – вероятности P_K отнесения ИР к виду «корабельный» с использованием координатных характеристик).

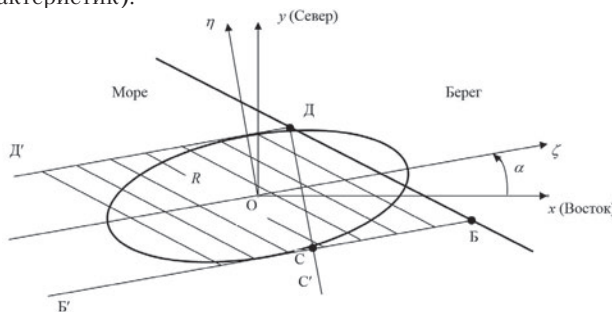


Рис. 1. Геометрия задачи определения информативности координатных признаков ИР

Вероятность P_K вычисляется для двумерного закона распределения ошибок интегрированием по заданной области R по формуле

$$P_K \equiv P\{(\zeta, \eta) \in R\} = \iint_R p(\zeta, \eta) d\zeta d\eta,$$

где $p(\zeta, \eta) = \frac{1}{2\pi\sigma_\zeta\sigma_\eta} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\zeta^2}{\sigma_\zeta^2} + \frac{\eta^2}{\sigma_\eta^2}\right)\right]$ – плотность двумерного нормального распределения (нормального закона на плоскости).

Чтобы определить область R интегрирования, построим эллипс ошибок с полуосями $a = 3,2\sigma_\zeta$, $b = 3,2\sigma_\eta$ (т. е. $l = 3,2$, что обеспечивает попадание вектора измерений координат местоположения ИР внутрь эллипса с вероятностью 0,994) и найдем координаты двух точек Д и Б пересечения прямой, аппроксимирующей выделенный участок береговой черты, с прямыми $\eta = +b$ и $\eta = -b$.

Для этого запишем уравнение прямой, которой аппроксимирован выделенный участок береговой черты, в системе координат xOy в отрезках на осях

$$\frac{x}{A'} + \frac{y}{B'} = 1.$$

Далее запишем уравнение этой же прямой в отрезках на осях, но в системе координат $\zeta O \eta$

$$\frac{\zeta}{A} + \frac{\eta}{B} = 1,$$

где $A = A'(\cos \alpha + S \cdot \sin \alpha)$; $B = -A'(\sin \alpha + \cos \alpha / S)$.

Здесь $S = \frac{B' \sin \alpha - A' \cos \alpha}{B' \cos \alpha + A' \sin \alpha}$.

Тогда

$$\zeta_D = A(1 - b/B), \quad \eta_D = b; \quad \zeta_B = A(1 + b/B), \quad \eta_B = -b.$$

Таким образом, область R интегрирования (на рис. 1 эта область заштрихована) ограничена прямой, аппроксимирующей береговую черту, и двумя прямыми $\eta = +b$ и $\eta = -b$, и вероятность непопадания случайной нормально распределенной на плоскости точки местоположения ИР за линию береговой черты (вероятность P_K) получается интегрированием плотности $p(\zeta, \eta)$ вероятности местоположения ИР в главных осях $O\zeta, O\eta$ эллипса ошибок по области, лежащей слева от границы Б'БДД'.

Область интегрирования разобьем на два участка и представим вероятность P_K в виде суммы $P_K = P_1 + P_2$, где $P_1 = \Phi^*(\zeta_D / \sigma_\zeta) \Phi^*(\eta_D / \sigma_\eta)$ – вероятность попадания в квад-

рант $D'DC'$; P_2 – вероятность попадания в треугольник с вершинами в точках Б, С и Д. Здесь $\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) dt$ – функция нормального распределения.

Вероятность P_2 попадания случайной нормально распределенной точки местоположения ИР в треугольник может быть вычислена [2] с помощью табличного T -интеграла, который определяется следующим образом:

$$T(h, p) = \frac{1}{2\pi} \int_0^p \exp\left[-\frac{h^2(1+x^2)}{2}\right] \frac{dx}{1+x^2}.$$

Вероятность P_2 равна [2]

$$P_2 = \sum_{i=1}^3 [T(h_i, q_i) - T(h_i, p_i)],$$

$$\text{где } h_i = \frac{|\zeta'_i \eta'_{i+1} - \zeta'_{i+1} \eta'_i|}{\sqrt{(\zeta'_{i+1} - \zeta'_i)^2 + (\eta'_{i+1} - \eta'_i)^2}}; \quad p_i = \frac{\zeta'_i(\zeta'_{i+1} - \zeta'_i) + \eta'_i(\eta'_{i+1} - \eta'_i)}{|\zeta'_i \eta'_{i+1} - \zeta'_{i+1} \eta'_i|};$$

$$q_i = \frac{\zeta'_{i+1}(\zeta'_{i+1} - \zeta'_i) + \eta'_{i+1}(\eta'_{i+1} - \eta'_i)}{|\zeta'_i \eta'_{i+1} - \zeta'_{i+1} \eta'_i|}; \quad \zeta'_{i(i+1)} = \zeta_{i(i+1)} / \sigma_\zeta;$$

$$\eta'_{i(i+1)} = \eta_{i(i+1)} / \sigma_\eta.$$

Причем

для 1-го слагаемого: $\zeta_i \equiv \zeta_B$; $\eta_i \equiv \eta_B$; $\zeta_{i+1} \equiv \zeta_C$; $\eta_{i+1} \equiv \eta_C$;

для 2-го слагаемого: $\zeta_i \equiv \zeta_C$; $\eta_i \equiv \eta_C$; $\zeta_{i+1} \equiv \zeta_D$; $\eta_{i+1} \equiv \eta_D$;

для 3-го слагаемого: $\zeta_i \equiv \zeta_D$; $\eta_i \equiv \eta_D$; $\zeta_{i+1} \equiv \zeta_B$; $\eta_{i+1} \equiv \eta_B$.

Здесь $\zeta_B, \eta_B, \zeta_D, \eta_D$ – определены выше, а $\zeta_C = A(1-b/B)$, $\eta_C = -b$.

Таким образом, для геометрии задачи, представленной на рис. 1,

$$P_K = P_1 + P_2; \quad P_B = 1 - P_K.$$

По приведенным формулам выполнены расчеты информативности I координатных признаков ИР. Исследовалась зависимость информативности I от средних квадратических отклонений (СКО) σ_x, σ_y ошибок определения координат местоположения ИР, коэффициента ρ_{xy} корреляции ошибок, траверсного расстояния d_T от ИР до береговой черты и соотношения A'/B' длин отрезков, отсекаемых береговой чертой на осях Ox и Oy (т. е. параметров, определяющих положение прямой на плоскости). Результаты расчетов сведены в табл. 1. Значения I , записанные над и под чертой «/», получены соответственно при соотношении $A'/B' = 2$ и 1.

Анализ приведенных в табл. 1 данных показывает, что для геометрии задачи, изображенной на рис. 1, при прочих равных условиях информативность I координатных признаков ИР повышается с уменьшением СКО σ_x, σ_y ошибок определения координат местоположения ИР и коэффициента ρ_{xy} корреляции ошибок, а также с увеличением траверсного расстояния d_T от ИР до береговой черты и соотношения A'/B' длин отрезков, отсекаемых береговой чертой на осях Ox и Oy .

БАЙЕСОВСКОЕ РЕШАЮЩЕ ПРАВИЛО РАСПОЗНАВАНИЯ ВИДА ИСТОЧНИКА РАДИОИЗЛУЧЕНИЙ

Решение задачи распознавания вида ИР («корабельный» или «береговой»), отображаемого на фоне береговой черты, основано на использовании оценок координат местоположения ИР и результатов распознавания вида ИР по РТ параметрам его сигнала.

Отнесение ИР к соответствующему виду производится по следующим правилам:

1) если отметка от ИР отображена на расстоянии от береговой черты, превышающем максимально возможные ошибки определения координат местоположения ИР, то этот ИР без анализа РТ параметров его сигнала считается корабельным или береговым в зависимости от того, отображена отметка от него соответственно на морской или земной поверхности;

2) в остальных случаях для разрешения неоднозначности, возникающей при определении вида ИР, применяется байесовское решающее правило, основанное [3] на критерии максимума апостериорной вероятности

$$P_K P_{K_{\max}} \geq P_B P_{B_{\max}}, \quad (4)$$

где P_K, P_B – априорные вероятности принадлежности ИР к видам «корабельный» и «береговой» соответственно; $P_{K_{\max}}, P_{B_{\max}}$ – функции правдоподобия соответственно номеров N_K и N_B корабельных и береговых РЛС, обеспечивающих по РТ параметрам их сигналов наибольшее правдоподобие с анализируемым ИР.

Отнесение анализируемого ИР к виду «корабельный» осуществляется при выполнении неравенства (4). При выполнении противоположного неравенства ИР считается береговым.

Расчет априорных вероятностей. Априорные вероятности P_K, P_B принадлежности анализируемого ИР соответственно к видам «корабельный» и «береговой» с учетом результатов, полученных в разделе «Информативность координатных признаков источников радиоизлучений», рассчитываются следующим образом:

$$P_K = P_1 + P_2; \quad P_B = 1 - P_K,$$

если отметка от ИР отображена на морской поверхности, и

$$P_B = P_1 + P_2; \quad P_K = 1 - P_B,$$

если отметка от ИР отображена на земной поверхности.

$$\text{Здесь } P_1 = \Phi(\zeta_D / \sigma_\zeta) \Phi(\eta_D / \sigma_\eta); \quad P_2 = \sum_{i=1}^3 [T(h_i, q_i) - T(h_i, p_i)].$$

Расчет функций правдоподобия. Расчет функций правдоподобия значений N_K и N_B (условных плотностей вероятности реализаций выборок при наличии сигналов корабельной РЛС N_K -го типа и береговой РЛС N_B -го типа соответственно) проводится с использованием баз данных, содержащих априорные сведения о РТ параметрах сигналов корабельных и береговых РЛС различных типов.

Таблица 1

Результаты расчетов информативности

Значения I при d_T , км							
3	6	9	12	3	6	9	12
$\sigma_x = 5$ км; $\sigma_y = 4$ км				$\sigma_x = 3$ км; $\sigma_y = 2$ км			
$\rho_{xy} = 0; \alpha = 0^\circ$				$\rho_{xy} = 0; \alpha = 0^\circ$			
0,53 / 0,50	0,85 / 0,82	0,97 / 0,96	1 / 0,99	0,83 / 0,77	0,99 / 0,98	1 / 1	1 / 1
$\rho_{xy} = 0,2; \alpha = 20,82^\circ$				$\rho_{xy} = 0,2; \alpha = 12,82^\circ$			
0,49 / 0,45	0,82 / 0,78	0,96 / 0,94	0,99 / 0,99	0,79 / 0,73	0,99 / 0,97	1 / 1	1 / 1
$\rho_{xy} = 0,5; \alpha = 32,89^\circ$				$\rho_{xy} = 0,5; \alpha = 25,1^\circ$			
0,44 / 0,41	0,77 / 0,73	0,93 / 0,91	0,98 / 0,97	0,74 / 0,68	0,98 / 0,96	1 / 1	1 / 1
$\rho_{xy} = 0,7; \alpha = 36,09^\circ$				$\rho_{xy} = 0,7; \alpha = 29,62^\circ$			
0,42 / 0,39	0,74 / 0,71	0,92 / 0,89	0,98 / 0,97	0,71 / 0,65	0,97 / 0,94	1 / 0,99	1 / 1
$\rho_{xy} = 0,9; \alpha = 37,98^\circ$				$\rho_{xy} = 0,9; \alpha = 32,58^\circ$			
0,40 / 0,36	0,72 / 0,67	0,90 / 0,86	0,97 / 0,96	0,68 / 0,62	0,96 / 0,93	1 / 0,99	1 / 1

Используются рабочие (модифицированные – адаптированные к данному тактическому району и к заданному времени) БД корабельных и береговых РЛС. Из этих БД с использованием замеров РТ параметров сигнала анализируемого ИР отбираются РЛС, которые могут рассматриваться как «претенденты» на идентичность с анализируемым ИР. «Претендентами» на идентичность считаются те РЛС, сигналы которых имеют те же вид и модуляцию, что и сигнал анализируемого ИР, а значения несущей частоты сигнала, периода повторения импульсов и длительности импульсов этих РЛС отличаются от замеров соответствующих РТ параметров сигнала анализируемого ИР не более чем на величину соответствующих порогов.

Далее для каждой из РЛС N -го типа (N_K -го или N_B -го типа), отождествленных по РТ параметрам сигнала с анализируемым ИР, рассчитываются функции правдоподобия $p(\{\hat{f}_n\}, \{\hat{T}_n\}, \{\hat{\tau}_n\} | N)$ значений номеров N типов РЛС, где $\{\hat{f}_n\}$, $\{\hat{T}_n\}$, $\{\hat{\tau}_n\}$ – выборки замеров соответственно несущей частоты f_n сигнала, периода T_n повторения импульсов и длительности τ_n импульсов.

Если в анализируемом частотном диапазоне для N -го типа РЛС имеется несколько режимов (несколько комбинаций значений РТ параметров сигнала РЛС, занесенных в рабочие БД), то выбирается тот режим, который обеспечивает наибольшее значение функции правдоподобия.

Частные функции правдоподобия $p(\{\hat{f}_n\} | N)$, $p(\{\hat{T}_n\} | N)$, $p(\{\hat{\tau}_n\} | N)$ вычисляются [1] следующим образом (далее Π – либо несущая частота сигнала, либо период повторения импульсов, либо длительность импульсов, а $\{\hat{\Pi}\}$ – выборка замеров соответствующего параметра):

$$p(\{\hat{\Pi}\} | N) = \left(\frac{1}{2\pi\sigma_n^2} \right)^{m/2} \exp \left\{ - \frac{1}{2\sigma_n^2} \left[(m-1)\hat{\sigma}_n^2 + m(\hat{\Pi}_{cp} - \Pi_0)^2 \right] \right\},$$

если для РЛС N -го типа параметр Π в БД задан значением Π_0 , которое в процессе работы не изменяется;

$$p(\{\hat{\Pi}\} | N) = \frac{1}{(\Pi_{max} - \Pi_{min})\sqrt{m}} \left(\frac{1}{2\pi\sigma_n^2} \right)^{(m-1)/2} \exp \left\{ - \frac{1}{2\sigma_n^2} (m-1)\hat{\sigma}_n^2 \right\} \times \frac{1}{2} \left[\Phi \left(\frac{\Pi_{max} - \hat{\Pi}_{cp}}{\sigma_n / \sqrt{m}} \right) - \Phi \left(\frac{\Pi_{min} - \hat{\Pi}_{cp}}{\sigma_n / \sqrt{m}} \right) \right],$$

если для РЛС N -го типа параметр Π в БД задан диапазоном значений от Π_{min} до Π_{max} , и значение параметра выбирается равновероятно и в процессе работы не изменяется;

$$p(\{\hat{\Pi}\} | N) = \frac{1}{(\Pi_{max} - \Pi_{min})^m} \prod_{\mu=1}^m \frac{1}{2} \left[\Phi \left(\frac{\Pi_{max} - \hat{\Pi}_{\mu}}{\sigma_n} \right) - \Phi \left(\frac{\Pi_{min} - \hat{\Pi}_{\mu}}{\sigma_n} \right) \right],$$

если для РЛС N -го типа параметр Π в БД задан диапазоном значений от Π_{min} до Π_{max} , и значение параметра в процессе работы изменяется по случайному закону.

Здесь $\Phi(x) = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \int_0^x \exp \left\{ - \frac{t^2}{2} \right\} dt$ – функция Лапласа; σ_n –

СКО ошибки измерения параметра Π ; m , $\hat{\Pi}_{\mu}$, $\mu = 1, 2, \dots, m$, – соответственно размер и μ -й элемент выборки замеров параметра Π ; $\hat{\Pi}_{cp}$ – выборочное среднее; $\hat{\sigma}_n^2$ – выборочная дисперсия.

Функции правдоподобия номеров N_K и N_B соответственно корабельных и береговых РЛС, обеспечивающих по РТ параметрам их сигналов наибольшее правдоподобие с анализируемым ИР, выбираются по правилам

$$P_{Kmax} = \max_{N_K \in M_K} [p(\{\hat{f}_n\}, \{\hat{T}_n\}, \{\hat{\tau}_n\} | N_K)];$$

$$P_{Bmax} = \max_{N_B \in M_B} [p(\{\hat{f}_n\}, \{\hat{T}_n\}, \{\hat{\tau}_n\} | N_B)],$$

где M_K , M_B – соответственно массивы типов корабельных и береговых РЛС, отождествленных по РТ параметрам сигнала с анализируемым ИР, т. е. массивы «претендентов» на идентичность с анализируемым ИР.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЧИСЛЕННОГО ЭКСПЕРИМЕНТА НА ПЭВМ

Теоретические результаты дополнены оценками статистического моделирования на ПЭВМ. На математической модели производилась сравнительная оценка по эффективности и качеству распознавания корабельного ИР двух решающих правил:

первого – основанного на критерии максимума функции правдоподобия, т. е. на критерии $P_K P_{Kmax} \geq P_B P_{Bmax}$, построенном только на анализе РТ параметров принятого излучения;

второго – основанного на критерии максимума апостериорной вероятности, т. е. на критерии $P_K P_{Kmax} \geq P_B P_{Bmax}$, учитывающем результаты анализа и сигнальных, и координатных признаков.

При применении этих решающих правил отнесение анализируемого ИР к виду «корабельный» осуществлялось при выполнении соответствующих неравенств, а при выполнении противоположных неравенств ИР считался береговым.

Законы распределения вероятности ошибок определения координат местоположения ИР на морской (земной) поверхности принимались нормальными и зависимыми по координатным осям Ox и Oy с нулевыми математическими ожиданиями, СКО $\sigma_x = 5$ км, $\sigma_y = 4$ км (или $\sigma_x = 3$ км, $\sigma_y = 4$ км) и коэффициентом корреляции $\rho_{xy} = 0,2$.

Для сравнительной оценки решающих правил использовались вероятности правильного и ошибочного распознавания корабельного ИР, определяющие соответственно эффективность и качество распознавания ($P^*(K/K)$, $P^*(K/B)$ и $P(K/K)$, $P(K/B)$ – для решающих правил распознавания, основанных на критерии максимума функции правдоподобия и максимума апостериорной вероятности соответственно).

Таблица 2

Результаты моделирования

Показатель эффективности, качества	$\sigma_x = 5$ км; $\sigma_y = 4$ км; $\rho_{xy} = 0,2$			$\sigma_x = 3$ км; $\sigma_y = 2$ км; $\rho_{xy} = 0,2$		
	$d_T \in [1; 3]$ км	$d_T \in [3; 5]$ км	$d_T \in [5; 7]$ км	$d_T \in [1; 3]$ км	$d_T \in [3; 5]$ км	$d_T \in [5; 7]$ км
	$P(K/K) \approx 0,7$; $P(K/B) \approx 0,5$					
$P(K/K)$	0,84	0,90	0,93	0,88	0,95	0,99
$P(K/B)$	0,16	0,09	0,04	0,10	0,03	0,01
	$P(K/K) \approx 0,8$; $P(K/B) \approx 0,4$					
$P(K/K)$	0,88	0,91	0,94	0,90	0,95	0,98
$P(K/B)$	0,15	0,11	0,05	0,12	0,03	0,01
	$P(K/K) \approx 0,9$; $P(K/B) \approx 0,3$					
$P(K/K)$	0,92	0,93	0,95	0,93	0,96	0,98
$P(K/B)$	0,16	0,10	0,07	0,12	0,05	0,01

Искомые оценки вероятностей для каждой из двух указанных выше комбинаций значений σ_x , σ_y , ρ_{xy} , трех диапазонов изменения траверсного расстояния от ИР до береговой черты $d_T \in \{[1; 3]; [3; 5]; [5; 7] \text{ км}\}$ и $A'/B'=1$ рассчитаны по 1000 реализациям эксперимента. Причем под реализацией понималось: выбор из заданного диапазона случайным образом значения траверсного расстояния d_T от истинного местоположения ИР до береговой черты; внесение в координаты истинного местоположения ИР ошибок с заданными σ_x , σ_y и ρ_{xy} ; выбор из соответствующей базы данных случайным образом корабельной (береговой) РЛС; формирование замеров РТ параметров сигнала выбранной РЛС путем внесения в истинные значения РТ параметров соответствующих ошибок; применение к сформированному образу ИР исследуемых решающих правил распознавания. Результаты моделирования приведены в табл. 2.

Из результатов, приведенных в табл. 2, следует, что использование дополнительно к сигнальным еще и координатных признаков позволяет повысить как эффективность, так и качество распознавания корабельного ИР, причем наиболее существенно уменьшается вероятность его ошибочного распознавания.

Так, в рассмотренных условиях расширение используемого при распознавании признаков пространства координатными характеристиками дает прирост эффективности на 2,2...41%. Причем величина прироста эффективности растет с уменьшением ошибок определения координат местоположения ИР, со снижением эффективности распознавания корабельного ИР на основе анализа только РТ параметров его сигнала и с увеличением траверсного расстояния от ИР до береговой черты.

Для качества распознавания корабельного ИР прирост составляет 47...98% и повышается в пределах указанного диапазона с уменьшением ошибок определения координат местоположения

ИР, со снижением качества распознавания корабельного ИР на основе анализа только РТ параметров его сигнала и с увеличением траверсного расстояния от ИР до береговой черты.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Эффективность корабельного комплекса приема и обработки информации от внешнего источника может быть повышена путем реализации алгоритмов разделения источников радиоизлучений, отображаемых на индикаторе этого комплекса на фоне береговой черты, на корабельные и береговые и последующего распознавания типов (классов) излучающих надводных целей.

Предложено учитывающее результаты анализа некоординатных (сигнальных) и координатных признаков байесовское решающее правило, в котором в качестве априорных вероятностей принадлежности ИР к разделяемым классам используются вероятности попадания/непопадания случайной точки местоположения ИР за прямую, которой аппроксимирован выделенный участок береговой черты.

Целесообразность использования при распознавании вида ИР («корабельный» или «береговой») дополнительно к сигнальным признакам оценок координат его местоположения подтверждена численным экспериментом на ПЭВМ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Коржавин Г.А., Подоплёкин Ю.Ф., Мальцев О.Г. Распознавание типа морской групповой цели по информации корабельных средств пассивной локации // Морской вестник. – 2016. – Спец. вып. № 1 (12). – С. 7–10.
2. Смирнов Н.В., Большёв Л.Н. Таблицы для вычисления функции двумерного нормального распределения. – М.: Изд-во АН СССР, 1962. – 204 с.
3. Ширман Я.Д., Горшков С.А., Лещенко С.П., Братченко Г.Д., Орленко В.М. Методы радиолокационного распознавания и их моделирование // Науч.-техн. сери. – 2000. – Вып. 3: Радиолокация и радиометрия, № 2: Радиолокационное распознавание и методы математического моделирования / Под ред. Я.Д. Ширмана. – С. 5–64. ■

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время морские подвижные объекты (МПО) в основном комплектуются интегрированными системами управления (ИСУ), которые обеспечивают контроль и управление МПО с помощью:

- интегрированных мостиковых систем (ИМС),
- систем управления движением и маневрирование (СУДиМ),
- систем управления техническими средствами (СУТС).

На сегодняшний день ИСУ являются наиболее совершенной системой автоматизации МПО, выполняющей сбор, обработку, анализ и контроль больших объемов эксплуатационных параметров, отвечающих современным требованиям безопасности и законам оптимального управления.

При своей работе ИСУ выполняет анализ и контроль состояния навигационно-измерительных датчиков и исполнительных механизмов, а на основе показаний средств измерений и состояния исполнительных механизмов формирует управляющие воздействия на МПО. Для поддержки операторов МПО ИСУ обеспечивает их необходимым объемом информации с определенной периодичностью и требуемой точностью для выработки правильных управляющих воздействий. Важная часть ИСУ МПО – ее оптимально построенная информа-

ИНТЕГРИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ МОРСКИМИ ПОДВИЖНЫМИ ОБЪЕКТАМИ

В.М. Амбросовский, канд. техн. наук, доцент, директор департамента,
Д.В. Казунин, д-р техн. наук, директор департамента,
АО «Кронштадт Технологии»,
контакт. тел. (812) 448 6481

ционная структура, которая, как показано в [1, 2], обеспечивает эффективное решение вышеприведенных задач.

В настоящей работе рассматриваются ключевые вопросы построения ИСУ современного МПО, такие как формирование структуры ИСУ; обеспечение обмена информацией между частями ИСУ; хранение информации о датчиках, исполнительных механизмах и объектах контроля и управления, о сигналах аварийно-предупредительной сигнализации (АПС), а также хранение поступивших команд управления. В работе приведены наиболее технологичные примеры построения ИСУ МПО производства АО «Кронштадт Технологии».

СТРУКТУРА ИСУ МПО

Современные ИСУ МПО обычно включают: ИМС [3]; СУТС; СУДиМ; систему видеонаблюдения (СВН); систему обработки информации (СОИ), выполняющую функции обработки и ин-

тегрирования сигналов и информации, поступающих от различных навигационно-измерительных датчиков и систем контроля и управления; систему контроля состояния оборудования ИСУ МПО и внешних датчиков и вспомогательных систем, включая подсистему АПС.

В зависимости от сложности задач, которые должен выполнять МПО, используют двух-, трех- и четырехуровневые структуры построения ИСУ. Двухуровневая структура ИСУ МПО является простой и достаточно надежной, а структурно она состоит из операторских станций (ОпСт) и приборов вычислительных (ПВ), в которых установлены средства сбора информации и передачи управляющих команд. В трехуровневой системе добавляется дублированный сервер, который обеспечивает хранение всей текущей информации об оборудовании ИСУ МПО. В четырехуровневой системе ИСУ МПО появляется административная цифровая сеть, позволяю-

щая контролировать и управлять ИСУ МПО с ОпСт, стоящих в помещениях администрации МПО.

Рассмотрим перечисленные структуры построения ИСУ применительно к наиболее сложным системам, составляющим ИСУ МПО, таким как ИМС; комплексные системы управления техническими средствами (КСУ ТС) и системы управления движением и маневрированием (СУДиМ) МПО.

1. Типовые структуры ИСУ МПО в части интегрированной мостиковой системы (ИМС) успешно используются в составе ИСУ МПО производства АО «Кронштадт Технологии». На рис. 1 приведена обобщенная структура ИМС МПО.

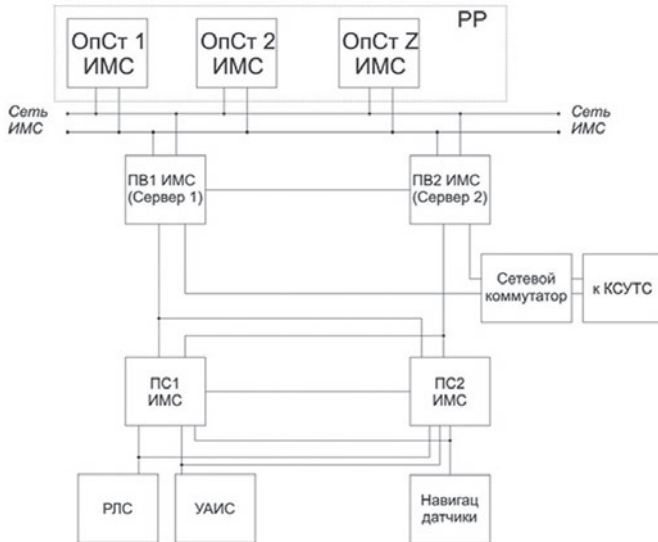


Рис. 1. Обобщенная типовая структура ИМС в составе ИСУ МПО

ОпСт – операторская станция; PP – рулевая рубка; ПВ – прибор вычислительный; ПС – прибор сопряжения; РЛС – радиолокационные станции; УАИС – устройство автоматической идентификации судна

Приведенная структура – двухуровневая. Ее первый уровень – это объединенные дублированной цифровой шиной операторские станции, находящиеся в автоматизированных рабочих местах (АРМ) и пультах управления (ПУ), а второй уровень – это приборы вычислительные (ПВ) и приборы сопряжения (ПС), объединенные своими цифровыми шинами. Типовая секция ИМС разработки АО «Кронштадт Технологии» приведена на рис. 2.



Рис. 2. Типовая секция ИМС в составе ИСУ МПО АО «Кронштадт Технологии»

2. Типовые структуры ИСУ МПО в части структура КСУ ТС [4] успешно используются в составе ИСУ МПО производства АО «Кронштадт Технологии». На рис. 3 приведена обобщенная структура КСУ ТС МПО.

Приведенная структура КСУ ТС – трехуровневая. Первый уровень – это объединенные дублированной цифровой шиной операторские станции, находящиеся в АРМ и ПУ. Вторым уровнем этой КСУ ТС являются ПВ, ИТС, цифровые шины, объединенные своими цифровыми шинами. Третий уровень – это приборы ввода/вывода и обработки

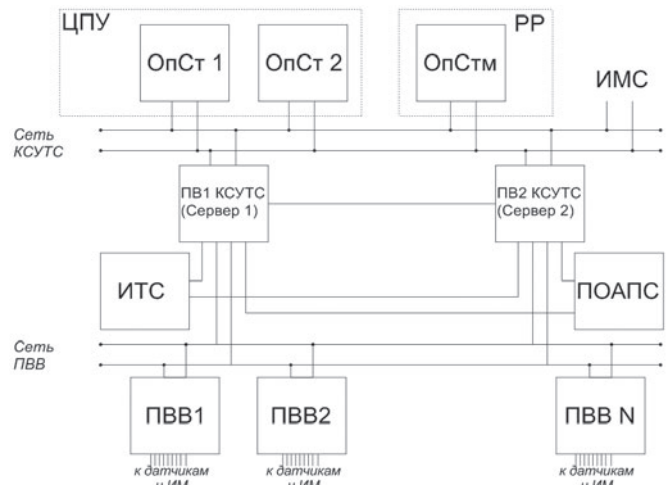


Рис. 3. Обобщенная типовая структура КСУ ТС в составе ИСУ МПО

ЦПУ – центральный пост управления; PP – рулевая рубка; ИТС – интегратор технических средств; ПОАПС – подсистема обобщенной АПС; ПВВ – приборы ввода/вывода/обработки сигналов

сигналов (ПВВ). Пример ЦПУ АО «Кронштадт Технологии» приведен на рис. 4, а на рис. 5 показан типовой ПВВ производства АО «Кронштадт Технологии».



Рис. 4. Пример ЦПУ АО «Кронштадт Технологии»



Рис. 5. Типовой ПВВ КСУ ТС в составе ИСУ МПО АО «Кронштадт Технологии»

Отдельно на рис. 3 выделена подсистема обобщенной АПС (ПОАПС), которая информирует экипаж о возникающих навигационных предупреждениях и АПС в технических средствах МПО. Подсистема обобщенной АПС может также

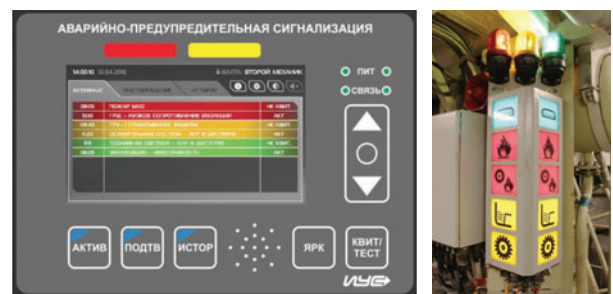


Рис. 6. Панель и СЗК обобщенной АПС

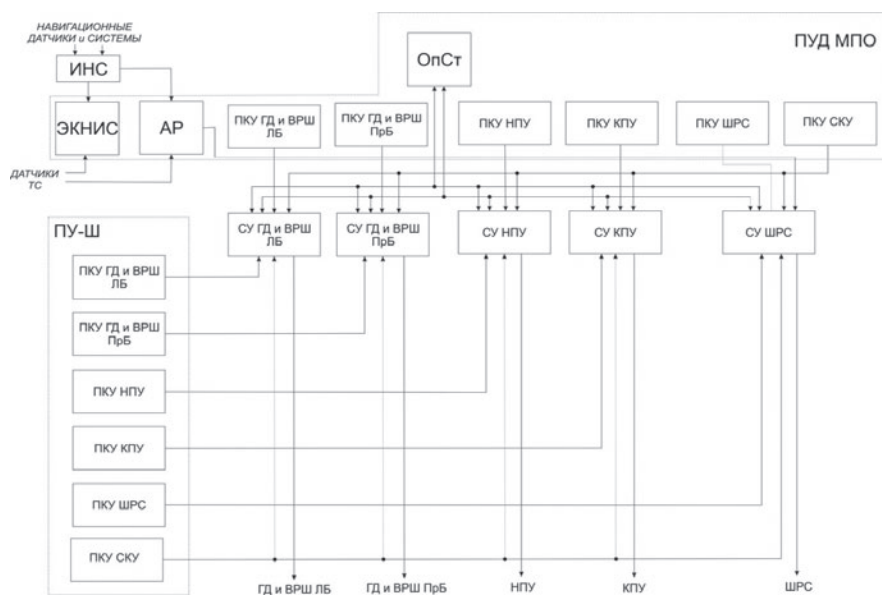


Рис. 7. Структура СУДиМ МПО, оборудованного ВРШ, КПУ, НПУ и РМ
 ИНС – интегрированная навигационная система; АР – авторулевой (система автоматического управления курсом); ЭКНИС – электронная картографическая навигационная интегрированная система; ПУД – пульт управления движением; ПУ-Ш – пульт управления швартовкой

обеспечивать техническую диагностику состояния ИСУ МПО и конструируемых и управляемых средствах МПО. На рис. 6 приведена панель обобщенной АПС производства АО «ИЦ ИУС», входящая в состав ИСУ МПО АО «Кронштадт Технологии» и светозвуковая колонка (СЗК) из состава обобщенной АПС.

Приведенная панель сделана с использованием ЖКИ-дисплея. Также есть варианты этой панели, разработанной на базе сенсорного монитора 8”.

3. Отдельной задачей ИСУ МПО является задача управления движением и маневрированием МПО. Система управления движением и маневрированием (СУДиМ) МПО существенно зависит от состава средств управления движением МПО и задач управления движением и маневрированием, которые должен выполнять МПО. На рис. 7 приведена обобщенная структура СУДиМ МПО, оборудованного двумя гребными винтами регулируемого шага (ВРШ), носовым и кормовым подруливающим устройством (НПУ и КПУ) туннельного типа и двумя рулевыми машинами (РМ), системами управления (СУ) и штурвально-рулевой системой (ШРС).

Типовые структуры ИСУ МПО в части структура СУДиМ успешно используются в составе ИСУ МПО производства АО «Кронштадт Технологии».

Наиболее совершенная обобщенная структура ИСУ МПО производства АО «Кронштадт Технологии» приведена на рис. 8 и рис. 9.

ЭЛЕКТРОПИТАНИЕ ИСУ МПО

Важная задача создания и использования ИСУ МПО – надежное обеспечение ИСУ МПО электропитанием. Очень часто основным электропитанием оборудования ИСУ МПО является 24 В постоянного тока. На коротких расстояниях возможна передача этого напряжения, а в случае больших расстояний необходимо использовать более высокое напряжение, например, 1 ф, 220 В, 50 Гц, что требует наличия преобразователей АС/DC. Кроме того, для обеспечения надежности питания приборов, АРМ, ПУ и другого оборудования необходимо дублировать основное и резервное электропитание, а в некоторых случаях требуется обеспечивать еще и аварийное питание. Все это сильно усложняет создание систем электропитания ИСУ МПО и ее составных частей. Так, например, в случае отсутствия основного и резервного питания ИМС должна работать порядка 30 минут, а КСУТС от 60 до 120 минут. Эти различия соответственно определяют различия в построении систем электропита-

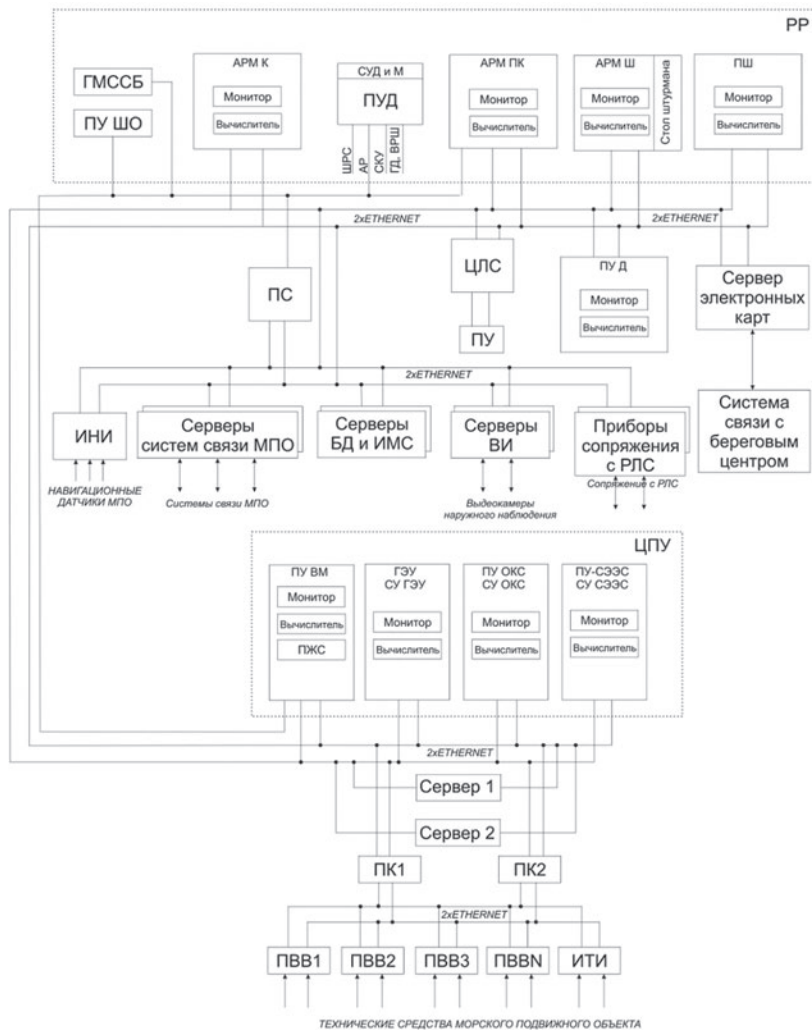


Рис. 8. Структура ИСУ МПО
 ЦЛС – прибор контроля и управления цифровыми линиями связи; АРМ – автоматизированное рабочее место; АРМ К – АРМ капитана; АРМ ПК – помощника капитана; ПУ Д – ПУ дежурного; ИНИ – интегратор навигационной информации; ГЭУ – главная энергетическая установка и пропульсивный комплекс; ОКС – общекорабельные (судовые) системы; СЭЭС – судовая электроэнергетическая установка; ПК – приборы коммутации; ИТИ – интегратор технической информации

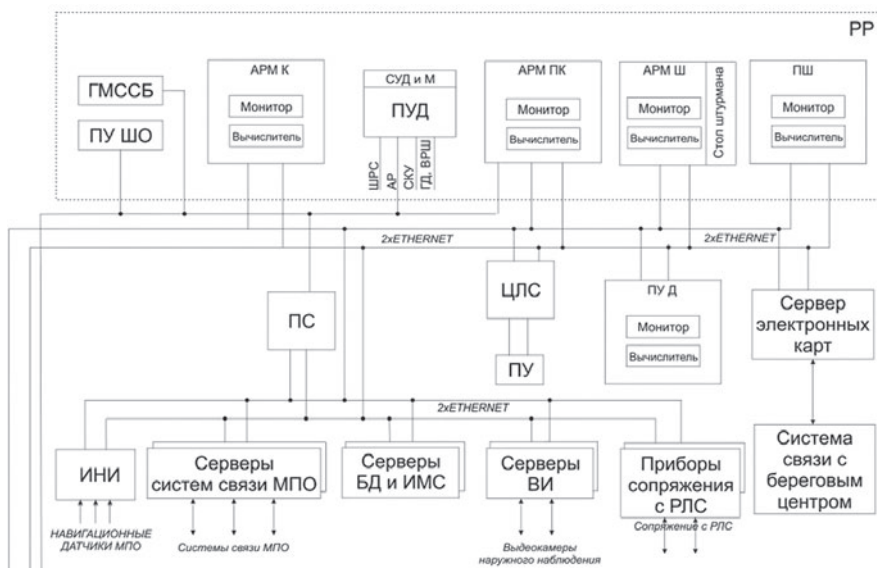


Рис. 9. Структура ИСУ МПО

ЦЛС – прибор контроля и управления цифровыми линиями связи; АРМ – автоматизированное рабочее место; АРМ К – АРМ капитана; АРМ ПК – помощника капитана; ПУД – ПУ дежурного; ИНИ – интегратор навигационной информации

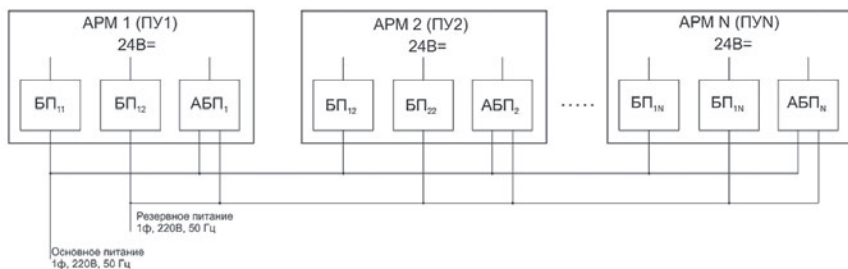


Рис. 10. Обобщенная типовая структура электропитания ИМС

БП – блок питания, выполняющий преобразование АС/DC; АБП – аварийный блок питания, обеспечивающий электропитание АРМ'ов ИМС при отсутствии основного и резервного питания

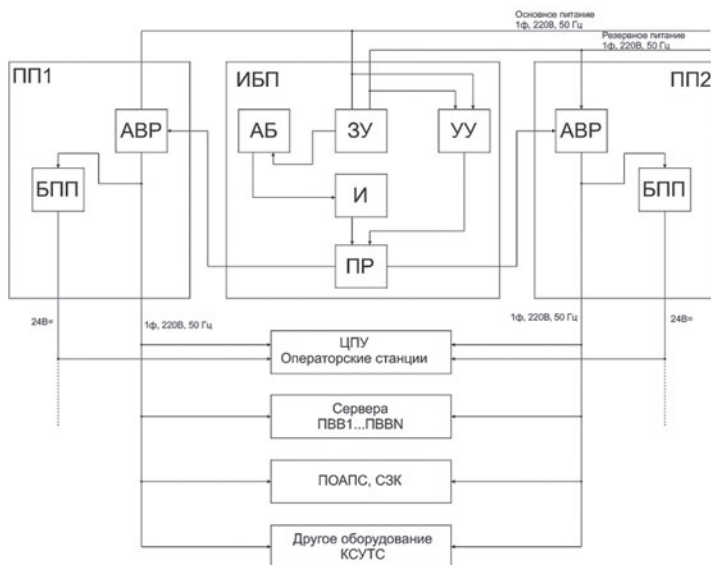


Рис. 11. Обобщенная типовая структура электропитания КСУ ТС

ПП – прибор питания; ИБП – источник бесперебойного питания; БПП – блок преобразования питания (АС/DC); АБ – аккумуляторная батарея; ЗУ – зарядное устройство; И – инвертор; АВР – автомат ввода резерва; УУ – устройство управления; ПР – прибор резерва

ния ИСМ и КСУ ТС, входящих в ИСУ МПО. На рис. 10 приведена обобщенная типовая структура системы электропитания ИМС, входящей в состав ИСУ МПО АО «Кронштадт Технологии».

Электропитание КСУ ТС в составе ИСУ МПО обеспечивается по другой схеме, обобщенная типовая структура которой приведена на рис. 11.

Как видно из рисунка, электропитание КСУ ТС в составе ИСУ МО обеспечивается единым независимым источником бесперебойного электропитания (ИБП), которое при необходимости может использовать основную или резервную сети питания. Приведенный на рис. 10 ИБП может обеспечивать длительную работу КСУТ ТС при отсутствии основного и резервного электропитания, что позволяет контролировать поступление воды на борт МПО и пожарную безопасность МПО.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе рассмотрены особенности построения типовых интегрированных систем управления (ИСУ) производства АО «Кронштадт Технологии» для морских подвижных объектов (МПО). Также приведены структурные схемы фрагментов ИСУ: интегрированных мостиковых систем (ИМС), систем управления техническими средствами (СУ ТС), систем управления движением и маневрированием (СУДиМ), а также рассмотрены системы электропитания ИМС и СУ ТС в составе ИСУ МПО.

В работе приведена общая структура ИСУ производства АО «Кронштадт Технологии», которая является на сегодняшний день наиболее совершенной для систем автоматизации МПО, выполняющей сбор, обработку, анализ и контроль больших объемов эксплуатационных параметров, отвечающих современным требованиям безопасности и законам оптимального управления.

ЛИТЕРАТУРА

1. Цуварев В.А., Оруджев Э.Я. О создании интегрированной системы управления надводным кораблем: формирование требований на примере функциональной подсистемы // Морской вестник. – 2015. – №1(53). – С. 75
2. Амбросовский В.М. Информационно-управляющие системы технических средств корабля: Уч. пособ. – СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2013.
3. Тихоненко А.М., Голубев П.В. Интегрированные мостиковые системы как универсальный инструмент управления судами техническими средствами // Морской вестник. – 2016. – №1(57). – С. 89.
4. Амбросовский В.М., Слитченко А.С. Анализ структур современных корабельных систем управления техническими средствами // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». – 2002. ■

Необходимость обеспечения конкурентоспособности отечественных изделий кораблестроения на внутренних и зарубежных рынках, повышение их надежности, экономичности и экологической безопасности ставит перед кораблестроителями, в том числе перед машиностроителями, новые задачи анализа, синтеза и совершенствования машин и механизмов, создания эффективных методов неразрушающего контроля и новых интеллектуальных технологий мониторинга технического состояния [1,2]. Последнее в значительной степени касается завершающего этапа производства корабельных машин и механизмов, производственных испытаний, роль и важность которых возросли в последние годы в связи со значительным усложнением и расширением номенклатуры выпускаемой техники для флота, и, как следствие, увеличением стоимости испытаний, проводимых на специальных, в том числе огневых и тормозных, стендах, и требующих дорогостоящих измерительных приборов, а также высокой квалификации операторов.

Для эффективной и достоверной оценки технического состояния и работоспособности сложных корабельных технических систем в сжатые сроки и при небольшой удельной стоимости испытаний требуются новые методы с использованием современных информационных технологий, развитие которых неразрывно связано с созданием математического и программного обеспечения [3].

Обзор современной научной и технической литературы, проведенный авторами, показал, что к настоящему времени отечественными и зарубежными исследователями, например, такими как А.И. Бохонский, А.Т. Барабанов, Я.З. Ципкин, Е.Л. Первухина, А.И. Михалев, А.В. Скурихин, J. Emmeneiger, S. Kullback, J. Johansen, D. Dickey, W. Fuller, разработано большое количество методов и средств моделирования сложных объектов и систем, в том числе с использованием эмпирической информации. Однако большинство предлагаемых подходов не учитывает специфику процесса оценки технического состояния сложных технических объектов и систем, используемых на флоте, в ходе реальных производственных (приемосдаточных и контрольных) испытаний.

Большинство предлагаемых подходов основано на анализе детерминированных значений диагностических параметров машин, описываемых гладкими дифференцируемыми функциями и, как правило, не учитывает вероятностно-статистический характер показателей, характеризующих условия сборки, например, моменты затяжки резьбовых соединений и распределение напряжений

СТОХАСТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИЗМЕРЕНИЙ

В.В. Новиков, д-р техн. наук, проф.,

К.Н. Осипов, канд. техн. наук, доцент,

Н.И. Варминская, канд. техн. наук, зав. кафедрой,

Черноморское высшее военно-морское училище имени П.С. Нахимова,

контакт. тел. +7(978) 778 9455

по длине резьбы. Также не учитываются причинно-следственные взаимозависимости между параметрами испытуемых изделий (например, диагностическими, структурными) и режимными параметрами испытаний, которые содержат информацию о техническом состоянии [4].

Существующих работ по статистическим методам анализа результатов испытаний машин с применением теории случайных функций, математической статистики и теории планирования эксперимента не так много. Основной их недостаток заключается в необходимости наблюдения за большим числом испытуемых изделий и измерения большого числа параметров и невозможностью оперативно учесть изменение значений диагностических параметров машин. Между тем для оценки технического состояния изделий в реальном времени для выбора режимов испытаний требуются методы, позволяющие либо за ограниченное время испытаний, либо только в ходе вычислительного эксперимента принимать достоверные решения относительно годности изделий к эксплуатации и вероятности сохранения их работоспособного состояния в течение заданного срока службы, используя минимальное количество измерений и наименьшее количество диагностических параметров и точек съема информации.

Цель работы – использование современных методов многомерного статистического анализа для построения параметрических математических моделей сложных корабельных технических объектов и систем по результатам измерения их диагностических, структурных и эксплуатационных параметров.

В современном отечественном и зарубежном производстве оценку технического состояния изделий в ходе приемосдаточных, контрольных и других испытаний проводят после ограниченной по времени приработки деталей и узлов сопоставлением измеренных значений диагностических параметров с эталонными значениями, указанными в технической документации. При этом измерительная информация, полученная в результате измерений, имеет вид случайных последовательностей изме-

ренных значений параметров с частично или полностью неизвестными вероятностными характеристиками в связи с погрешностью измерений, спецификой рабочих процессов и т.д. Более того, из-за ограничения изготовителями времени приработки деталей и узлов, необходимой для уменьшения шероховатости сопрягаемых поверхностей, исправления макрогеометрии, а также из-за сложности рабочих процессов случайные последовательности являются нестационарными даже при работе изделий на установленных режимах [3,4]. Можно сделать вывод, что процесс и объект испытаний представляют стохастическую динамическую систему высокой размерности с многоуровневой организацией, неоднородными информационными потоками, сложными отношениями между элементами.

В качестве математической основы, необходимой для описания процессов и объектов испытаний, в работе предлагается использовать алгебраическую структуру, которая будет представлять множество элементов с заданным набором операций и отношений между ними с учетом некоторого множества аксиом. Структуру (систему) процесса испытаний с учетом накопления информации, поступающей от измерительных каналов, представим в виде следующего множества: $\langle X, Y, W, S, V, \Omega, M_{st}, R_s, R_\Sigma, T \rangle$, где $X = \{x_1, x_2, x_3, \dots\}$ – ненаблюдаемые параметры системы, характеризующие ее техническое состояние, $Y = \{y_1, y_2, y_3, \dots\}$ – наблюдаемые измеренные значения параметров системы, функционально зависящие от множества параметров технического состояния X , $W = \{\}$ – множество внешних условий, $S = \{\}$ – множество контрольных точек съема информации, $V = \{\}$ – множество движений системы (изменений состояний системы), $\Omega = \{\omega_1, \omega_2, \dots\}$ – множество внешних неконтролируемых возмущений, M_{st}^T – множество допустимых математических моделей, связывающих параметры системы на основе измерительной информации, R_s – частное решение, принимаемое по M_{st}^T ; R_Σ – окончательное решение на основе уточненной модели. Тогда, исходя из того, что достоверность частного

R_s и окончательного решения R_Σ относительно годности испытуемых изделий к дальнейшей эксплуатации зависит от множества допустимых математических моделей, связывающих параметры системы на основе измерительной информации, обработка измерений в ходе испытаний предполагает создание набора моделей в алгебраическом пространстве, адекватных исследуемому процессам.

Рассмотрим динамику двух временных рядов, генерируемых результатом 100 измерений: A – содержания CO в отработавших газах двигателя внутреннего сгорания; B – содержания CO_2 в отработавших газах двигателя внутреннего сгорания, графики которых представлены на рис. 1. Исследуемые измерения были получены в рамках выполнения государственного контракта РФ по теме «Разработка информационных технологий производственных испытаний двигателей внутреннего сгорания после сборки», шифр темы: 14.740.11.0984.

Каждый контролируемый параметр представляет самостоятельный динамический ряд Y_1, \dots, Y_i . В ходе производственных (приемосдаточных и контрольных) испытаний мощность (емкость) ряда не изменяется, однако элементы ряда обновляются по мере поступления новых результатов измерений. Отличительная черта рядов – функциональная зависимость между наблюдениями, природа которой содержит информацию о техническом состоянии изделия и поэтому представляет практический интерес для исследования [4,3].

Первым шагом предлагаемого метода является идентификация модели, ведущая к грубым или приближенным результатам, позволяющая определить класс моделей для будущего исследования и уточнения. Для рассматриваемых динамических или временных рядов наиболее подходящими представляются стохастические модели типа авторегрессии – проинтегрированного скользящего среднего (АРПСС, или в английской аббревиатуре ARIMA – autoregressive integrated moving average) [5,6].

Для моделей АРПСС исследуемый динамический процесс представляется в виде

$$\Phi(U)\nabla^d Y_i = \Theta_0 + \Theta(U)\varepsilon_i, \quad (1)$$

где U – оператор запаздывания или сдвига назад: $UY_i = Y_{i-1}$, $U^2 Y_i = Y_{i-2}$,
 $\Phi(U) = 1 - \varphi_1 U - \varphi_2 U^2 - \dots - \varphi_p U^p$, (2)

(здесь $\varphi_1 \dots \varphi_p$ – конечное множество действительных чисел, называемых коэффициентами авторегрессии, p – порядок авторегрессии),

$$\Theta(U) = 1 - \theta_1 U - \theta_2 U^2 - \dots - \theta_q U^q, \quad (3)$$

$\theta_1, \dots, \theta_q$ – конечное множество коэффициентов скользящего среднего, содержащее действительные числа, q – порядок скользящего среднего, ε_i – последовательность нормально

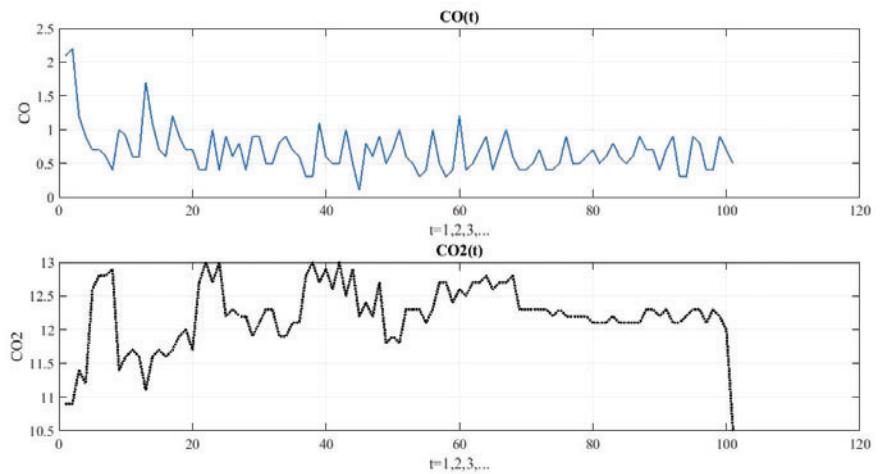


Рис. 1. Изменение диагностических параметров исследуемой системы

распределенных случайных величин с нулевым средним и дисперсией σ_ε^2 . Условие стационарности предполагает расположение корней полинома (2) вне единичного круга. Операция получения так называемых разностей порядка d для сведения нестационарных процессов к стационарным $\nabla^d = (1-U)^d Y_i$. При $d = 1$ $\nabla Y_i = Y_i - Y_{i-1} = (1-U)Y_i$, при $d = 2$ $\nabla^2 Y_i = (1-U)^2 Y_i$ и т.д. Процессы, при описании которых корни полинома (2) равны единице, в данной работе не рассматриваются, так как они носят «взрывной» характер и в практике испытаний практически не встречаются.

Очевидно, что основная задача первого шага алгоритма определения модели АРПСС(p, d, q) сводится к получению величин p, d, q и начальных значений параметров.

Обычно для идентификации порядка величин p, d, q визуальными (органолептически) анализируют автокорреляционную и частную автокорреляционную функции [6, 7]. Однако такой подход существенно снижает возможность автоматизации процесса определения параметров моделей. Поэтому в данной работе для анализа порядка моделей предлагается использовать информационный критерий японского исследователя Хироцугу Акаике.

Критерий включает функцию суммы квадратов остатков анализируемой модели. Порядок модели определяет минимальное значение критерия. Критерий рассчитываем по формуле [2, 6]

$$AIC = T \log \left(\sum_{t=1}^n \varepsilon(t) \right) + 2K, \quad (4)$$

где K – число переменных в модели, T – число наблюдений (измерений).

Проведя вычислительный эксперимент, для рассматриваемых рядов с учетом критерия (4) определены две возможные реализации модели: АРПСС(2,0,0) – модель векторной авторегрессии и АРПСС(0,2,1) – модель проинтегрированного скользящего среднего.

Следующим шагом алгоритма явля-

ется оценка адекватности допустимых моделей реальным процессам и выбор модели, наилучшим образом, с точки зрения минимума ошибок моделирования, описывающей исследуемый процесс. Для этого применим методику, основанную на анализе ошибок оценки (остатков модели).

Пусть известны первые K автокорреляций процесса АРПСС (p, d, q). Автокорреляционная функция, т.е. зависимость коэффициента ρ_k от k , вычисляется по известной формуле

$$\rho_k = \frac{E[(Y_i - \mu)(Y_{i+k} - \mu)]}{\sqrt{E[(Y_i - \mu)^2]E[(Y_{i+k} - \mu)^2]}}, \quad \mu = E[Y_i].$$

Если представить j -й коэффициент автокорреляционной функции в виде $\rho_j = \varphi_{k1}\rho_{j-1} + \dots + \varphi_{k(k-1)}\rho_{j-k+1} + \varphi_{kk}\rho_{j-k}$, $j = 1, 2, \dots, k$, то φ_{kk} называется частной автокорреляционной функцией от k .

Показано [7, с.315], что если модель адекватна экспериментальным данным, т.е. принимается гипотеза H_0 против альтернативной гипотезы H_1 (модель неадекватна экспериментальным данным), то статистика Льюнга–Бокса–Пирса

$$Q = n(n+2) \sum_{k=1}^K (n-k)^{-1} \rho_k^2(\hat{\varepsilon}) \quad (5)$$

распределена как $\chi^2(K-p-q)$, где $n = N-d$ – число значений ряда (из общего числа значений N), используемых для формирования и уточнения модели. В противном случае, если модель не соответствует данным (принимается гипотеза H_1 против H_0), среднее значение статистики возрастает.

В результате проверки каждой из возможных моделей сопоставлением значений статистики (5) с табличным значением, адекватной экспериментальным данным, принята модель АРПСС (2,0,0): $y_t = \Pi_0 + \Pi_1 y_{t-1} + \Pi_2 y_{t-2} + \varepsilon_t$, $t=1, \dots, T$, (6)

$$\text{где } y_t = \begin{pmatrix} CO \\ CO_2 \end{pmatrix}; \quad \Pi_0 = \begin{pmatrix} 3,7 \\ 4,2 \end{pmatrix};$$

$$\Pi_1 = \begin{pmatrix} 0,019 & 0,2 \\ 0,12 & 0,56 \end{pmatrix}; \quad \Pi_2 = \begin{pmatrix} -0,17 & -0,048 \\ -0,1 & 0,08 \end{pmatrix}.$$

Статистика Льюнга–Бокса–Пирса для уточненной модели (6) абсолютно приемлема, так как сравнима с табличным значением распределения $\chi_{0,95}^2(100) = 55,8$.

Кроме статистики Льюнга–Бокса–Пирса, адекватность модели (6) подтверждает классический анализ остатков (ошибок) модели, представленный на рис. 2–5.

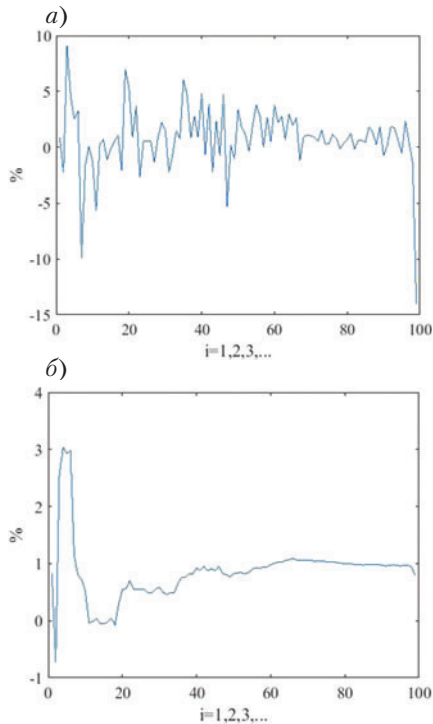


Рис. 2. Изменение ошибок моделирования: а – абсолютное значение, б – скользящее среднее

Ошибки моделирования, представленные на рис. 2, рассчитаны по следующей формуле:

$$\varepsilon_i = \frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \times 100\%,$$

где y_i – истинные значения параметров, \hat{y}_i – значения параметров, рассчитанные по формулам (6).

График на рис. 2 иллюстрирует то, что в установившемся режиме ошибки моделирования стремятся к нулю с ростом количества измерений. Кроме этого, ошибки моделирования имеют распределение, близкое к нормальному (рис. 3) и не коррелированы между собой, т.е. представляют процесс белого шума (рис. 4).

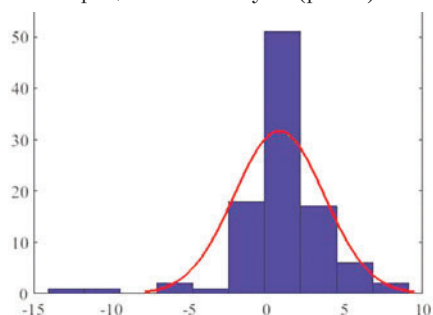


Рис. 3. Распределение ошибок моделирования

Следующим этапом моделирования является проверка устойчивости (стабильности) функциональной зависимости, описываемой уравнением (6). В работе [8] доказывается, что устойчивость зависимостей между измеренными значениями переменных y_i для технически исправных изделий характеризуется следующим линейным ограничением:

$$z_t = \beta' \cdot y_t, E[z_t] = 0, z_t \sim N(0, \sigma^2), \forall t > 0, (7)$$

где ' – знак транспонирования, β – вектор весовых коэффициентов равновесия.

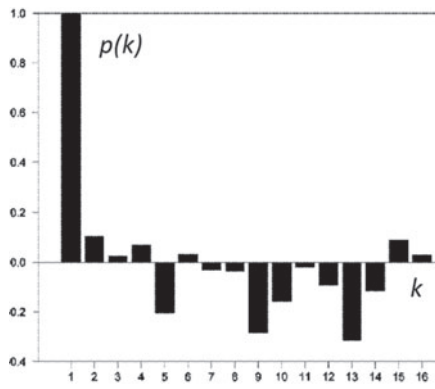


Рис. 4. График автокорреляции ошибок моделирования

Для предлагаемых в качестве примера параметров уравнение равновесия (7) имеет вид

$$z_t = 3,57 CO_{(0,095)} + 1,18 CO_{(1,090)} - 16,925 + \varepsilon_t. (8)$$

В скобках указаны стандартные ошибки оценки коэффициентов.

Выполнение условия (7) для уравнения (8) подтверждают результаты статистического теста CUSUM для проверки стабильности параметров модели на всей выборке, который основан на рекурсивных остатках (рис. 5) [9].

Статистика теста определяется следующим образом:

$$CUSUM_t = \sum_{r=k+1}^t \omega_r / s, \quad t = k+1, \dots, n,$$

где k – количество параметров модели, ω_r – рекурсивные остатки, s – стандартная ошибка модели.

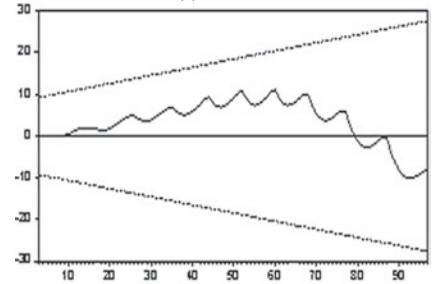


Рис. 5. Результаты теста CUSUM — CUSUM; --- 5% Significance

Если параметры модели стабильны, то математическое ожидание этой величины равно нулю для всех t . Соответственно, построены доверительные границы в виде ограничивающих линий на графике. Для 5%-го уровня значимости

доверительные границы получаются соединением двух точек: $k \pm 0,948\sqrt{n-k}$, $n \pm 3 \cdot 0,948\sqrt{n-k}$. График значений статистики не выходит за пределы линий, т.е. параметры модели стабильны (см. рис. 5), а техническая система исправна.

Предлагаемая методика моделирования временных рядов позволяет выполнять оценку состояний испытуемых объектов не в виде отдельных сечений функции от измеренных значений диагностических параметров, а в виде функционала от траектории, описывающей изменение состояния, что, в свою очередь, дает возможность получить оптимальный, с точки зрения достоверности, результаты испытаний и диагностики. Кроме этого, предлагаемый подход может быть основой для построения прогнозных значений динамических рядов, например, путем использования методов адаптивной фильтрации, работающих в условиях априорной неопределенности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Scott M. Bezick, Alan J. Pue, Charles M. Patzelt. Inertial Navigation for Guided Missile Systems // Johns hopkins apl technical digest. – 2010. – Vol. 28. – №4. – p.333–342.
2. Голикова В.В., Перухина Е.Л., Попин П.К. Моделирование измерительных последовательностей диагностических параметров ДВС// Двигатели внутреннего сгорания. – №2. – 2012. – С. 114 – 117.
3. Охтилев М.Ю., Соколов Б.В., Юсупов Р.М. Интеллектуальные технологии мониторинга и управления структурной динамикой сложных технических объектов. – М.: Наука, 2006. – 410 с.
4. Pervukhina E., Osipov K., Rapatskiy Y. Improvement of the acceptance test procedure for the external combustion engine after assembly by using the relationship between diagnostic parameters // Journal of Machinery Manufacture and Reliability. – 2011. – Vol.40. – №2. – P. 171–175.
5. Juselius K. The Cointegrated VAR Model. – New York: Oxford University Press Inc., 2006. – 457 p.
6. Emmenegger J.-F., Pervukhina E., Golikova V. Harmonic Analysis and Cointegration of Diagnostic Parameter Time Series of Motors // International Journal of Pure and Applied Mathematics. – 2013. – Vol. 82. – №1. – P. 143–161.
7. Box G.E. Jenkins G.M., Reinsel G.C. Time Series Analysis, Forecasting and Control. – New Jersey: Prentice Hall, 1994. – 598 p.
8. Осипов К.Н., Голикова В.В. Моделирование сложных машиностроительных изделий по результатам автоматизированных производственных испытаний // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2018. – №3(329). – С 35 – 43.
9. Pervukhina E., Golikova V., Stepanchenko T. Information technology in problems of identifying of engineering products with failures during acceptance tests after the assembly. – Assembly in mechanical engineering, instrument making. – Moscow. – 2010. – №11. – P.3–8. ■

При разработке информационной поддержки операторов, обслуживающих техническую систему, важную роль играют методы статистической обработки измерительной информации, поступающей в реальном времени от датчиков (извещателей) контрольно-измерительного комплекса.

Необходимо признать, что при реализации процесса обработки такой информации и формировании на ее основе управляющих воздействий на систему объективно возникают проблемы, связанные с динамической и статистической неопределенностями. Учет этих проблем, а также разработка методов их нивелирования позволяет наряду с повышением быстродействия системы обработки информации существенно снизить вероятность принятия ложного решения. Частично эти вопросы были рассмотрены в работах [1, 2]. В данной статье рассмотрены методы построения алгоритмов оценки состояния технической системы, повышения их динамической и статистической устойчивости в условиях априорной неопределенности в отношении динамики изменения контролируемых параметров, а также неопределенности законов распределения случайных результатов измерения.

МЕТОДЫ ПОСТРОЕНИЯ АЛГОРИТМОВ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

При оценке системы можно задать ее текущее состояние с помощью многомерного вектора измеряемых параметров (ИП) $X_{(m \times 1)} = (X_1, \dots, X_m)^T \in X^m$, (1) где X^m – пространство ИП.

В ряде случаев элементы вектора X рассматриваются как неизвестные, но вполне определенные детерминированные величины.

В трактах объект – датчик и датчик – приемник на полезный сигнал, несущий информацию о состоянии объекта, действуют помехи, имеющие случайный характер. Часть ошибок приема этой информации и ее преобразования также случайны. Помехи относительно полезных сигналов обладают свойствами аддитивности и мультипликативности. Таким образом, правомерно предположение, что в общем случае вектор X случаен и может быть определен с точностью числовых характеристик: $X_j = E\{X_j\} + W_j$; $j = 1, \dots, m$, (2) где $E\{\cdot\}$ – оператор математического ожидания; W_j – случайная величина.

Построение превентивной оценки изменения состояния системы требует прогнозируемого значения многомерного вектора X , т. е. формирования динамической модели контролируемого объекта во времени в виде случайного процесса $X(\tau)$. В этом случае уместна методика моделирования, основанная на стохастических дифференциальных уравнениях динамики вида

$$\dot{X}(t) = S[X(t), W(t)], \quad (3)$$

где $S[\cdot]$ – некоторый, в общем случае нелинейный оператор.

Однако анализ динамики реальных процессов изменения обстановки показывает, что в большинстве практических случаев векторное уравнение (3) удастся свести к линейной или линеаризованной схеме с погрешностями (шумами системы) вида

$$\dot{X}(t) = F(t)X(t) + G(t)W(t), \quad (4)$$

где $F(t)$ – фундаментальная матрица системы; $G(t)$ – заданная матрица Якоби.

При этом применение линеаризации модели динамики, как правило, связано с техникой малых отклонений, когда в качестве элементов вектора $X(t)$ используют поправки с ап-

ВОЗМОЖНЫЕ ПУТИ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ ДИНАМИЧЕСКОЙ И СТАТИСТИЧЕСКОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЕГО ИЗМЕНЕНИЯ

В.А. Колесник, д-р техн. наук, проф. ВМПИ ВУНЦ

«ВМА им. Адмирала Флота Советского Союза Н.Г. Кузнецова»,

А.В. Макишанов, д-р техн. наук, проф. ГУМРФ им. адмирала С.О. Макарова, контакт. тел. +7 (921) 341 8771, +7 (921) 325 2493

риорно ожидаемыми (прогнозируемыми) величинами $\tilde{Q}(t)$. В дискретном случае соответствующее уравнение динамики изменения состояния контролируемой системы имеет вид разностного уравнения:

$$\tilde{Q}_{\dot{E}+1} = \hat{Q}_{\dot{E}+1|\dot{E}} \tilde{Q}_{\dot{E}} + \tilde{A}_{\dot{E}+1} W_{K+1}, \quad (5)$$

где $\hat{Q}_{\dot{E}+1|\dot{E}}$ – переходная матрица системы; $\tilde{A}_{\dot{E}+1}$ – переходная матрица возмущений системы.

Решение векторного неоднородного дифференциального уравнения (4) имеет вид

$$\tilde{Q}(t) = \hat{Q}(t, t_0) X(t_0) + \int_{t_0}^t \hat{Q}(t, \lambda) G(\lambda) W(\lambda) d\lambda. \quad (6)$$

Соответствующее решение разностного уравнения (5) определяется выражением

$$\tilde{Q}_{\dot{E}} = \hat{Q}_{\dot{E}|0} \tilde{Q}_0 + \sum_{i=1}^{\dot{E}} \tilde{Q}_{\dot{E}|i} \tilde{A}_i W_i. \quad (7)$$

В большинстве задач, рассматриваемых в рамках теории наблюдения динамических систем, в качестве начального допущения предполагается, что шумы системы образуют стационарный, гауссовский процесс типа «белого шума» с нулевым средним и известной корреляционной матрицей, т. е.

$$W_K \in N[0, Q_K, \delta_K], \quad K, j = 1, \dots, n, \quad (8)$$

где Q_K – корреляционная матрица $E\{W_K W_j^T\}$; δ_{kj} – символ Кронекера.

Важнейшее достоинство представленных динамических моделей – возможность учета влияния возмущающих факторов различной физической природы введением дополнительных членов в правые части дифференциальных (3) и разностных (5) уравнений.

Однако в большинстве практических случаев точная идентификация таких факторов крайне сложна. В этом случае изменение многомерного вектора состояния объекта наблюдения может быть описано сравнительно простыми кинематическими моделями, например, схемой полиномиальности аппроксимации с переходной матрицей:

$$\tilde{Q}_{\dot{E}+1|\dot{E}} = \begin{bmatrix} 1 & t & t^2/2 & \dots & t^N \setminus N! \\ 0 & 1 & t & \dots & t^{N-1} \setminus (N-1)! \\ & & & \dots & \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 1 \end{bmatrix}. \quad (9)$$

Погрешности в совокупности измерений приводят к необходимости построения алгоритмов оценивания измеряемых параметров. Таким образом, приходится иметь дело не с точным, а с приближенным значением вектора состояния контролируемого объекта.

Статистический синтез алгоритмов оценивания измеряемых параметров основан на нахождении аргумента, обеспечивающего экстремальное значение выбранного показателя качества. Наибольшее распространение нашел квадратичный показатель, когда оценка измерения вычисляется по уравнению

$$X_N = \arg \min V_W(X, Z), \quad (10)$$

где W – весовая матрица,

$$V_W(x, z) = E\{(-Ax_0)^T W (z - Ax_0)\}, \quad (11)$$

A – матрица Якоби в модели наблюдений.

Определение оценки \hat{X}_N совместной обработки измерений $\{z_{\hat{k}}, k = 1, \dots, N\}$ приводит к известной оценке метода наименьших квадратов (МНК): $\hat{X}_N = S_W z$, где $S_W = (A^T W A)^{-1} A^T W$ – МНК-оператор.

МНК-оценка совпадает с оценкой по методу максимального правдоподобия, но лишь в случае гауссовского закона распределения погрешности измерений.

Качественное развитие теория оценивания приобретает на основе калмановской концепции фазового пространства, позволяющей перейти к дифференциальной схеме последовательной обработки информации [3].

Оценивание фазового вектора линейной системы осуществляется с учетом случайных возмущений и ошибок измерений.

Так как задача определения многомерного вектора измеряемых параметров должна решаться в реальном масштабе времени, в калмановском фильтре применяется оптимальная схема последовательной обработки, т. е. математическая конструкция, позволяющая оценить потенциальную точность определения искомого вектора состояния подконтрольного объекта. Однако при таком подходе проявляется так называемое «проклятие размерности», так как объем вычислительных затрат, связанных с реализацией фильтра Калмана, возрастает пропорционально третьей степени от размерности контролируемого вектора состояния. Поэтому построение следящего фильтра с размерностью выше 5–6 нерационально при вычислениях. В то же время переход к банку одномерных фильтров нежелателен, так как при этом теряется важная информация о структуре корреляционных связей.

Таким образом, оптимальная схема сводится к формированию групп параметров, входящих в вектор состояния объекта, причем в каждой группе число параметров не должно превышать 5–6. Задача наблюдения объекта сводится к применению α следящих фильтров, каждый из которых имеет размерность $\dim\{X_r\} = m_r \leq m^* = 5-6$ ($r = 1, \dots, \alpha$). При этом результирующая корреляционная матрица будет иметь блочную структуру с размером каждого блока $m_r \times m_r$.

На практике необходимо считаться с проблемами, связанными с оцениванием многомерного вектора состояния объекта в условиях неполной априорной информации относительно структуры исходных данных. Таким образом, реально имеется существенная неопределенность динамических и статистических характеристик проводимых измерений. Динамическая неопределенность обуславливается неточными сведениями о законе изменения контролируемых параметров.

Особенностью фильтра Калмана является быстрое убывание коэффициента передачи, определяющего значимость корректирующего члена фильтра. В результате с течением времени основную роль начинает играть прогнозирующий член, целиком зависящий от априорной настройки фильтра. Поэтому некорректное задание переходной матрицы, обусловленное неточно определенной моделью, неизбежно приводит к накоплению ошибок, а в предельном случае – к потере устойчивости процесса оценивания.

Основной подход к повышению динамической устойчивости следящих фильтров состоит в увеличении коэффициента передачи, т. е. в повышении значимости корректирующего члена. Этот подход ведет к построению субоптимальных фильтров. Кроме того, традиционные способы оценивания состояния объекта, основанные на МНК, методах максимального

правдоподобия, максимума апостериорной вероятности и т. д., не обладают устойчивостью к отклонениям характеристик исходных данных от предполагаемых. Это также значительно снижает эффективность процедур обработки. Поэтому актуальна задача обеспечения устойчивости алгоритмов статистической обработки к вариациям исходных предположений о характере и объеме измерительной информации.

Одно из наиболее распространенных предположений, как отмечено выше, это предположение о нормальном характере распределения погрешностей измерений. В реальных же ситуациях отклонение истинной кривой распределения от нормального закона будет проявляться в виде асимметрии, эксцесса, «утяжеления» хвостов распределения. Поэтому все процедуры, реализуемые алгоритмами обработки измерительной информации и построением на ее основе прогноза о состоянии объекта, должны быть подвержены робастификации.

Таким образом, в основу математической модели оценки состояния технической системы предлагается положить нелинейную вероятностную динамическую систему, описываемую дифференциальными уравнениями, которые в случае дискретного времени могут быть локально линеаризованы:

$$\begin{aligned} \hat{Q}_{\hat{k}+1} &= \hat{Q}_{\hat{k}+1|\hat{k}} \hat{Q}_{\hat{k}} + \tilde{A}_{\hat{k}+1} W_{k+1}; \\ Y_k &= H_k X_k + V_k. \end{aligned} \quad (12)$$

Динамическая система (12) может быть интерпретирована как модель нормального функционирования контролируемого объекта в отсутствии сбоев в его работе. В качестве модели сбоя принимаются аддитивные эффекты в уравнениях динамики и измерений, соответствующие случаю ненулевого математического ожидания у случайных векторов возмущений и шумов измерений.

МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ АЛГОРИТМОВ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ОБЪЕКТА

Обоснование и постановка задачи. Как правило, основная причина потери динамической устойчивости процесса оценивания многомерного вектора состояния контролируемого объекта – несовпадение математической модели, используемой при выводе уравнений оптимальной фильтрации, и характеристик реальных процессов. При этом возникают ошибки, обусловленные динамическим смещением оценок вектора состояния объекта контроля.

Высокая чувствительность алгоритма фильтрации к ошибкам модели обусловлена самой структурой оптимального метода оценивания. Действительно, в случае выполнения предпосылки об абсолютной адекватности модели при постановке задачи оптимальной фильтрации корректирующий член фильтра Калмана целесообразно сохранять значимым лишь на этапе обработки рассогласований, вызванных неточным заданием начального состояния объекта. В связи с этим коэффициент передачи фильтра, входящий множителем в корректирующий член, с увеличением интервала наблюдений асимптотически устремляется к нулю, при этом на начальном участке слежения за объектом выбирается из условия минимума дисперсии погрешности оценивания. Реализация указанных требований приводит к построению оптимального по квадратичному критерию коэффициента передачи, динамика изменения которого определяется эволюцией ковариационной матрицы ошибок фильтрации, описываемой уравнением Риккати.

Очевидно, что приведенная структура неустойчива к любым ошибкам модели. Действительно, через некоторый промежуток времени, определяемый параметрами уравнения Риккати, корректирующий член теряет значимость, и любая ошибка модели, вносящая погрешность в элементы переходной матрицы, будет накапливаться со скоростью, превышающей скорость роста геометрической прогрессии с матрич-

ным коэффициентом $\hat{Q}_{\hat{E}+1\hat{E}}$. Более того, даже при отсутствии ошибок в модели процесс оценивания будет расходящимся в силу вычислительных погрешностей и ограниченности разрядной сетки ЭВМ. Особенно сильно проявляются ошибки вычислений при расчете ковариационной матрицы ошибок фильтрации. Наличие накапливающихся погрешностей приводит к тому, что ковариационная матрица теряет положительную определенность и симметричность, что, в свою очередь, вызывает непредсказуемые изменения коэффициента передачи фильтра.

Таким образом, возникает проблема динамической устойчивости следящего фильтра, приводящая к объективной необходимости модификации оптимальной калмановской структуры.

Очевидно, что основные направления в повышении динамической устойчивости фильтра Калмана связаны с формированием коэффициента передачи, сохраняющего значимость при любом времени. При этом получаемые структуры субоптимальны по отношению к калмановской схеме в условиях полной неопределенности, однако, в реальных условиях они более устойчивы и поэтому обеспечивают более высокие точностные характеристики режима слежения. Качество функционирования соответствующих субоптимальных структур будет определяться тем, насколько удачно выдержан баланс между прогнозирующим и корректирующим слагаемыми фильтра, между априорной информацией (математической моделью) и характеристиками получаемых измерений.

Ниже предлагается ряд схем субоптимальных фильтров, обладающих повышенной динамической устойчивостью.

Обобщенный фильтр Калмана (ОФК). ОФК определяется теми же соотношениями, что и обычный фильтр Калмана (ФК), однако ковариационная матрица шумов системы оценки состояния контролируемого объекта Q_k выбирается так, чтобы с заданным уровнем доверия (гарантии) обеспечить учет возможных вариаций динамики системы по отношению к принятой модели.

Так, например, если динамика объекта наблюдения описывается моделью с постоянной скоростью изменения наблюдаемых параметров:

$\dot{Q}_{i+1} = W_i$; $i = 1, 3, 5, \dots$, где $Q = (Q_1, Q_2, \dots, Q_6)^T = (X, \dot{X}, Y, \dot{Y}, Z, \dot{Z})^T$, а в случае внешних возмущений – моделью с постоянным ускорением:

$$\dot{Q}_i = Q_{i+1}; \dot{Q}_{i+1} = Q_{i+2}; \dot{Q}_{i+2} = W_i; i = 1, 4, 7,$$

то величину W_i выбирают пропорционально ожидаемой величине ускорения. При этом значение матрицы ошибок фильтрации $P_{\hat{E}}$, а следовательно, и коэффициент передачи $B_{\hat{E}}$ фиксируются на ненулевом уровне, и не допускают в цепи обратной связи разрыва, приводящего к потере чувствительности фильтра к вновь поступающим измерениям.

В ряде случаев удастся подобрать величину W на основе априорного анализа методом статистических испытаний. При этом величину W выбирают такой, чтобы обеспечить наилучшее согласование матрицы ошибок фильтрации P с ее значением \hat{P} , полученным методом Монте-Карло. Очевидно, что указанное согласование не касается случая, когда значение P , найденное в результате решения уравнения Рикатти, стабилизируется на нулевом уровне.

Приведенная методика сохраняет неопределенность, относящуюся к возможным вариациям параметров ускорения изменения параметров W .

В связи с этим в ряде случаев возможен гарантированный подход, когда значения элементов W принимают, исходя из величины верхней границы диапазона возможных значений. Указанное направление в выборе величины W относится к совокупности методов, основанных на понижении чувстви-

тельности оценок к неопределенности в динамике изменения параметров контролируемой системы.

Недостаток гарантированных методов – потенциальная возможность получения излишне пессимистических результатов, приводящая к снижению точности слежения в качестве «платы» за устойчивость процесса оценки состояния объекта.

Альтернативный подход к учету динамической неопределенности основан на адаптивном уточнении элементов матрицы Q (или самого коэффициента передачи B) по результатам измерений.

Существует метод адаптации, основанный на перестройке матрицы в случае, когда оценка ковариации обновляющегося процесса не соответствует величине

$$R_{K+1}^{\lambda} = H_{K+1} P_{K+1} H_{K+1}^T + R_{K+1}, \quad (13)$$

отвечающей условию оптимальной фильтрации.

Здесь R_{K+1}^{λ} – матрица шумов измерений.

Величину R_{K+1}^{λ} находят через оценку корреляционной функции:

$$\tilde{\rho}_i = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \lambda_i \lambda_i^T \quad (14)$$

в предположении об эргодическом характере обновляющегося процесса в выбранном интервале.

Теоретическое значение корреляционной функции вычисляется из соотношения:

$$\tilde{\rho}_i = E\{\lambda_i \lambda_{i-j}^T\} = \begin{cases} HP_{\infty} H^T + R, & \text{если } j=0 \\ H \left[\hat{Q}^T (I - BH) \right]^{j-1} \hat{Q} \left[P_{\infty} H^T BR_0 \right], & \text{если } j>0 \end{cases}, \quad (15)$$

где P_{∞} – установившееся значение решения уравнения Рикатти; B – коэффициент передачи фильтра Калмана.

Основной недостаток адаптивных методов состоит в том, что они, как правило, усложняют обработку в реальном масштабе времени, требуют существенной информации или структурной избыточности. Данный метод коррекции коэффициента передачи основан на модификации элементов матрицы Q , однако предложенный подход может быть отнесен и к перестройке элементов матрицы шумов измерений R .

Экспоненциальный фильтр (ЭФ). Данный алгоритм представляет собой фильтр с затухающей памятью и обеспечивает взвешивание поступающих измерений с коэффициентом, определяемым экспоненциальной функцией. При этом прогнозируемая матрица ошибок фильтрации $P_{\hat{E}+1\hat{E}}^E$ выражается линейно через соответствующую матрицу $P_{\hat{E}+1\hat{E}}^E$ фильтра Калмана:

$$P_{\hat{E}+1\hat{E}}^E = \alpha P_{\hat{E}+1\hat{E}}^E,$$

где $\alpha > 1$.

Выражение для матрицы $P_{\hat{E}+1\hat{E}}^E$ сохраняется. Данный случай соответствует представлению ковариационной матрицы ошибок измерений вида $R_i^E = R_i \alpha^{k-i}$, где $i = 1, \dots, k$; k – текущее время.

Используя априорные данные о возможных ошибках модели, можно рассчитать оптимальное значение α . Очевидно, что данное определение также может быть реализовано на основе гарантированного или адаптивного подходов.

Фильтр с постоянным коэффициентом передачи (ФПКП). В ряде случаев оказывается целесообразным перейти к алгоритмам фильтрации, основанным на простых вычислительных схемах. Примером такого алгоритма служит ФПКП. Очевидно, что оптимальный коэффициент передачи ФПКП определяется для установившегося вида уравнения Рикатти. При этом получение ненулевого значения коэффициента передачи связано с выбором величины ковариационной матрицы шумов системы Q , отвечающей возможным вариациям шумов системы.

Наибольшее распространение нашел α - β - γ -фильтр, построенный в предположении о полной независимости трех пространственных координат. При этом коэффициент передачи

для случая динамики, описываемой моделью с постоянным ускорением

$$B_{K+1} = \alpha, \frac{\beta}{t_{K+1} - t_K}; \frac{2\gamma}{(t_{K+1} - t_K)^2},$$

где коэффициенты α, β, γ выбирают из условия возможных вариаций динамики. Очевидно, что и в этом случае возможен гарантированный и адаптивный подходы.

Фильтр с конечной памятью (ФКП). Одно из наиболее перспективных направлений в развитии методов субоптимальной фильтрации связано с разработкой ФКП, реализующих процедуру оценивания на скользящем интервале наблюдений. Достоинство указанного фильтра – наличие свободного параметра – размера окна наблюдения, позволяющего реализовать компромисс между требованиями к качеству сглаживания случайных погрешностей измерений и к обеспечению динамической устойчивости фильтра в условиях неадекватности априорной модели и реального внешнего воздействия.

Среди возможных схем построения ФКП наиболее конструктивные результаты были получены для однородной модели состояния с соответствующими уравнениями фильтра:

$$\tilde{X}_K = P_{K \setminus K-l} (P_K^{-1} \tilde{X}_K - P_{K \setminus K-l}^{-1} \tilde{X}_{K \setminus K-l});$$

$$P_{K \setminus K-l}^{-1} = P_K^{-1} - P_{K \setminus K-l}^{-1}, \quad (16)$$

где $\tilde{X}, \tilde{X}_{K \setminus K-l}$ – калмановские оценки состояния на K -й момент времени, построенные, соответственно, по \tilde{E} -му и $K-l$ -му наблюдениям; $P_K, P_{K \setminus K-l}$ – условные ковариационные матрицы ошибок фильтрации.

Основное достоинство ФКП – возможность реализации принципа локальной аппроксимации, позволяющей отслеживать высокочастотные процессы статистическими фильтрами, настроенными на модель более низкого порядка. Предположение о том, что модель системы свободна от шумов, допустимо, если на интервале наблюдения динамика процесса близка к детерминированной. Однако в тех случаях, когда необходим учет возмущающих воздействий более высокого порядка, возникает необходимость в ФКП, синтезированном с учетом ненулевых составляющих в правой части уравнения динамики.

АЛГОРИТМЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ СОСТОЯНИЯ ОБЪЕКТА

Алгоритм робастного локально-полиномиального сглаживания при коррелированных шумах измерений. При алгоритмическом обеспечении комплекса оценки и прогнозирования состояния контролируемого объекта, базирующемся на анализе измерительной информации, поступающей от датчиков (извещателей), возникает задача робастного адаптивного сглаживания динамических характеристик скользящими полиномами с одновременной идентификацией квазистационарного шумового процесса. Предлагается ряд практических подходов к решению данной задачи:

1. Сглаживание в закрепленной точке при фиксированном окне. Пусть имеющаяся эмпирическая зависимость измеряемого параметра от внешних условий локально, на промежутке (окне) $[\tau-l, \tau+l]$ удовлетворяет модели:

$$y(s) = P_m(s) + \xi(s); \quad s = \tau-l, \tau-l+1, \dots, \tau+l, \quad (17)$$

где $P_m(s)$ – полином степени m , а стационарный эргодический случайный процесс $\xi(s)$ подчиняется схеме авторегрессии известного порядка $p \ll l$, удовлетворяющей условиям устойчивости:

$$P_m(t) = \sum_{j=0}^m a_j t^j; \quad \xi(t) = \sum_{i=1}^p p_i \xi(t-i) + \eta(t); \quad t = s - \tau;$$

$$E\eta(t) = 0; \quad E[\eta(t_1)\eta(t_2)] = \sigma^2 \delta(t_1 - t_2). \quad (18)$$

Требуется оценить коэффициенты полинома $a = (a_0, \dots, a_m)^T$, параметры авторегрессии $\rho = (\rho_1, \dots, \rho_p)^T$ и интенсивность

σ^2 порождающего шума $\eta(t)$, который считаем гауссовским. Необходимо отметить, что, во-первых, обычно интерес представляют не сами коэффициенты a_0, \dots, a_m , а значение полинома P_m в некоторой точке t , чаще всего при $t = 0$ [4]. Во-вторых, условия, при которых приводимые ниже асимптотические результаты остаются верными в случае негауссовских шумов, что описано в работе [5].

Асимптотически-оптимальные (для $l \rightarrow \infty$) оценки параметров Q можно получить на основе стандартной процедуры МНК из линейной модели:

$$Y(\tau-l, \tau+l) = B(\tau-l, \tau+l)Q + H(\tau-l, \tau+l), \quad (19)$$

где $Y(\tau-l, \tau+l) = [Y(\tau-l), Y(\tau-l+1), \dots, Y(\tau+l)]^T$;

$$Q = (\rho_1, \dots, \rho_p, \gamma_0, \dots, \gamma_m)^T;$$

$$H(\tau-l, \tau+l) = [\eta(\tau-l), \eta(\tau-l+1), \dots, \eta(\tau+l)]^T;$$

$$B(\tau-l, \tau+l) = [B_1(\tau-l, \tau+l), B_2(\tau-l, \tau+l)];$$

$$B_1(\tau-l, \tau+l) = \{Y(k-i), \tau-l \leq k \leq \tau+l, 1 \leq i \leq p\};$$

$$B_2(\tau-l, \tau+l) = \{k^j, \tau-l \leq k \leq \tau+l, 0 \leq j \leq m\},$$

а величины $\gamma = \{\gamma_0, \dots, \gamma_m\}^T$ связаны с исходными векторами α, ρ системой соотношений

$$\gamma_s = a_s \delta_s + \sum_{k=1}^{m-s} (-1)^{k+1} (k^{s+k}) a_{s+k} \delta_k, \quad (20)$$

где $\delta_0 = 1 - \rho_1 - \dots - \rho_p$, $\delta_j = \rho_1 + 2^j \rho_2 + \dots + j^j \rho_j$, $0 < j \leq m$.

Оптимальность получаемых при этом МНК-оценок ρ, γ , для $l \rightarrow \infty$ следует из известных результатов Манна и Вальда. Способ построения ковариационной матрицы оценок $\tilde{\alpha}$, получаемых из $\tilde{\rho}, \tilde{\gamma}$ на основе выражения (20), предложен в работе [6].

2. Рекуррентное сглаживание на скользящем окне $\tilde{Q}(\tau-l, \tau+l)$. Обозначим МНК-оценку, полученную на основе модели [19], через $\tilde{Q}(\tau-l, \tau+l)$, так, что оценка значения сглаживающего полинома $\tilde{P}_m(t)$ в точке t будет равна

$$\tilde{P}_m(t) = T^T \tilde{Q}(\tau-l, \tau+l), \quad T = (1, t, \dots, t^m)^T. \quad (21)$$

Введем обозначение $b^T(k)$ для k -ой строчки матрицы B . В этом случае переход от $\tilde{Q}(\tau-l, \tau+l)$ к $\tilde{Q}(\tau-l+1, \tau+l+1)$ описывается следующей системой соотношений:

$$\tilde{Q}(\tau-l, \tau+l+1) = \tilde{Q}(\tau-l, \tau+l) + K(\tau-l, \tau+l) \times$$

$$\times \left[y(\tau+l+1) - b^T(\tau+l+1) Q(\tau-l, \tau+l) \right];$$

$$K(\tau-l, \tau+l) = \sum (\tau-l, \tau+l) b(\tau+l+1) \times \quad (22)$$

$$\times \left[I + b^T(\tau+l+1) \times \sum (\tau-l, \tau+l) b(\tau+l+1) \right]^{-1};$$

$$\sum (\tau-l, \tau+l+1) = \sum (\tau-l, \tau+l) - K(\tau-l, \tau+l) b^T \times$$

$$\times (\tau+l+1) \sum (\tau-l, \tau+l);$$

$$\tilde{Q}(\tau-l+1, \tau+l+1) = \tilde{Q}(\tau-l, \tau+l+1) - G(\tau-l, \tau+l+1) \times$$

$$\times \left[y(\tau-l+1) - b^T(\tau-l+1) Q(\tau-l, \tau+l+1) \right]; \quad (23)$$

$$G(\tau-l, \tau+l+1) =$$

$$= \sum (\tau-l, \tau+l+1) b(\tau-l+1) \left[I - b^T(\tau-l+1) \sum (\tau-l, \tau+l+1) \right]^{-1}$$

или

$$G(\tau-l, \tau+l+1) =$$

$$= \left\{ \prod_{k=1}^l [I - K(\tau-l-k, \tau+l+1-k)] [I + G(\tau-l-k, \tau+l+1-k)] \right\} \times \quad (24)$$

$$\times K(\tau-2l, \tau);$$

$$\sum (\tau-l+1, \tau+l+1) = \quad (25)$$

$$= \left[I + G(\tau-l, \tau+l+1) b^T(\tau-l+1) \times \sum (\tau-l, \tau+l+1) \right].$$

Процедура (24) указывает путь к построению робастного аналога предложенной процедуры, так как позволяет свести

вопрос о робастном забывании к вопросу о выработке в робастной форме коэффициента передачи K . Используя для этого упрощенный вариант метода, предложенного в работе [7], можно получить аналог выражения (22):

$$\tilde{Q}(\tau-l, \tau+l+1) = \tilde{Q}(\tau-l, \tau+l) + \sum (\tau-l, \tau+l+1) b(\tau+l+1) \psi[v(\tau+l+1)], \quad (26)$$

где

$$v(\tau+l+1) = y(\tau+l+1) - b^T(\tau+l+1) \tilde{Q}(\tau-l, \tau+l);$$

$$\sum^{-1}(\tau-l, \tau+l+1) = \sum^{-1}(\tau-l, \tau+l) + b(\tau+l+1) b^T(\tau+l+1) \psi^1[v(\tau+l+1)]; \quad (27)$$

$\psi(z)$ – стандартная функция робастной статистики [7]. Тогда робастный коэффициент передачи будет иметь вид

$$\tilde{K}(\tau-l, \tau+l) = \sum (\tau-l, \tau+l+1) b(\tau+l+1) \frac{\psi v(\tau+l+1)}{v(\tau+l+1)}. \quad (28)$$

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ПРОГНОЗА СОСТОЯНИЯ КОНТРОЛИРУЕМОГО ОБЪЕКТА РОБАСТИФИКАЦИЕЙ РЕКУРСИВНЫХ ОЦЕНОК С КОНЕЧНОЙ ПАМЯТЬЮ

Повышение надежности прогноза об изменении состояния контролируемого объекта возможно путем построения робастных аналогов для процедур рекуррентного МНК, реализуемых в форме скользящего окна при разработке прогнозирующих алгоритмов. Подобные процедуры обладают свойством конечной памяти, что обсуждалось выше.

Рекуррентный МНК на скользящем окне. Пусть в стандартной ситуации общая линейная модель процесса измерения параметров, характеризующих состояние контролируемого объекта, выражается зависимостью:

$$Y = AQ + \sum, \quad (28)$$

где $Y = (y_1, \dots, y_N)^T$ – вектор измерений; $A = (A_1^T, \dots, A_N^T)^T$ – матрица, где $A_i^T = (a_{i1}, \dots, a_{ip})$, (i – строка матрицы A); $Q = (v_1, \dots, v_p)^T$ – вектор оцениваемых параметров; $\sum = (\xi_1, \dots, \xi_N)^T$ – вектор случайных погрешностей измерений, подчиняющихся нормальному закону $N_N(0, \sigma^2, I)$.

Тогда оценка по МНК $\tilde{Q}(n, n+l)$ получается на основе измерений y_{n+1}, \dots, y_{n+l} с использованием строк матрицы A , начиная с $(n+1)$ -й и оканчивая $(n+l)$ -й.

Обозначим:

$$Y(n, n+l) = (y_{n+1}, \dots, y_{n+l})^T;$$

$$A(n, n+l) = (A_{n+1}^T, \dots, A_{n+l}^T)^T.$$

Блок, состоящий из l строк матрицы A :

$$\sum(n, n+l) = [A^T(n, n+l)A(n, n+l)]^{-1}. \quad (29)$$

Тогда

$$\tilde{Q}(n, n+l) = \sum(n, n+l)A^T(n, n+l)Y(n, n+l). \quad (30)$$

Эволюция оценки $\tilde{Q}(n, n+l)$ при изменении n возможно описать следующей системой рекуррентных соотношений:

1) оператор введения нового измерения:

$$\tilde{Q}(n, n+l+1) = \tilde{Q}(n, n+l) + K^{(1)}(n, n+l) \left[y_{n+l+1} - A_{n+l+1}^T Q(n, n+l) \right];$$

$$K^{(1)}(n, n+l) = \sum(n, n+l) A_{n+l+1}^T \left[I + A_{n+l+1}^T \sum(n, n+l) A_{n+l+1} \right]^{-1}; \quad (31)$$

$$\sum(n, n+l+1) = \left[I - K^{(1)}(n, n+l) A_{n+l+1}^T \right] \sum(n, n+l)$$

или в развернутой форме

$$\sum(n, n+l+1) = \sum(n, n+l) - \sum(n, n+l) A_{n+l+1} \sum(n, n+l) \times \left[A_{n+l+1}^T \sum(n, n+l) A_{n+l+1} + I \right]^{-1} A_{n+l+1}^T \sum(n, n+l) \quad (32)$$

2) оператор забывания:

$$\tilde{Q}(n+1, n+l+1) = \tilde{Q}(n, n+l+1) - K^{(2)}(n, n+l+1) \times \left[y_{n+1} - A_{n+1}^T Q(n, n+l+1) \right]; \quad (33)$$

$$K^{(2)}(n, n+l+1) = \sum(n, n+l+1) A_{n+1}^T \left[I - A_{n+1}^T \sum(n, n+l+1) A_{n+1} \right]^{-1}; \quad (34)$$

$$\sum(n+1, n+l+1) = \left[I + K^{(2)}(n, n+l+1) A_{n+1}^T \right] \sum(n, n+l+1)$$

или в развернутой форме

$$\sum(n+1, n+l+1) = \sum(n, n+l+1) + \sum(n, n+l+1) \times A_{n+1}^T \left[I - A_{n+1}^T \sum(n, n+l+1) A_{n+1} \right]^{-1} A_{n+1}^T \sum(n, n+l+1). \quad (35)$$

Для построения робастных аналогов полученных выше результатов целесообразно операторы (31) и (33) описать в терминах матрицы:

$$C(n, n+l) = \sum(n, n+l) A^T(n, n+l), \quad (36)$$

имеющей размерность $p \times l$, так что

$$\tilde{Q}(n, n+l) = C(n, n+l) Y(n, n+l). \quad (37)$$

Эволюцию матрицы $C(n, n+l)$ при изменении n можно описать следующими действиями над матрицами в блочной форме:

– матрица $C(n, n+l+1)$ размерности $p \times (l+1)$ получается из матрицы $C(n, n+l)$ умножением ее слева на матрицу $[I - K^{(1)}(n, n+l) A_{n+l+1}^T]$ и добавлением крайнего правого столбца, равного $K^{(1)}(n, n+l)$:

$$C(n, n+l+1) = \left\{ [I - K^{(1)}(n, n+l) A_{n+l+1}^T] \times C(n, n+l); K^{(1)}(n, n+l) \right\}; \quad (38)$$

– матрица $C(n+1, n+l+1)$ размерности $p \times l$ получается из матрицы $C(n, n+l+1)$ удалением из нее крайнего левого столбца, равного $K^{(2)}(n, n+l+1)$, и умножением оставшегося блока слева на матрицу $I + K^{(2)}(n, n+l+1) A_{n+1}^T$.

Таким образом, видно, что для построения робастного аналога прогнозирующих алгоритмов достаточно вывести в робастной форме коэффициент $K^{(2)}$, который получается автоматически в виде крайнего левого столбца матрицы C .

Робастный алгоритм вычисления коэффициента передачи на основе рекуррентно-взвешенного МНК. Для получения робастной версии оператора введения нового измерения необходимо отметить, что к соотношениям (31), (32) можно прийти, решая на основе взвешенного МНК регрессивную систему

$$\begin{cases} \tilde{Q}(n, n+l) = Q + \eta, & E\eta = 0; \\ Y_{n+l+1} = A_{n+l+1}^T Q + \xi, & E\xi = 0; \end{cases} \quad (39)$$

$$\text{Cov} \begin{bmatrix} \eta \\ \xi \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum(n, n+l) & \dots & 0 \\ 0 & \dots & 1 \end{bmatrix} \sigma^2 = \sigma^2 S S^T,$$

где S – верхняя треугольная матрица (разложение Холецкого). Обозначая

$$S^{-1} \begin{bmatrix} \eta \\ \xi \end{bmatrix} = W, \quad S^{-1} \begin{bmatrix} Q(n, n+l) \\ y_{n+l+1} \end{bmatrix} = Z, \quad S^{-1} \begin{bmatrix} I \\ A_{n+l+1}^T \end{bmatrix} = B, \quad (40)$$

сведем выражение (39) к общей линейной модели

$$Z = BQ + W, \quad EW = 0, \quad \text{Cov}W = \sigma^2 I. \quad (41)$$

Принимая решение этой регрессионной системы за $\tilde{Q}(n, n+l+1)$, получаем соотношение

$$\tilde{Q}(n, n+l+1) = \arg \min |Z - BQ|^2 = (B^T B)^{-1} B^T Z;$$

$$\sum(n, n+l+1) = \sigma^2 \text{cov} \tilde{Q}(n, n+l+1) = (B^T B)^{-1}. \quad (42)$$

Робастная версия этой схемы сводится к решению проблемы (29) в приведенной форме (41) с помощью одного из робастных аналогов МНК [8]. Один из предлагаемых в этой работе методов заключается во введении следующей зависимости:

$$\tilde{Q}(n, n+l+1) = \arg \min_{j=1}^{p+1} \rho(z_j - B_j^T Q); \quad (43)$$

где $Z = (Z_1, \dots, Z_{p+1})^T$, $B = (B_1^T, \dots, B_{p+1}^T)^T$.

Строка матрицы \mathbf{B} в (40) – одна из стандартных функций контраста, используемых в робастной статистике. Одна из возможных вычислительных процедур – алгоритм рекуррентно-взвешенного МНК. Выражение (43) может быть записано в виде

$$\sum_{j=1}^{p+1} \omega_j (z_j - B_j^T Q)^2 = \min; \omega_j = \frac{\rho(z_j - B_j^T Q)}{(z_j - B_j^T Q)}; \Omega = \text{diag}(\omega_1, \dots, \omega_{p+1}). \quad (44)$$

Имея начальное приближение измеряемой величины $\tilde{Q}^{(0)}$, можно получить весовую матрицу $\Omega^{(0)}$, откуда находят новое приближение:

$$\tilde{Q}^{(1)} = [B^T \Omega^{(0)-1} B]^{-1} B^T \Omega^{(0)-1} Z, \quad (45)$$

и так далее.

В работах Р. Дуттера и А. Герроу предложены модификации данных вычислительных процедур, некоторые из них удобнее для практических вычислений. Результат этой внутренней рекурсии – диагональная матрица $\Omega = \Omega^{(\infty)}$ и оценка $\tilde{Q} = \tilde{Q}(n, n+1)$, которая в исходных переменных выражения (39) имеет вид

$$\begin{aligned} \tilde{Q}(n, n+1) &= (B^T \Omega^{-1} B)^{-1} B^T \Omega^{-1} S \begin{bmatrix} Q(n, \tilde{n}+1) \\ y_{n+1} \end{bmatrix} = \\ &= K_1^{(1)} \tilde{Q}(n, n+1) + K_2^{(1)} y_{n+1}. \end{aligned} \quad (46)$$

Таким образом, матрица $(B^T \Omega^{-1} B)^{-1} B^T \Omega^{-1} S$ имеет блочную структуру $\{K_1^{(1)}; K_2^{(1)}\}$, и ее крайний правый столбец $K_2^{(1)}$ представляет собой робастную версию коэффициента $\hat{E}^{(1)}$ (31). Оператор забывания срабатывает автоматически.

Построение коэффициента передачи на основе робастного байесовского подхода. В ряде случаев в теории оптимальной (нелинейной) фильтрации целесообразно применять более простые робастные рекуррентные алгоритмы, основанные на байесовском подходе.

В терминах рассматриваемой модели (28) предполагают следующие:

- погрешности измерений ξ_1, \dots, ξ_N в модели (28) независимы и одинаково распространены с известной симметричной плотностью $f_\xi(x)$;
- условные плотности $f[Q|Y(n, n+1)]$ – гауссовские, со средним $\tilde{Q}(n, n+1)$ и ковариационной матрицей $\sum(n, n+1)$.

В рамках этих предположений доказывается, что последовательность оценок $\tilde{Q}(n, n+1) = E[Q|y(n, n+1)]$ порождается следующей системой рекуррентных соотношений:

$$\begin{aligned} \tilde{Q}(n, n+1) &= \tilde{Q}(n, n+1) + \\ &+ \sum(n, n+1) \times A_{n+1} \Psi_{n+1} \left[y_{n+1} - A_{n+1}^T Q(n, n+1) \right]; \end{aligned} \quad (47)$$

$$\begin{aligned} \sum(n, n+1) &= \sum(n, n+1) - \sum(n, n+1) A_{n+1} \times \Psi_{n+1} \rightarrow \\ &\leftarrow \left[y_{n+1} - A_{n+1}^T Q(n, n+1) \right], \end{aligned}$$

где $\Psi_{n+1}(y) = \frac{\partial}{\partial y} \ln q_{n+1}(y)$; $\Psi_{n+1}^1(y) = \frac{\partial}{\partial y} \Psi_{n+1}(y)$, а $q_{n+1}(y)$

представляет собой свертку плотности f и плотности гауссовского распределения

$$N \left[A_{n+1}^T Q(n, n+1); A_{n+1}^T \sum(n, n+1) A_{n+1} \right].$$

В этом случае для погрешностей $\{\xi_i\}$, $i = 1, \dots, N$, подчиняющихся стандартной схеме σ -засоренного нормального распределения $(1-\varepsilon)N(0, \sigma_0^2) + \varepsilon N(0, \sigma_1^2)$; $\sigma_1 \gg \sigma_0$, имеется аппроксимация

$$\begin{aligned} \Psi_{n+1}(y) &\approx \frac{1}{S_{n+1}} \psi(y/S_{n+1}); \\ \Psi_{n+1}^1(y) &\approx -\frac{1}{S_{n+1}^2} \psi'(y/S_{n+1}), \end{aligned} \quad (48)$$

где $S_{n+1} = \sigma_0^2 + A_{n+1}^T \sum(n, n+1) A_{n+1}$, а вид функций ψ ; ψ^1 при достаточно больших σ_1 и $0,01 \leq \varepsilon \leq 0,1$ приведен в работе [1].

Очевидно, что соотношения (47) задают робастный коэффициент передачи в форме

$$\begin{aligned} \tilde{K}^{(-1)}(n, n+1) &= \sum(n, n+1) A_{n+1} \times \\ &\times \frac{\Psi_{n+1} \left[y_{n+1} - A_{n+1}^T Q(n, n+1) \right]}{y_{n+1} - A_{n+1}^T Q(n, n+1)}. \end{aligned} \quad (49)$$

Применение данной формы коэффициента передачи позволяет получить робастную процедуру, при этом результаты измерений устаревают.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Макшанов А. В., Мусаев А. А., Колесник В. А.* Исследование методов построения алгоритмов диагностирования и прогнозирования состояния судовых ЭУ и систем. – Л: ЦНИИ «Румб» (Отраслевая система НТИ. Обзоры по судовой технике), 1990 г.
2. *Браммер К., Зиффлинг Г.* Фильтры Калмана–Бьюси. Детерминированное наблюдение и стохастическая фильтрация. – М.: Наука, 1982.
3. *Андерсон Т.* Статистический анализ временных рядов. – М.: Мир, 1976.
4. *Жданов А. И., Кацоба О. А.* Идентификация по методу наименьших квадратов параметров уравнений авторегрессии при аддитивных ошибках измерений // Автоматика и телемеханика. – 1982. – № 2.
5. *Рао С. Р.* Линейные статистические методы и их применение. – М.: Наука, 1968.
6. *Устойчивые статистические методы оценки данных* / Ред. Р. Л. Лорнер, Г. Н. Уилкинсон. – М.: Машиностроение, 1984.
7. *Демиденко Е. З.* Линейная и нелинейная регрессии. – М.: Финансы и статистика, 1981. ■

Развитие теоретических принципов организации динамической структуры программных сред экстренных вычислений (Urgent Computing – UC) привело к созданию интегрированных комплексов поддержки принятия решений (ППР): виртуальные полигоны и лаборатории, электронные суперкомпьютерные центры [1–10]. Наибольший интерес в рамках рассматриваемого приложения представляет центр экстренных вычислений (ЦЭВ), реализующий организацию интегрированных систем на высоком уровне абстракции с возможностью выполнения практически любого сценария работы системы ППР.

В отличие от виртуального полигона [4], интегрирующие интеллектуальные системы (ИС) различных приложений, структура ЦЭВ предусматривает создание интеллектуально-го ядра, функциональные элементы которого обеспечивают генерацию концептуальных решений путем формализации задач фундаментальных исследований системной интеграции, определяющих глобальные свойства математических объектов – связности, сложности и устойчивости. Моделирование и визуализация текущих ситуаций в процессе эволюции системы формируют процедуры ППР на основе критериального базиса нечеткой формальной системы (НФС) с целью выработки управляющих воздействий по обеспечению безопасности морского динамического объекта (МДО) при возникновении критических режимов. В качестве МДО рассматриваются суда и плавучие технические средства освоения океана, а также объекты, обеспечивающие морскую посадку летательных аппаратов.

Интегрированный комплекс ЦЭВ предназначен для разработки оперативных и долгосрочных прогнозов и программных исследований путем автоматической свертки оперативной информации в модель функционирования комплекса в режиме UC [9], а также решение задач экспресс-анализа ситуации и оперативного доступа к контролируемому МДО независимо от места нахождения, времени развития и состояния окружающей среды. При этом обеспечивается анализ и прогноз развития критических режимов в условиях неопределенности, особенно системных сценариев, позволяющих подчинить обработку информации долгосрочным целям и стабильности функционирования ЦЭВ.

Мультиязычный комплекс (ММК) интерпретации динамических ситуаций. Интерпретация динамических ситуаций на основе ЦЭВ (рис. 1) включает функциональные модули, ориентированные на решение задач обработки информации в текущих ситуациях. Иерархическая модель,

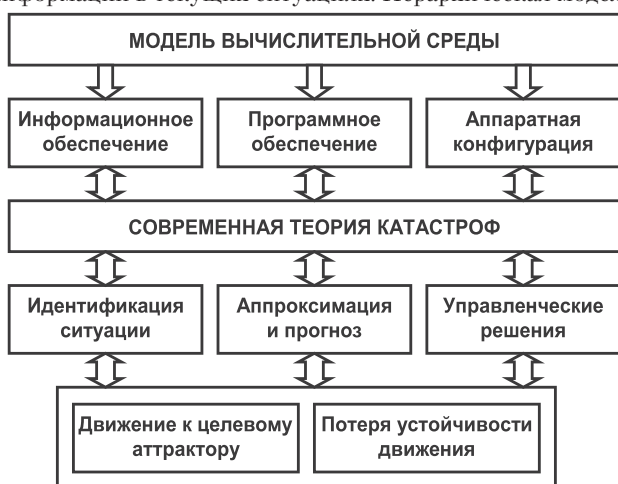


Рис. 1. Вычислительная среда интерпретации решений

ПРОБЛЕМЫ И ПАРАДОКСЫ НОРМИРОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СУДА В НЕСТАЦИОНАРНОЙ СРЕДЕ НА ОСНОВЕ СОВРЕМЕННОЙ КОМПЬЮТЕРНОЙ МАТЕМАТИКИ

Ю.И. Нечаев, д-р техн. наук, проф., СПбГМТУ, контакт. тел. (812) 369 6337

объединяющая функциональные модули прикладных программ, позволяет описывать интегрированную систему на различных уровнях абстракции. Функциональный анализ информационной среды моделирования обеспечивает соответствие задач и средств моделирования вычислительному комплексу ЦЭВ. Для исходного момента времени t_0 контроля текущей ситуации в информационной среде выделяется множество необходимых задач $\text{Task}(t_0)$ и множество их функций $\text{Copt}(t_0)$:

$$\begin{aligned} \text{Cet}(t_0) &= \cup_{p(t_0)} C_i, \\ (\forall (i_1, i_2) \in p) &\wedge (C_{i_1} C_{i_2}), \end{aligned} \quad (1)$$

т. е. полное множество задач $\text{Cet}(t_0)$ разбивается на классы C_i в соответствии с их назначением при контроле поведения МДО.

Инструментом описания задач C и порядком их распределения является матрица взаимодействий. Элементы матрицы обозначают интенсивность передачи данных в процессе выполнения задач, обеспечивающих идентификацию, аппроксимацию и прогноз поведения МДО.

Теоретическая база создания ЦЭВ формируется на основе эффективного сочетания накопленной системы знаний с новыми подходами и парадигмами искусственного интеллекта (ИИ). Повышение достоверности оценки и прогноза ситуации достигается с использованием парадигмы обработки информации [2–4], основанной на развитии концепции «мягких вычислений» [10]. Парадигма предусматривает использование двух теоретических принципов, позволяющих обеспечить рациональную организацию вычислительной технологии обработки информации в задаче анализа и прогноза развития ситуации, а также формализовать поток информации при реализации нечеткого логического вывода в соответствии со следующими утверждениями:

Утверждение 1. Анализ альтернатив и принятие решений в задачах контроля поведения МДО в сложной динамической среде выполняется с использованием критериев, определяющих приоритетность решения $F(u) \rightarrow [0,1]$ на основе функциональных соотношений модели выбора.

Утверждение 2. Реализация конкурирующих вычислительных технологий при интерпретации решений в условиях априорной неопределенности обеспечивается на основе НФС выбора решения с учетом особенностей взаимодействия МДО с внешней средой в исследуемой ситуации.

Утверждение 3. Оценка полезности решения в информационной среде «задача – решение – критерий» определяется путем формирования композиционного правила, которое характеризует отличие полученного качества решения от желаемого с учетом системы предпочтений приоритетности решения.

Реализация утверждений 1–3 дает возможность повысить эффективность принимаемых решений путем распараллеливания и реализации алгоритмов на высокопроизводительных вычислительных платформах. Проверка корректности алгоритмов осуществляется на основе требований к свойствам

таких алгоритмов: непротиворечивости, устойчивости и согласованности [3, 4].

Иерархическая организация ММК. При разработке ЦЭВ как ИС новых поколений используется ММК виртуального моделирования на основе GRID-систем, технологий «облачных» вычислений (CLOUD-технологии) [6] и сервисно-ориентированной архитектуры (COA) [7]. Принципиальным является переход от формальных методов интерпретации динамических ситуаций к практическим результатам представления состояний систем на основе компьютерной математики и динамической теории катастроф [2–4].

Организация ЦЭВ как открытой развивающейся АДС представляется в следующем виде:

$$ADS = (s \in S, Str(I, U), G(Str, Dec), Int(F), P(F, E), C(S), I(Dec), U(Dec)), \quad (2)$$

где $s \in S$ – элементы системы; $Str(I, U)$ – структура системы в виде совокупности информационных и управляющих связей; $G(Str, Dec)$ – порядок функционирования (оценка состояния МДО, генерация стратегий и выбор решения), $Int(F)$ – интервал функционирования; $P(FE)$ – предпочтения функциональных элементов; $C(S)$ – допустимые множества состояний МДО; $I(Dec)$ – информация на момент принятия решения; $U(Dec)$ – механизмы управления и правила принятия управленческих решений.

Пространство знаний (2) определяет построение логической системы управления основе НФС. Структура ММК представлена на рис. 2.

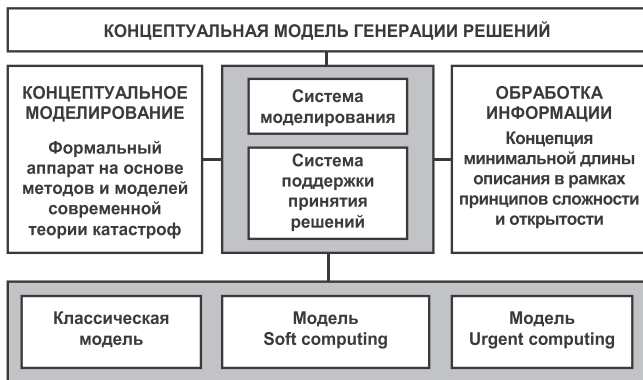


Рис. 2. ММК интерпретации поведения МДО

Представленная структура характеризует отображение $f: T \rightarrow X$, определяемое как сеть топологического пространства (семантическая, иерархическая, динамическая), где T – направленные множество. Сеть включена во множество $B \subset X$, если существует $t_0 < T$ такое, что $(t_0 < t) \Rightarrow [f_i \in B]$.

Для удобства формализации и представления информации структур ММК проблемной области используется матрица $K(ONT)$ (Knowledge-Ontology) [4]:

$$K(ONT) = \begin{pmatrix} T(S)_1 & B(S)_1 & U(S)_1 & C(S)_1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ T(S)_i & B(S)_i & U(S)_i & C(S)_i \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ T(S)_n & B(S)_n & U(S)_n & C(S)_n \end{pmatrix}, \quad (4)$$

в которой столбцы представлены множествами, определяющими классы математических описаний $T(S)$, модели поведения $B(S)$, модели управления $U(S)$ и модели взаимодействия $C(S)$.

Оперативный модуль ЦЭВ осуществляет контроль развития текущей ситуации при различном уровне неопределенности на основе концептуальной модели, построенной с заданными ограничениями, условиями функционирования и приоритетами. Компоненты, обеспечивающие цепочку преобразования информации, реализуются на основе представления $\langle AF \rightarrow SU \rightarrow DS \rangle$

где AF – анализ и прогноз ситуации; SU – выработка стратегий управления; DS – принятие решений и оперативное управление.

Модель функционирования интегрированного комплекса ЦЭВ содержит множество элементов на интервале реализации $[t_0, t_k]$:

$$Set(E)t \leftarrow Set(Appr)t \cup Set(Ident)t \cup Set(For)t, \quad t \in [t_0, t_k], \quad (6)$$

где кортеж $\langle \cdot \rangle$ определяет пространства поведения и управления R^n и R^r современной теории катастроф [5], интегрирующие множества задач идентификации $Set(Ident)$, аппроксимации $Set(Appr)$ и прогноза $Set(For)$.

Последовательность операций выполнения преобразований в пространствах R^n и R^r позволяет рассматривать цепочку компактных замкнутых множеств $M_1 \subset M_2 \subset \dots \subset M_n$. Задача нахождения приближенного квазирешения на компакте M сводится к минимизации функционала, т.е. к нахождению минимума функции переменных.

Управляющий модуль ЦЭВ координирует взаимодействие всех элементов иерархической структуры с помощью ориентированного ациклического графа G с множеством вершин V и множеством дуг E :

$$G = \langle V, E \rangle, \quad V = N \cup M, \quad E \subseteq V \times M, \quad (7)$$

где N – множество программной реализации задач ММК; M – множество управляющих структур комплекса.

Управление поведением структуры (7) определяется как отображение среды взаимодействия в новую структуру поведения. Обработка информации в СИИ опирается на набор рекуррентных правил, порождающих структуры интерпретации на данном иерархическом уровне и сжимающих информацию на более высоком когнитивном уровне.

Выразительность теории интерпретации многорежимного управления функционированием ММК определяется совокупностью понятий (термов), которые могут быть выражены из ядра этой теории [1]: TR_1 – множество функций, которым сопоставлены реализуемые их методы; TR_2 – множество функций, которые не реализуются никакими имеющимися методами; TR_3 – множество всех имеющихся методов; TR_4 – множество альтернативных методов; TR_5 – множество функций, реализующих данный метод.

Периодичность эволюции МДО как развивающейся системы отображается в виде цепочки преобразования информации «МДО → оценка состояния → генерация и анализ альтернатив → выработка решения» (рис. 3).

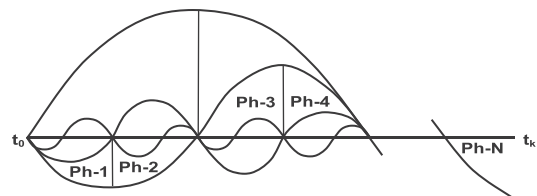


Рис. 3. Эволюционная динамика МДО на интервале реализации

Факторы, определяющие приведенную структуру, позволяют реализовать совокупность взаимодействий МДО с внешней средой как иерархически взаимосвязанные фазы эволюции $Ph-1, \dots, Ph-4, \dots, Ph-N$ на множествах поведения и управления современной теории катастроф. Интерпретация процессов взаимодействия МДО в этих пространствах обеспечивается на основе приведенных концептуальных решений ММК и состоит в формировании структуры с различными описаниями классов задач в пространстве управляющих переменных области поиска с системой ограничений:

$$z_i^- \leq z_i \leq z_i^+, \quad i = 1, \dots, r, \quad (8)$$

где z_i^+ и z_i^- – нижний и верхний пределы значений для i -й управляющей переменной, а r – число управляемых переменных.

Границы перехода между стадиями эволюционной динамики могут быть «размыты» вследствие влияния неопределенности, учет которых реализуется на основе НФС.

Критериальный базис в системе ППР. Перспективой развития критериального базиса обеспечения контроля поведения МДО является совершенствование теоретического, методологического и технического обеспечения процесса функционирования программного комплекса ППР в сложной динамической среде. Повышение степени интеллектуальности комплекса достигается за счет использования новых данных о динамике взаимодействия МДО с внешней средой на основе методов искусственного интеллекта (ИИ) и концептуальных решений [2–4]. Рациональный учет особенностей поведения МДО при формализации системы ППР требует использования двух систем критериальных оценок (рис. 4).

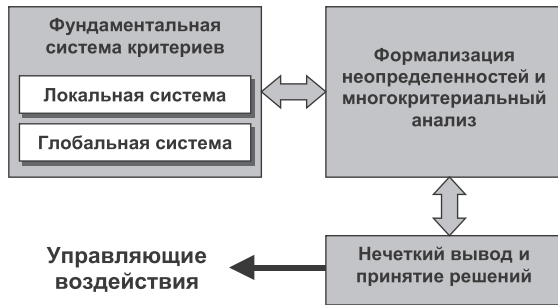


Рис. 4. Критериальный базис при нормировании параметров МДО в чрезвычайных ситуациях

Первая (локальная) система критериев связана с обеспечением проверки условия безопасности и реализована на основе разработанных нормативов в виде встроенной процедуры правила логического вывода. Вторая (глобальная) система включает национальные и международные требования, которые обеспечиваются независимо от типа МДО. Локальная система разрабатывается в процессе создания системы знаний и учитывает характерные особенности контролируемого МДО. Локальная система совершенствуется в направлении создания нечеткой системы критериев, основанной на более совершенных методах формализации информации с учетом ее неполноты и неопределенности в рамках концепции «мягких вычислений». Переход от локальной системы к глобальной осуществляется через описание (концептуальную модель системы), фиксирующее сведения о моделируемом МДО и процессе взаимодействия в терминах типовых конкурирующих математических схем и структур знаний.

Проблемы и парадоксы систем нормирования. Наибольшие трудности при разработке критериального базиса системы ППР вызывает вероятностный подход. В работе [8] подробно рассмотрены типичные парадоксы, связанные с реализацией вероятностного подхода при нормировании динамических характеристик МДО. В частности, возникающий при такой интерпретации парадокс «идеальных» норм свидетельствует о том, что гарантия безопасности любых, даже самых примитивных, критериев может быть сделана как угодно близкой к единице (идеальные нормы), но ценой ужесточения норм:

$$\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^0 \exp\left[-\frac{(\varphi - \bar{\varphi})^2}{2\sigma_x^2}\right] d\varphi = 0$$

и $\sigma \rightarrow 0$;

$$\varphi_i = \left(\frac{Z_G - Z_{CR}}{Z_G}\right) 100, \quad (9)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (\varphi_i - \bar{\varphi})^2}{N-1}}, \quad \bar{\varphi} = \frac{1}{N} \sum \varphi_i,$$

где Z_G и Z_{CR} – фактическая и критическая аппликаты центра масс (ЦМ).

Другим парадоксом вероятностного нормирования является парадокс нулевой вероятности. Действительно, вероятность опрокидывания практически равна нулю (по данным мировой аварийной статистики вероятность опрокидывания составляет приблизительно 10^{-4}), но это событие не является невозможным. Возникает парадокс, можно ли сравнивать «шансы» событий, имеющих нулевую вероятность. А также правомерно ли объединение событий, имеющих нулевую вероятность, приводящее в конечном счете к вероятности, близкой к единице, т. е. сложение многих «ничего» дает в итоге «нечто». Много парадоксов связано с применением законов распределения. Одна из особенностей обусловлена асимптотическими свойствами этих законов и заключается в нечувствительности вероятностного критерия к большим изменениям аппликаты ЦМ в области вероятности $P_0 \rightarrow 1$. Другие особенности связаны с трансформацией законов распределения на выходе динамической системы в зависимости от характера нелинейности и уровня действующих возмущений в логических и математических моделях. Принципиальное значение имеет парадокс выбора пороговых значений критериальных оценок. Использование нечетких границ критериев приобретает важное значение в связи со случайным характером и неопределенностью исходной информации, на основании которой строится схема оценки безопасности МДО в расчетных ситуациях. Более предпочтительным решением при выборе критериальных соотношений является переход от нечеткие оценки в рамках НФС (рис. 5). Здесь представлена стандартная модель в виде пороговой функции и возможные аппроксимации функции принадлежности (ФП) на заданном интервале.

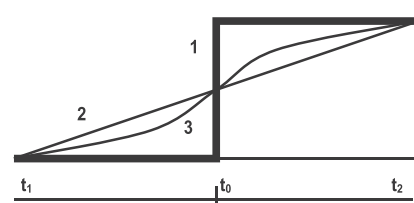


Рис. 5. Сравнительные данные критериальных оценок 1 – пороговая функция, 2 и 3 – интерпретации ФП

Рассмотрим более подробно вопрос о проблемах и парадоксах теории нормирования, имеющий принципиальное значение при разработке критериальной базы оценки безопасности МДО. Сформулируем задачу статистической проверки гипотез (рис. 6).

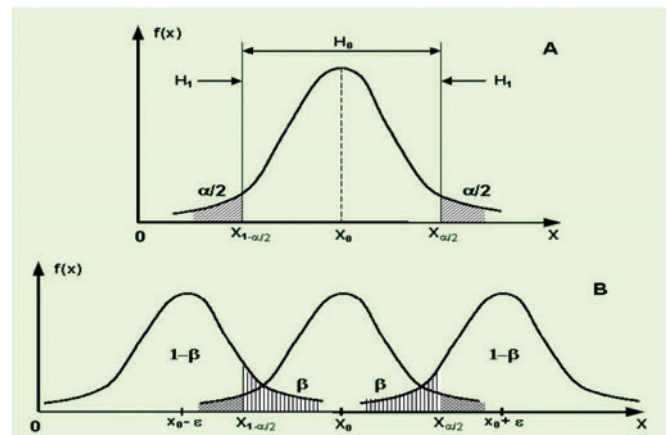


Рис. 6. Области нулевой и альтернативной гипотез (а) и соответствующие ошибки второго рода (б)

Пусть некоторая величина \tilde{x} вычислена по выборке, состоящей из независимых наблюдений x_1, \dots, x_n над случайной величиной x . Необходимо установить, насколько достоверна оценка \tilde{x} по сравнению с истинным значением x_0 . Если при-

нять гипотезу $\tilde{x} = x_0$ (нулевая гипотеза H_0), то важно знать, насколько велико расхождение между \tilde{x} и x_0 . Рассмотрим вероятность достижения некоторой заданной разности $\tilde{x} - x_0$ на основе выборочного распределения параметра x . Можно утверждать, что если вероятность превышения этой разности мала, то соответствующий уровень значим, гипотезу $\tilde{x} = x_0$ следует отвергнуть и принять альтернативную (конкурирующую) гипотезу H_1 . При достаточно большой вероятности превышения разности $\tilde{x} - x_0$ следует считать обусловленной статистической изменчивостью и принять нулевую гипотезу.

Рассмотрим кривую плотности распределения величины x и области нулевой H_0 и альтернативной H_1 гипотез. Границы этих областей определяются соотношениями

$$P(x < x_{1-\alpha/2}) = \int_{-\infty}^{x_{1-\alpha/2}} f(x) dx = \frac{\alpha}{2};$$

$$P(x > x_{\alpha/2}) = \int_{x_{\alpha/2}}^{\infty} f(x) dx = \frac{\alpha}{2}.$$
(10)

Если гипотеза $\tilde{x} = x_0$ верна, то $f(x)$ характеризуется средним значением x_0 . Интервал значений оценки \tilde{x} , при которых справедлива гипотеза $\tilde{x} = x_0$ называют *областью принятия гипотезы*. Значения \tilde{x} , при которых гипотеза отвергается – *область отклонения гипотезы*, или *критическая область*. Описанный способ проверки гипотез называется *двусторонним критерием*, поскольку ограничения на x накладываются здесь с двух сторон. На практике могут иметь место случаи, когда требуется проверить гипотезу о том, что $x \geq x_0$. В таких случаях гипотеза оказывается ошибочной только при $x < x_0$, и граница критической области характеризуется выражением

$$P(x < x_{1-\alpha}) = \int_{-\infty}^{x_{1-\alpha}} f(x) dx = \alpha.$$
(11)

При выборе критической области и проверке гипотез возможны ошибки двух родов. *Ошибка первого рода* состоит в том, что нулевая гипотеза H_0 отвергается, когда в действительности она верна. *Ошибка второго рода* возникает, когда гипотеза H_0 принимается, в то время как она не верна. Вероятности ошибок первого и второго рода однозначно определяются выбором критической области. Из рис. 6, а видно, что ошибка первого рода допускается, если гипотеза P_0 верна, а параметр x попадает в область отклонения гипотезы. Тогда вероятность допустить ошибку первого рода будет равна α .

Для нахождения вероятности возникновения ошибки второго рода зададимся величиной отклонения истинного значения параметра x от гипотетического значения x_0 , которое требуется определить. Предположим, что истинное значение x в действительности равно $x_0 + \epsilon$ или $x_0 - \epsilon$ (рис. 6, б). Здесь под ϵ понимается погрешность опыта кренования, составляющая, по данным различных авторов, около 7%. Если в соответствии с гипотезой $\tilde{x} + x_0$, а в действительности $x = x_0 \pm \epsilon$, то вероятность того, что \tilde{x} попадает в область принятия гипотезы H_0 , т. е. в интервал $(x_{1-\alpha}, x_{\alpha})$, составляет β . Это значит, что вероятность допустить ошибку второго рода при выявлении отклонения $\pm \epsilon$ от гипотетического значения x_0 составляет β . Именно такая ошибка возникает в реальных условиях практического использования результатов опыта кренования при пересчете характеристик остойчивости на установленное положение ЦМ.

Вероятность $1 - \beta$ называют *мощностью критерия*. Очевидно, что независимо от объема выборки вероятность допустить ошибку первого рода можно уменьшить, принимая достаточно малые значения уровня значимости α . Однако при этом увеличивается вероятность β допустить ошибку второго рода (снижается мощность критерия). Единственный способ одновременного уменьшения величин α и β состоит в увеличении

объема выборки n , по которой находят \tilde{x} . Это соображение используют для определения необходимого объема выборки. Однако этот объем ограничен стандартной процедурой проведения опыта кренования, использующей ограниченное число экспериментальных точек. При этом принятая последовательность эксперимента не учитывает элементарного требования повторения измерений. При соблюдении требований теории планирования эксперимента при том же числе измерений можно значительно уменьшить дисперсию, т. е. практически вдвое повысить точность эксперимента. Но это решение до сих пор не используется в отечественной и международной практике, несмотря на то, что обсуждение проблем и парадоксов теории нормирования велось на Международной конференции STAB-97 и предложение по совершенствованию системы нормирования принято еще в 1997 г. [8].

Немало парадоксов связано с компьютерной реализацией задач динамики нестационарных систем. Любое статистическое решение, которое можно реализовать на компьютере, стало доступным для исследователей. В результате «устойчивые» и многомерные методы с огромным числом операций вошли в повседневную практику без достаточного теоретического обоснования. Между тем многие эмпирические коллизии, используемые в статистической практике, можно обосновать с помощью робастных статистик, что в практике моделирования и интерпретации результатов используется крайне редко.

При разработке концептуальных решений ЦЭВ на основе современной теории катастроф большое внимание уделяется проблеме *неопределенности* на примере приложения к морским исследованиям. В задачах математического описания и критериального базиса нормирования динамических характеристик МДО необходимо придерживаться классификации неопределенностей и формализации математических моделей взаимодействия [2]. Практическая реализация сформулированного подхода связана с созданием НФС динамической базы знаний бортовых ИС новых поколений [4]. Одна группа правил позволяет определить оценку опасности ситуации, другая – направлена на ее предотвращение и может быть осуществлена и системе ППР при изменении скорости и курсового угла.

ЛИТЕРАТУРА

1. Воронин А.А., Мишин С.П. Оптимальные иерархические структуры. – М.: ИПУ РАН, 2003. – 214 с.
2. Нечаев Ю.И. Теория катастроф: современный подход при принятии решений. – СПб: Арт-Экспресс, 2011. – 292 с.
3. Нечаев Ю.И. Топология нелинейных нестационарных систем: теория и приложения. – СПб: Арт-Экспресс, 2015. – 235 с.
4. Нечаев Ю.И. Современные проблемы информатики и вычислительной техники. – СПб: Арт-Экспресс, 2018. – 382 с.
5. Figueira G., Almada-Lobo B. Hybrid simulation–optimization methods: A taxonomy and discussion // Simulation Modelling Practice and Theory. – 2014. – Vol. 46. – P. 118–134.
6. Foster I., Zhao Y., Raicu I., Lu S. Cloud Computing and Grid Computing 360-Degree Compared. – Preprint arXiv: 0901.0131, 2008. – [Электронный ресурс]: <http://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/0901/0901.0131.pdf>
7. Lublinsky B. Defining SOA as an architectural style, 9 January 2007. – [Электронный ресурс]: <http://www.ibm.com/developerworks/architecture/library/ar-soastyle/>
8. Nechaev Yu.I. Standardization of stability Problems and perspectives // Proc. of 6th international conference on stability of ships and ocean vehicles STAB-97, Varna, Bulgaria. 1997. – Vol.2. – P. 39-45.
9. Urgent Computing Workshop 2007. Argonne National Lab, University of Chicago, April 25–26, 2007. – [Электронный ресурс]: <http://spruce.teragrid.org/workshop/urgent07.php>
10. Zadeh L. Fuzzy logic, neural networks and soft computing // Commutation on the ASM-1994. – Vol. 37. – №3. – P. 77–84. ■

Погружной буровой комплекс (ПБК) (рис. 1) предназначен для бурения вертикальных скважин на дне моря с взятием, хранением и передачей кернов при проведении геологических исследований морского дна.

Изделие в автоматическом и ручном режимах управления обеспечивает:

- выведение станка бурового (СБ) из положения «по-походному» в исходное;
- заведение СБ в положение «по-походному»;
- спуско-подъемные операции и постановку СБ на дно;
- горизонтирование СБ;
- работу СБ при бурении скважины с отбором керна;
- взятие из накопителя сменного бурового инструмента (колонковых и бурильных труб);
- укладку сменного инструмента обратно в накопитель;
- выполнение операций свинчивания/завинчивания колонковых и бурильных труб (БТ);
- выполнение операций загрузки/выгрузки съемных керноприемников (КП);
- выведение СБ в положение приема/передачи контейнера с керноприемниками (ККП);
- аварийный сброс СБ.

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ОПЕРАТОРА И ПБК

Оператор взаимодействует с ПБК с помощью пульта управления буровым комплексом (ПУБК), представленным на рис. 2.

Выбор операции осуществляется путем нажатия экранных кнопок в графическом интерфейсе программного обеспечения (ПО) ПУБК (табл. 1).

У каждой экранной кнопки есть три возможных состояния:

1) активна – выполнение данной команды разрешено. Нажатие кнопки разрешено;

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПОГРУЖНОГО БУРОВОГО КОМПЛЕКСА

*М.А. Александров, канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник, директор,
Е.Н. Ефремов, канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник, зам. гл. конструктора,
А.А. Ивлев, инженер-программист,
Д.С. Сверчков, инженер-программист, ЗАО «ЦНИИ СМ»,
контакт. тел. (812) 640 1049*

Таблица 1

Характеристики операций ПУБК

Операция	Выполняемые функции
Подготовка	Выполнить проверку работоспособности модулей бортовой и забортной частей ПБК
Спуск/Подъем СБ	Выполнить травление СБ до заранее заданных положений. Ручное управление травлением и выбором
Горизонтирование СБ	Приведение СБ в горизонтальное положение Ручное управление травлением и выбором Проведение работы ПБК вхолостую.
Установить/Снять колонковую трубу	Установить колонковую трубу, если труба не установлена. Снять колонковую трубу, если труба установлена
Установить БТ	Выполнить установку бурильной трубы Выполнить операцию «Завинчивание»
Загрузка/Выгрузка КП	Выполнить загрузку керноприемника. Выполнить выгрузку керноприемника
Бурение	Выполнить операцию «Бурение».
Снять БТ	Выполнить операцию «Свинчивание» Снять бурильную трубу.
Загрузка/Выгрузка ККП	Загрузка контейнера керноприемника Выгрузка контейнера керноприемника

2) неактивна – выполнение данной команды запрещено по логике работы программного обеспечения. Нажатие кнопки запрещено;

3) нажата – команда находится в процессе выполнения в настоящее время.

Операции выполняются с помощью манипулятора шарового МШО-50. Джойстики, находящиеся на лицевой панели ПУБК, наравне с манипулятором шаровым, являются устройствами управления оператора. После завершения операции оператору поступает сообщение – текст, выведенный в поле

«Текущее состояние исполнительных механизмов ПБК». В поле «Руководство оператору» описывается последовательность действий на этапах выполнения операций, а также выдаются рекомендации оператору.

Индикаторы, содержащие параметры, необходимые для выполнения любой операции, находятся на части экрана, доступной оператору в любой момент работы изделия. Для удобства работы оператора информация, отображаемая на индикаторах, выделяется цветами, согласно ГОСТ Р МЭК 60073–2000.

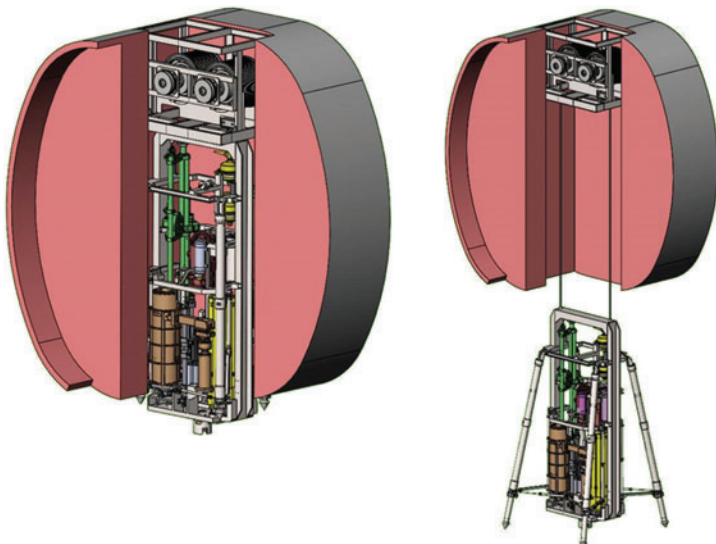


Рис. 1. Погружной буровой комплекс внутри и снаружи шахты



Рис. 2. Пульт управления буровым комплексом

ОБЩИЙ АЛГОРИТМ РАБОТЫ ИЗДЕЛИЯ

При подаче питания на ПБК на экран ПУБК выводится страница «Подготовка». Дальнейшая работа с изделием разрешена только после подтверждения оператором успешного завершения этапа «Подготовка».

Схема общего алгоритма работы ПБК представлена на рис. 3.

Алгоритм режима «Работа». Основной режим изделия – «Работа», который предусматривает контроль за действиями оператора. Каждый раз, ожидая ввода данных от оператора, ПО ПБК анализирует текущее состояние изделия на наличие неисправностей или аварийных ситуаций. Возможность выбора некоторых операций блокируется в зависимости от текущего состояния системы.

Перечень разрешенных операций в режиме «Работа» представлен в табл. 2.

Джойстик «Обороты вращателя» используется оператором для задания частоты вращения при выполнении операции «Бурение». Отклонение джойстика от нейтрального положения задает частоту электропривода вращателя в пределах 0...1000 об/мин. На рис. 4 представлена модель управления частотой вращения при выполнении операции «Бурение».

Джойстик «Усилие на забой» используется оператором для выполнения операции «Бурение» и поддержания заданного усилия на забой. Оператор может управлять текущим усилием. Обратная связь по усилию на забой осуществляется с помощью датчиков давления, находящихся в механизме подъема вращателя (МПВ). Для получения высокого качества регулирования в контур системы введен ПД-регулятор. Модель регулятора для поддержания заданного усилия на забой представлена на рис. 5.

Ниже перечислим основные операции, охарактеризуем моделирование работы устройств, покажем экраны, отображаемые на ПУБК.

Операция «Подготовка». Перед началом работы необходимо убедиться, что все модули работоспособны. Поэтому при включении ПУБК на экране (рис. 6) выводится страница «Подготовка».

ПБК схематично разбит на бортовую и забортную части, которые, в свою очередь, делятся на конкретные модули. Работоспособные модули подсвечиваются зеленым, модули с неисправностью – желтым. Модули в аварийном состоянии отображаются красным цветом.

Для того чтобы убедиться, что забортная часть работоспособна, необходимо вручную подать 600 В.

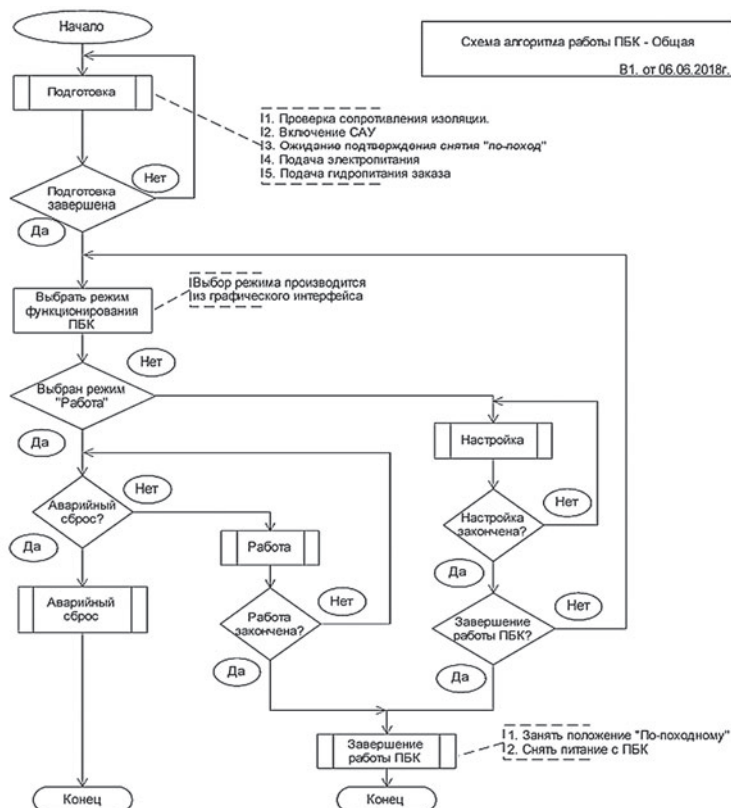


Рис. 3. Общий алгоритм работы ПБК

Перечень операций в режиме «Работа»

Таблица 2

Текущая операция	Разрешенные операции	
	Условие разрешения	Операция
Подготовка	Подготовка завершена	Спуск/подъем БС
Спуск/подъем БС	Находимся у выхода из шахты	Загрузка/выгрузка КК
	БС установлен на грунт	Горизонтирование
Горизонтирование БС	Горизонтирование завершено	Спуск/подъем БС
Установить/снять колоновую трубу	КТ установлен	Подача колонковой трубы
		Спуск/подъем БС
		Загрузка/выгрузка КП
Бурение		Подача бурильной трубы
		Бурение
		Загрузка/выгрузка КП
		Загрузка/выгрузка КТ
Загрузка/выгрузка КП	Если завершена загрузка КП	Установить бурильную трубу
		Снять бурильную трубу
		Загрузка/выгрузка КП
Установить бурильную трубу	Если КП выгружен	Установить бурильную трубу
		Снять бурильную трубу
Снять бурильную трубу		Загрузка/выгрузка КП
		Установить бурильную трубу
Загрузка/выгрузка КК	Если загрузка/выгрузка завершена	Спуск/подъем БС

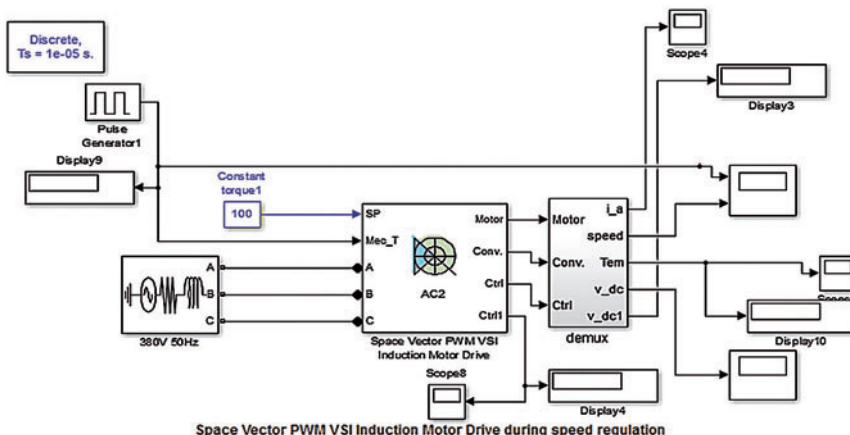


Рис. 4. Модель управления частотой вращения в режиме «Бурение»

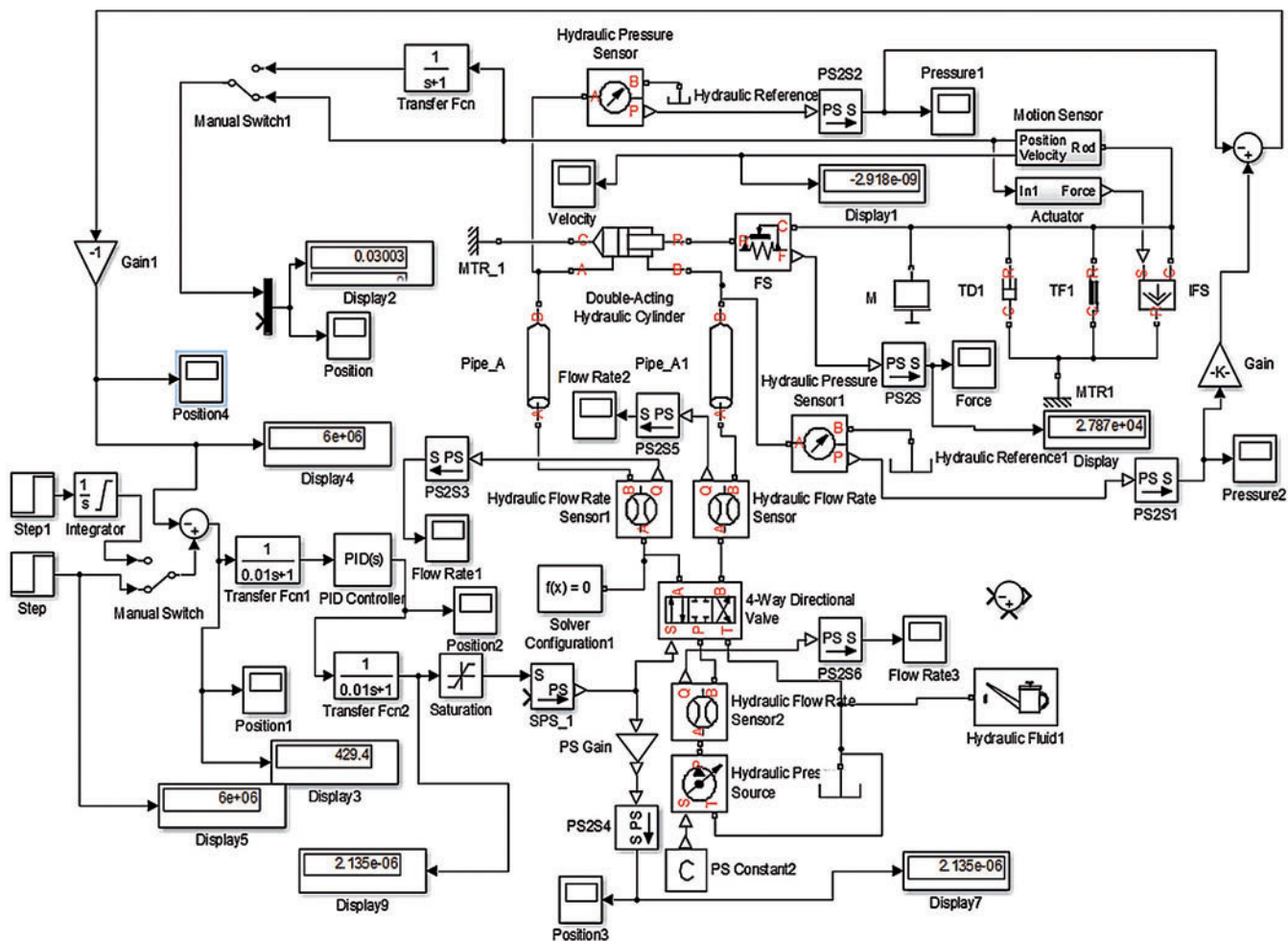


Рис. 5. Модель регулятора для поддержания заданного усилия на забой

Для завершения данной операции оператор должен нажать кнопку «Пр-ка заверш.», тем самым подтвердив окончание данной операции.

Операция «Спуск/подъем СБ». Спуско-подъемное устройство (СПУ) представляет собой две лебедки с гидравлическим приводом, на барабаны которых наматываются два грузонесущих кабеля. Лебедки установлены на раму, закрепляемую в шахте.

Спуск и подъем СБ осуществляется с помощью грузонесущих кабелей, по ним также передаются силовое электропитание и сигналы управления. Начало травления определяется по срабатыванию сигнализатора стыковки СБ и СПУ. В автоматическом режиме по показаниям инклинометра, установленного на СБ, поддерживается горизонтальное положение верхнего торца СБ. В процессе спуска СБ необходимо обеспечивать синхронное сматывание кабелей с барабанов лебедок с целью сохранения вертикального положения СБ (допускаемое отклонение – не более 0,5°). Аналогичные требования должны соблюдаться и при подъеме СБ для обеспечения вхождения его в шахту.

Моделирование работы лебедок представлено на рис. 7. Скорость и положение ведомой лебедки управления

следят за скоростью и положением ведущей лебедки за счет добавления к сигналу своего заданного положения сигнала с инклинометра, измеряющего угол наклона СБ.

В процессе исследования работы системы управления СПУ на модели

были определены параметры ПИД-регулятора, обеспечивающие высокое качество регулирования.

При включении системы лебедки стравливают трос-кабель с одинаковой скоростью вплоть до достижения заданной глубины 20 м. Максималь-

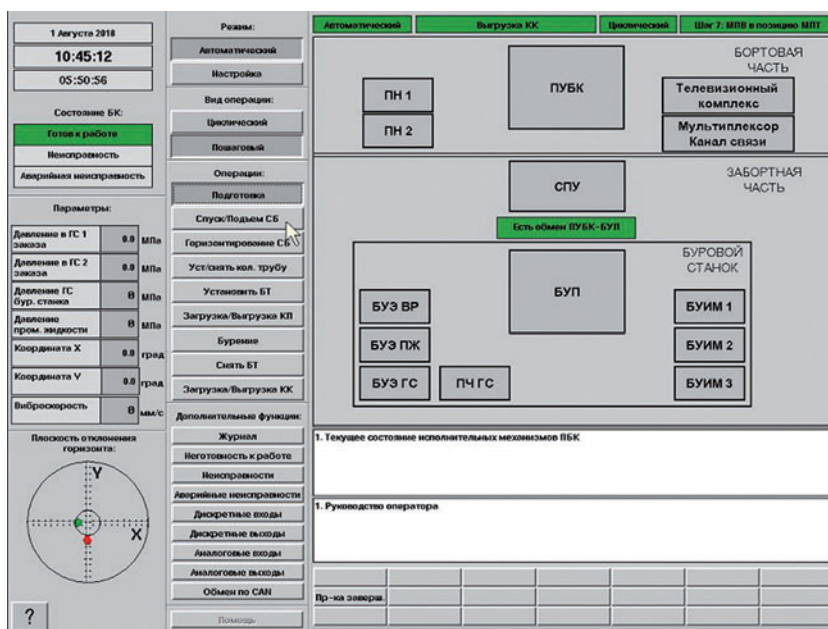


Рис. 6. Экран ПУБК при выполнении операции «Подготовка»

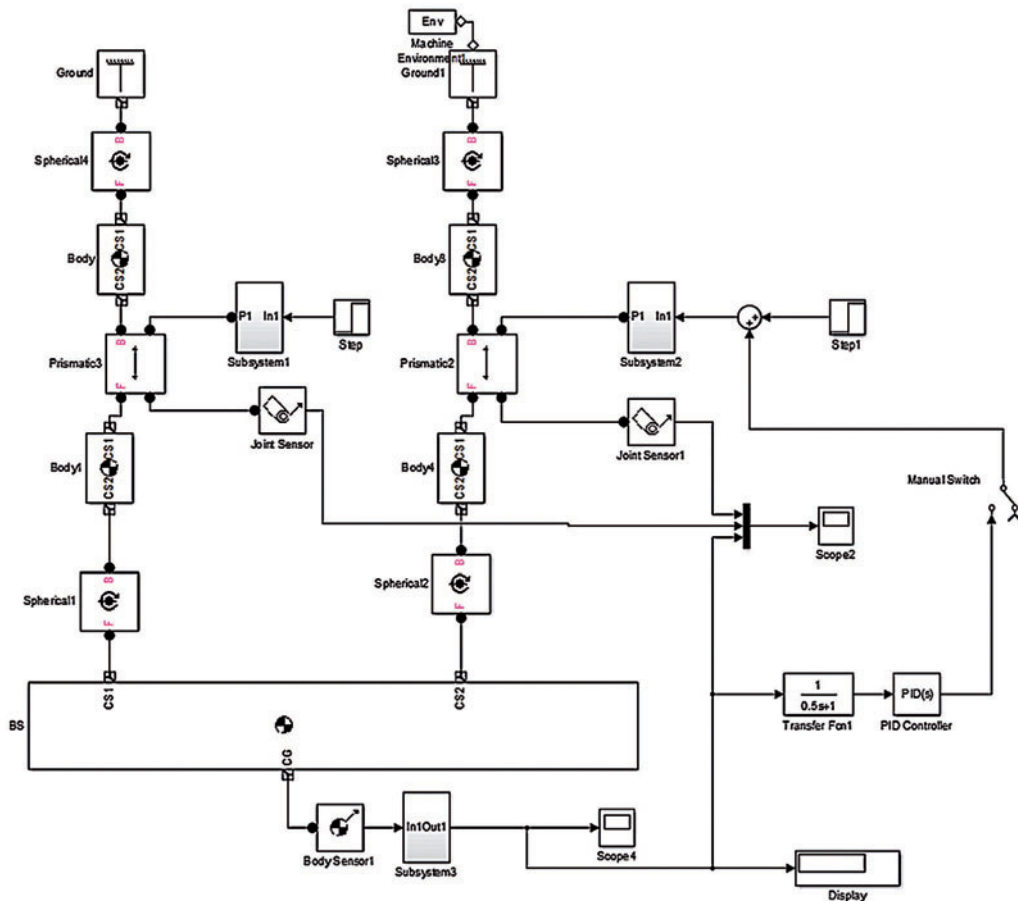


Рис. 7. Моделирование работы лебедок

ное значение угла наклона СБ имеет место в начале спуска и не превышает $0,5^\circ$. При достижении заданной глубины угол наклона СБ практически равен нулю.

Последовательная установка четырех выдвижных опор в автоматическом режиме в рабочее положение выполняется, когда нижний срез СБ выйдет из шахты на 4 м. Контроль завершения этой операции осуществляется по показаниям датчиков выдвижения опор и визуально.

Факт постановки определяется оператором визуально по изображению, транслируемому телекамерой, размещенной на СБ, и показаниям инклинометров. После постановки на дно оператор выполняет травление грузонесущих кабелей на 2 м для создания «слабины» и предотвращения силового воздействия на СБ. Величина отклонения СБ от вертикали, определяемая с помощью инклинометров, не должна превышать 10° . В противном случае следует выбрать для установки СБ другой участок дна.

Подъем СБ и заведение его в шахту осуществляются при помощи лебедок СПУ. В автоматическом режиме по показаниям инклинометра, установленного на СБ, поддерживается горизонтальное положение верхнего торца СБ.

Последовательная установка четырех выдвижных опор в автоматическом

режиме в положение «по-походному» выполняется, когда нижний торец СБ будет находиться на расстоянии 4 м от шахты. Контроль завершения этой операции осуществляется по показаниям датчиков выдвижения опор и визуально оператором.

Экран операции «Спуск/подъем СБ» представлен на рис. 8.

Операция «Горизонтирование СБ» и установка устьевого блока на грунт

осуществляются в автоматическом режиме по показаниям инклинометров. Для стабилизации СБ на грунте после горизонтирования выполняется работа ПБК в холостом режиме продолжительностью две минуты.

В случае необходимости горизонтирование СБ может быть проведено повторно (до начала бурения).

Экран операции «Горизонтирование СБ» представлен на рис. 9. На дан-

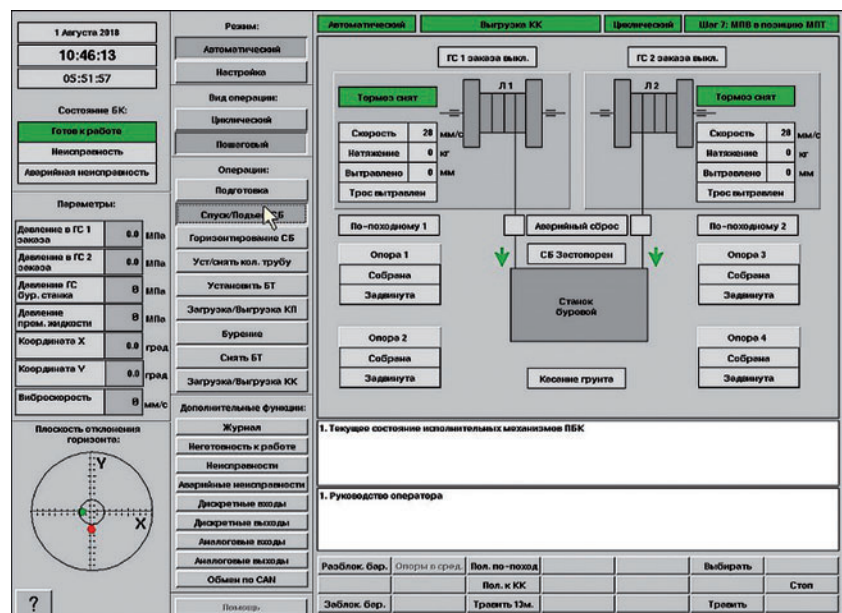


Рис. 8. Экран ПУБК при выполнении операции «Спуск/подъем СБ»

ной странице отображаются все параметры, необходимые для контроля за положением СБ. По датчикам, расположенным на опорах, определяется длина выдвижения, которая также отображается на индикаторах. Управление горизонтированием доступно для оператора в автоматическом и полуавтоматическом режимах. На данной странице оператору также доступны команды «Травить», «Выбирать», «Стоп» в ручном режиме.

Операция «Бурение». Оператор с помощью органов управления устанавливает требуемые параметры процесса бурения: скорость вращения колонковой трубы, усилие подачи на забой, расход промывочной жидкости. Бурение прекращается по достижению заданной глубины или, когда срабатывает сигнализатор заклинивания керна.

Экран операции «Бурение» представлен на рис. 10.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанная система управления позволяет в автоматическом и ручном режимах выполнять поставленные задачи. Система управления обеспечивает высокое качество регулирования и блокирует несанкционированные действия оператора. В случае возникновения нештатных ситуаций происходит оповещение оператора, в поле «руководство оператора» выводится предлагаемое решение.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ефремов Е. Н. Математическое моделирование спуско-подъемного устройства погружного бурового комплекса // Судостроительная промышленность: Сер. Технология и организация производства. Судовое машиностроение. Опыт проектирования и создания судовых механизмов. – 2018. – Вып. №1(42).
2. Сверчков Д. С. Разработка человеко-машинного интерфейса и его применение в системах управления // Спец. выпуск 1. – 2018. – С. 184–190.
3. Ефремов Е. Н., Нейман В. Н. Система стабилизации давления в гидроагстрале погружного бурового комплекса // Судостроительная промышленность: Сер.

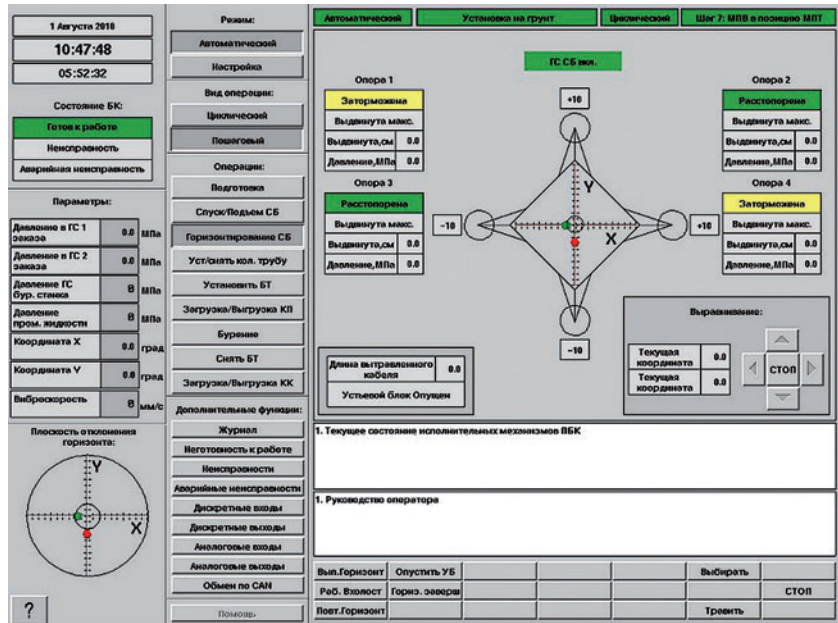


Рис. 9. Экран ПУБК при выполнении операции «Горизонтирование СБ»

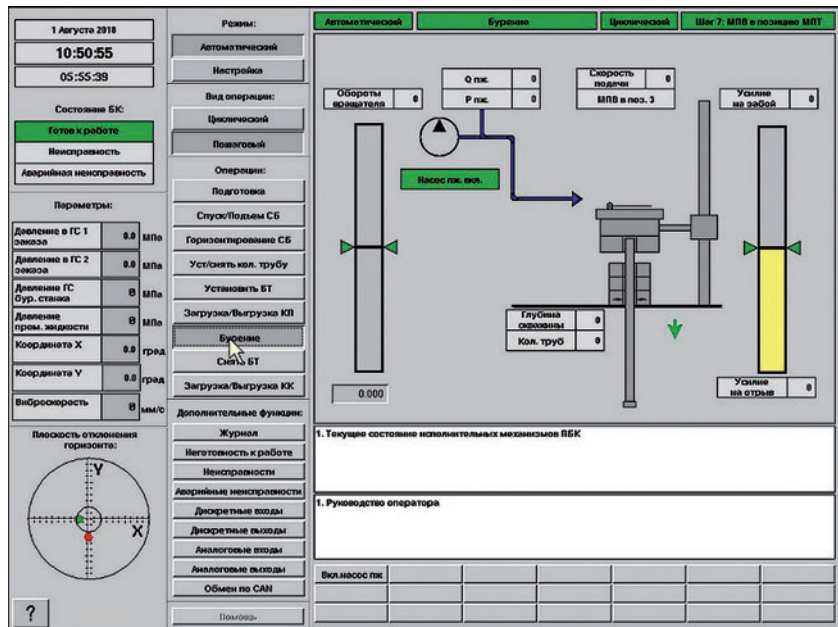


Рис. 10. Экран ПУБК при выполнении операции «Бурение»

4. Антоненко С. И., Брагина Е. В., Головкин С. В., Титов Д. А. Система управле-

ния погружного бурового комплекса. // Судостроительная промышленность: Сер. Технология и организация производства. Судовое машиностроение. Опыт проектирования и создания судовых механизмов. – 2016. – №1 (40). ■

Возрастающая интенсивность судоходства, значительное увеличение осадки и размеров судов, перевозящих опасные грузы и, как следствие этого, повышение опасности экологических катастроф в случае посадки на мель определяют высокую значимость гарантированного знания глубин на подходных путях, фарватерах, каналах и т. д.

Проблема знания гарантированной глубины для обеспечения навигационной безопасности мореплавания – весьма актуальна и при строительстве новых портов и различных гидротехнических сооружений, и при контроле дноуглубительных работ.

Инженерные изыскания при строительстве портовых гидротехнических сооружений, прокладке трубопроводов и кабельных линий, мониторинге состояния подводных объектов и решение ряда других задач выдвигают серьезные требования к проведению детальной съемки рельефа дна с высокой, практически сантиметровой, точностью [1].

Характерным примером тому могут служить работы по оборудованию портов, терминалов, углублению существующих и созданию новых судовых фарватеров в Финском заливе.

В стандарте Международной гидрографической организации (МГО) на гидрографические съемки S-44 [2] для категории съемки «Особая» отмечается, что *суммарная вертикальная (высотная) неопределенность* (суммарная погрешность измерения глубины с вероятностью 2σ) не должна превышать значения, рассчитываемого по следующей формуле:

$$m_z = \left[a^2 + (b \times d)^2 \right]^{1/2}, \quad (1)$$

где $a = 0,25$ м, $b = 0,0075$, d – глубина места, м.

В соответствии с этой формулой с уменьшением глубины уменьшается и допустимая величина погрешности ее измерения. На глубине 40 м она должна быть не более 0,39 м, а на глубине 10 м – не более 0,26 м.

Наибольшую сложность для достижения высокой точности измерения глубин эхолотом представляет определение поправки за отклонение действительной средней вертикальной скорости звука от расчетной. Неточное знание величины этой поправки вносит основную погрешность в измеряемую глубину.

Для реализации столь высоких требований по точности измеряемых глубин необходимо оперативное получение данных о профиле скорости распространения звука

На глубинах более 200–300 м, как правило, изменение скорости звука происходит в основном за счет увеличения гидростатического давления, поскольку температура и соленость воды ме-

СИСТЕМА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ВЕРТИКАЛЬНОГО ПРОФИЛЯ СКОРОСТИ ЗВУКА НА ХОДУ

Н. А. Нестеров, д-р техн. наук, проф., руководитель проекта, С. А. Груничев, руководитель проекта, АО «МНС», Дмитрий Екимов, ген. директор Deck Marine Systems, контакт. тел. (812) 320 3840

няются слабо во времени и наблюдается практически линейная зависимость изменения скорости звука от глубины. В приповерхностном слое (в районах с небольшими глубинами) совсем иная картина. Здесь весьма существенной может быть и сезонная, и даже суточная изменчивость температуры и солености.

Эти районы с практической точки зрения представляют наибольший интерес, так как в них осуществляется наиболее интенсивное судоходство и решается наибольший объем экономических задач (строительство гидротехнических сооружений, установка и эксплуатация буровых платформ, прокладка трубопроводов и т. п.).

Поэтому именно в этих экономически важных районах с глубинами до 100–200 м целесообразно применение

Для решения этой задачи компанией Deck Engineering OU (г. Таллин, Эстония) совместно с компанией АО «МНС» (Санкт-Петербург, РФ) была разработана система, позволяющая получать профиль скорости звука на ходу судна [3].

Система вертикального профилирования (см. рисунок) включает лебедку со свободным ходом и контролем натяжения, датчик скорости звука и программное обеспечение для контроля процесса профилирования и обработки полученных данных.

Система позволяет проводить непрерывное профилирование скорости звука от поверхности до дна на ходу, при скорости судна до 12 уз.

Основные технические характеристики системы вертикального профилирования приведены ниже.

Основные технические характеристики системы вертикального профилирования компании Deck Engineering OU

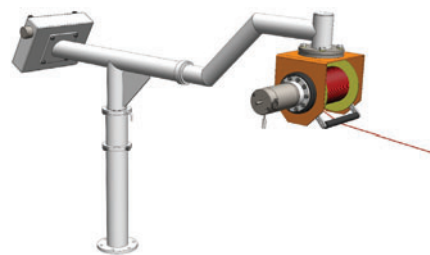
Параметр	Значение
Лебедка:	
Емкость барабана, м	1100
Линейная скорость выборки троса, м/с	до 5
Напряжение питания, В	24/48 постоянного тока
Потребляемая мощность, кВт	до 2,5
Диаметр троса, мм	3–4
Масса, кг	30
Основание:	
Габаритные размеры (Ш×В×Г), мм	660×1170×2150
Материал	Нержавеющая сталь
Тип башни	Поворотная

прямых способов измерений, позволяющих получать оперативную информацию о скорости звука.

В настоящее время для измерения скорости звука на отдельных горизонтах датчики погружают на тросе до необходимой глубины и поднимают обратно с использованием судовых лебедок или вручную. Данная операция выполняется в дрейфе судна, что, несомненно, приводит к увеличению суммарного времени, затрачиваемого на съемку рельефа дна. Особенно существенно падает производительность работ, если измерение скорости звука приходится выполнять часто из-за его значительного изменения в течение съемки. Поэтому актуальным является решение задачи повышения оперативности получения данных о профиле скорости звука в процессе выполнения съемки, т. е. проведения частых измерений без прокладки в дрейф, на ходу судна.

Для измерения скорости звука система может комплектоваться серийными датчиками, введенными в Реестр средств измерений Российской Федерации – Valeport miniSVP или Sea & Sun CTD48M.

Важнейшей отличительной особенностью системы является то, что измерение профиля скорости звука может осуществляться без непосредственного присутствия оператора у лебедки.



Лебедка системы компании Deck Engineering OU

Преимущество данной системы в том, что ее конструкция может быть разработана под конкретные требования заказчика. Также возможно комплектование системы другими океанографическими датчиками для измерения различных гидрофизических и гидрохимических параметров.

В заключение можно отметить, что готовые изделия проходят полный цикл заводских испытаний с участием представителя Российского морского регистра судоходства (РМРС) и получением соответствующего сертификата.

Как известно, в современных приборах и системах навигации, стабилизации и управления движением объектов различного класса широко применяются преобразователи измеряемых физических величин на основе электрических аналоговых и дискретных сигналов [1].

Объектом исследования выбран прибор-датчик, предназначенный для выдачи информации об угловом положении судового оборудования, а при необходимости и для своевременной блокировки его движения.

Прибор-датчик имеет два блока: механический преобразователь вращения (редуктор) и поворотный оптический энкодер. Поворотный энкодер (иначе – датчик угла поворота) – это устройство, которое преобразует угол поворота вращающегося объекта (вала) в электрические сигналы, позволяющие определить численно этот угол. Принцип работы такого энкодера заключается в том, что направленный на фотодетектор луч света периодически прерывается диском со специальными прорезями [2]. Основными особенностями так называемых, абсолютных энкодеров являются помехоустойчивость и виброустойчивость непрерывное формирование сигнала, как при вращении, так и в состоянии покоя, а также отсутствие потери позиции при отключении напряжения. В исследуемом приборе-датчике применяется абсолютный энкодер АЭМ-1, разработанный АО «НПФ «Меридиан» и предназначенный для улучшения технических показателей системы совместного безопасного применения корабельного оборудования «Блокировка», с использованием стопроцентной отечественной элементной базы и по цене, которая сопоставима со стоимостью абсолютных энкодеров гражданского назначения.

Таким образом, энкодеры – это датчики угла поворота, которые формируют на своих выходах измеряемую величину в виде двоичного кода. Это позволяет подключать энкодеры непосредственно к цифровым процессорам

Специалисты АО «МНС», партнера компании Deck Engineering OU, могут квалифицированно выполнить полный цикл работ, в том числе:

- модификацию (при необходимости) конструкции системы под конкретные требования заказчика;
- проектирование по привязке (установке) системы на судне, в т. ч. разработка рабочей конструкторской документации;
- проведение шеф-монтажных, пусконаладочных и сдаточных работ на объекте установки;

- гарантийное и постгарантийное сервисное обслуживание и ремонт.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Нестеров Н.А.* О величине погрешности местоположения глубины при выполнении детальной съемки // *Навигация и гидрография.* – № 35. – 2013. – С. 52–57.
2. Стандарт МГО на гидрографические съемки. – 5-е изд. – 2008 (Спец. публикация № S–44).
3. Информационный проспект системы вертикального профилирования на ходу судна, Deck Engineering OU. ■

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО ПРИБОРА-ДАТЧИКА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ УГЛА ПОВОРОТА СУДОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ

В.А. Зинков, инженер-конструктор 1-й категории АО «НПФ «Меридиан»,
В.М. Медунецкий, д-р техн. наук, проф. НИУ ИТМО,
контакт. тел. (812) 602 0368

или преобразователям кода (интерфейсам цифровой связи). Физические принципы работы энкодеров могут быть различными (механические, оптические, магнитные), но все эти приборы характеризуются моментом инерции, статическим и динамическим коэффициентами сопротивления. Из технической литературы [3] известно, что оснащение прибора-датчика угла поворота энкодером может существенно повлиять на функционирование всего электромеханического устройства с малым вращающим моментом.

В рассматриваемом приборе-датчике между вращающимся валом и энкодером введена двухступенчатая цилиндрическая зубчатая передача (редуктор). Вращающийся вал (как измеряемое оборудование) соединяется с редуктором через втулку и муфту (рис. 1). Таким образом, в данном варианте ведомым элементом является энкодер [1], а ведущим – муфта, соединяющая с валом, угол поворота которого надо измерять.

Из практики эксплуатации выявлено, что редуктор существенно влияет на точность измерения угла поворота данным прибором-датчиком. Поэтому необходимо модифицировать данный механический блок (редуктор) для повышения точности измерения.

Известно, что основными эксплуатационными требованиями к редуктору являются высокая кинематическая точность, минимальный мертвый ход и

незначительная величина момента, прикладываемого к ведомому элементу привода. Отметим, что мертвым ходом кинематической цепи называют величину рассогласования в движениях ведущего и ведомого звеньев при реверсе (перемене направления движения) из-за наличия зазоров в соединениях и упругих деформаций.

Для уменьшения кинематического мертвого хода известны конструкции, которые позволяют регулировать зазоры в зоне зацепления при сборке или автоматически устранять их при вращении [4, 5]. Однако сложность их изготовления, увеличение габаритов и массы конструкции, увеличение потерь на трение как в зацеплении, так и в опорах, не позволяют использовать их в данном редукторе прибора-датчика.

Для улучшения показателей качества в целом считается, что при выборе типа зубчатой передачи необходимо руководствоваться следующим: наибольшая кинематическая точность может быть достигнута применением цилиндрических зубчатых колес. При разбивке общего передаточного числа кинематической цепи по ступеням необходимо исходить из следующих соображений: в целях уменьшения числа ступеней и ошибок мертвого хода рекомендуется назначать в паре колес максимально возможное передаточное отношение, а в первых ступенях (ближе расположенных к приводу) – меньшие передаточные числа, чем в последующих [6].

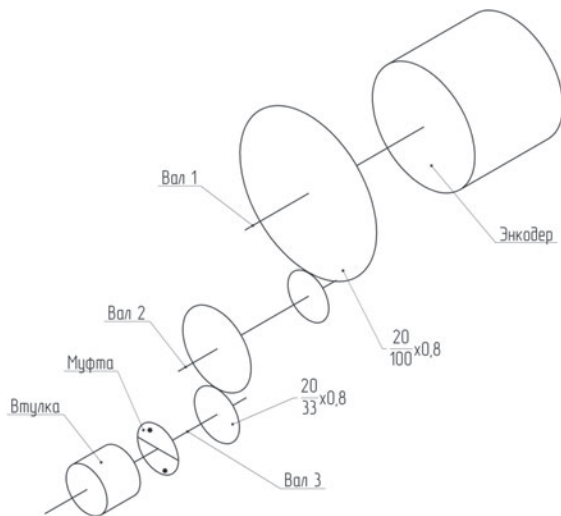


Рис. 1. Кинематическая схема редуктора прибора-датчика

Анализ конструкций и производства современных малогабаритных зубчатых кинематических передач позволил выявить следующие особенности: зубчатые передачи проектируют и изготавливают преимущественно из конструкционных полимерных композиционных материалов и в основном мелкосерийными партиями. Для получения зубчатых колес из полимерно-композиционных материалов (ПКМ) целесообразно использовать технологию литья в силиконовые формы, которая позволяет изготовить небольшие партии изделий методом отливки в заранее подготовленные формы. Результатом становится достаточно полноценная копия требуемого изделия с необходимыми параметрами и характеристиками [7]. Процесс изготовления форм и выполнения отливок в них относительно быстрый, а себестоимость по сравнению с литьем в металлические формы – невысокая [8].

Можно также отметить, что зубчатые передачи на основе ПКМ по сравнению с металлическими более легкие, малощумные, коррозионностойкие, имеют и сохраняют присущую им смазывающую способность. Преимуществом шестерен из композитных полимеров перед металлическими является не только пониженный уровень шума, но и большая эффективность (КПД) благодаря меньшим потерям на трение [9, 10].

Так как в настоящее время достаточно широко используют малогабаритные зубчатые передачи из ПКМ в исполнительных механизмах различных приборов, в некоторых вариантах для повышения качественных показателей зубчатого зацепления целесообразно использовать колеса с нестандартным зубчатым профилем. Одним из таких нестандартных зацеплений являются конусно-клиновые зубчатые венцы. Особенность конусно-клинового зубчатого венца – плавное изменение толщины зуба по линейному закону для каждого осевого

сечения зубчатого колеса (рис. 2 и рис. 3). При этом эвольвентный профиль остается одинаковым по всей ширине зубьев в осевых сечениях. Например, изменение толщины зуба по его ширине (между двумя торцевыми плоскостями) составляет $0,2t$ (t – модуль). Это обеспечивает возможность регулировать зазор в зоне зубчатого зацепления путем взаимного осевого смещения сопрягаемых деталей, что позволяет при определенных условиях выбрать его оптимальную величину. При этом диаметры основной окружности, вершин, впадин и число зубьев остаются неизменными [11].

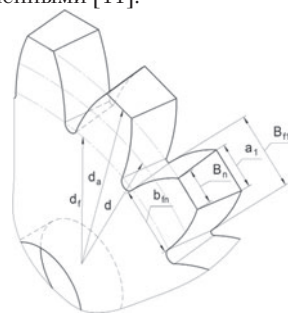


Рис. 2. Зубчатый венец цилиндрического конусно-клинового зубчатого колеса

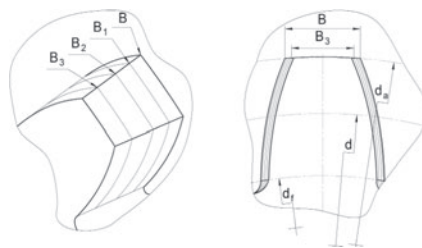


Рис. 3. Эвольвентные профили зуба конусно-клинового зубчатого. Здесь $B_1 > B_2 > B_3$

Можно отметить, что для получения таких монолитных зубчатых звеньев целесообразно использовать оболочковые формообразующие матрицы [12], которые позволяют получить достаточно качественные боковые рабочие поверхности зубьев.

В итоге исследования показали, что

повышение точности измерения угла поворота судового оборудования можно достичь за счет применения конусно-клиновых зубчатых передач электромеханического прибора-датчика, а также новых полимерных композиционных материалов и технологий их изготовления. Результаты данного исследования будут использованы при изготовлении последующих образцов приборов-датчиков, производимых АО «НПФ «Меридиан», в том числе с целью уменьшения их массогабаритных характеристик.

ЛИТЕРАТУРА

1. Справочник конструктора точного приборостроения / Под ред. К. Н. Явленского. – Л.: Машиностроение. – 1989. – 792 с.
2. Энкодеры: [Электронный ресурс]. URL: <http://roboforum.ru/wiki/Энкодеры>. (Дата обращения: 3.10.2018).
3. Капля В. И., Капля Е. В. Идентификация динамических характеристик энкодера // Датчики и системы. – 2012. – № 4.
4. Элементы привода приборов: расчет, конструирование, технологии/Под ред. Ю. М. Плещачевского. – Минск: Беларус. наука. – 2012. – 769 с.
5. Проектирование передаточного механизма: Учеб. пособие/В. Д. Брицкий, М. А. Ноздрин, Г. Б. Заморуев, Б. П. Тимофеев, В. В. Биндюк, С. С. Резников, Ю. С. Монахов, М. В. Абрамчук, М. С. Ларин, – СПб: СПбГУ ИТМО, 2010. – 155 с.
6. Справочник конструктора точного приборостроения/Под ред. Ф. Л. Литвина. – М. – Л.: Машиностроение, 1964. – 943 с.
7. Старжинский В. Е., Шилько С. В., Шалобаев Е. В. Технологии производства зубчатых колес из термопластичных полимерных материалов (Обзор)//Полимерные материалы и технологии. – 2018. – № 2. – С. 6–31.
8. Старжинский В. Е., Шалобаев Е. В. Проектирование пресс-форм для точных пластмассовых колес с использованием технологии быстрого прототипирования. – Прогрессивные технологии в машино- и приборостроении. – Н. Новгород; Арзамас: Изд. НГТУ-АПИ, 2005. – С. 28–29.
9. Typical Plastic Gear Applications – [Электронный ресурс]. URL: <http://www.intechpower.com/products/gears/typical-gear-applications>. (Дата обращения: 4.09.2018).
10. Bartosch Georg. Polymers outperform metals in precision gearing://Intech Power Core, 2015. – URL: <https://www.designworldonline.com/polymers-outperform-metals-in-precision-gearing/>. (Дата обращения: 4.09.2018).
11. Горбунов С. А. Расчет основных параметров конусно-клинового зубчатого венца//Науч.-техн. вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2006. – № 28.
12. Медунецкий В. М. Формообразование модифицированных зубчатых венцов комбинированных цилиндрических передач. – Автореферат. 05.11.14: СПб., 2003, 386 с. РГБ ОД, 71:04–5/55–6. ■

Период с начала 90-х гг. XX в. до конца 2018 г. можно назвать самым сложным и противоречивым в новейшей истории НГО акватории СМП. Как было отмечено в части I данной статьи, посвященной становлению и развитию системы НГО в арктических морях России в 30–80-е гг. XX в., усилиями полярных гидрографов к концу 80-х гг. XX в. в акватории СМП была создана комплексная система НГО мореплавания, реализуемая по пяти основным направлениям [1]:

1) изучение подводного рельефа Арктических морей в целях издания навигационных карт, руководств и пособий для плавания;

2) оснащение трасс средствами навигационного оборудования и обеспечение их работы по регламенту;

3) информирование мореплавателей об изменениях навигационной обстановки;

4) осуществление лоцманских проводок на реках Енисей, Хатанга, Анабар и Колыма общей протяженностью 680 мор. миль;

5) реализация мероприятий, направленных на соблюдение судами правил по предотвращению загрязнения водной среды.

Достигнутый к началу 90-х гг. уровень развития и организационная структура системы НГО СМП (крупнейший в мире гидрографический флот усиленного ледового класса, гидрографические базы, арктические радионавигационные отряды, комплексные гидрографические экспедиции, камеральное производство и кадры) соответствовали уровню арктического судоходства на трассах СМП и позволяли выполнять значительный ежегодный объем гидрографических работ, вести обработку материалов, поддерживать работу по регламенту системы средств навигационного оборудования (СНО), а также необходимый уровень навигационно-гидрографической изученности судоходных трасс СМП и решать другие задачи. Все это обеспечивало безопасность плавания в акватории СМП морских и речных судов независимо от ведомственной и национальной принадлежности как в период летней навигации, так и в режиме продленной и круглогодичной навигации в западном секторе Арктики.

Однако начавшаяся в стране экономическая перестройка повлекла вплоть до середины 2010-х гг. XXI в. спад интенсивности мореплавания в акватории СМП и не позволила реализовать на практике накопленный потенциал созданной системы НГО. После 1991 г. стало наблюдаться резкое сокращение финансирования всех направлений НГО СМП, и комплексная система НГО претерпела серьезные негативные измене-

ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ НАВИГАЦИОННО- ГИДРОГРАФИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ В АКВАТОРИИ СЕВЕРНОГО МОРСКОГО ПУТИ

ЧАСТЬ 2. КОМПЛЕКСНАЯ СИСТЕМА НГО АКВАТОРИИ СМП В КОНЦЕ XX - НАЧАЛЕ XXI В. (1990 Г. - НАСТОЯЩЕЕ ВРЕМЯ)

*С.В. Решетняк, д-р техн. наук, гл. науч. сотрудник АО «ГНИНГИ»,
контакт. тел. +7(905) 225 3976*

ния [2]. К концу 90-х гг. финансирование НГО сократилось до 10–15% от расчетно-необходимого объема, что привело на рубеже XX – XXI вв. все направления НГО фактически на грань выживания. В тяжелейших условиях 90-х гг. коллективу полярной гидрографии пришлось решать две главные задачи: во-первых, сохранить функционирующую систему НГО акватории СМП и, во-вторых, не допустить технологического отставания в области НГО от развитых в гидрографическом отношении стран [3]. Эти задачи стали еще более актуальными с учетом решения руководства СССР об открытии в 1991 г. СМП для международного судоходства на недискриминационной для судов всех государств основе в соответствии с изданными в английском переводе «Правилами плавания по трассам Северного морского пути» [4].

Начало данного периода ознаменовалось вводом в состав гидрографического флота в 1990–1991 гг. новой серии из трех гидрографических судов «Алексей Марышев» (рис. 1), «Григорий Михеев» и «Петр Котцов», предназначенных для съемки и картографирования рельефа дна, установки и обслуживания средств навигационного оборудования морских путей и оснащенных специальными системами для работ в суровых арктических условиях. Район плавания и производства работ у этих судов неограниченный, корпус – усиленный для работы в ледовых условиях.

Построенные на верфях Финляндии суда были оснащены автоматизированными информационными системами сбора, регистрации, отображения и редактирования гидрографической информации, позволявшими реализовать единую цифровую технологию съемки рельефа дна, обработки гидрографических материалов и составления отчетных гидрографических планшетов, в том числе непосредственно на борту судов. Для выполнения работ на мелководье суда были оборудованы специализированными гидрографическими катерами. Гидрографическое судно «Петр Котцов» (рис. 2) было оборудовано передовым для того периода специализированным гидрографическим комплексом на базе многолучевого эхолота для выполнения площадной съемки поверхности морского дна на глубинах до 600 м в соответствии с требованиями действовавших международных стандартов. Строительство указанной серии судов явилось последним вкладом СССР в развитие системы НГО арктического судоходства. С их вводом в эксплуатацию состав крупнейшего в мире арктического гидрографического флота, ежегодно выполнявшего работы по НГО, насчитывал более 20 специализированных судов усиленного ледового класса и исследовательских ледоколов, а также необходимый вспомогательный флот малых судов для выполнения гидрографических работ на устьевых участках крупнейших



Рис. 1. Гидрографическое судно «Алексей Марышев» (1990)



Рис. 2. *Флагманское судно полярной гидрографии «Петр Котцов» (1991)*

арктических рек с морским режимом судоходства.

В 1991 г. специальная экспедиция на борту гидрографического судна «Петр Котцов» впервые в отечественной практике выполнила сложнейший по требованиям и уровню организации проект площадной съемки рельефа дна вдоль запроектированной трассы подводного трубопровода протяженностью порядка 500 км и площадки Штокмановского газоконденсатного месторождения, находящейся на глубине 320 м на севере Баренцева моря. В 1993 г. были выполнены аналогичные комплексные проекты – площадная съемка рельефа дна Приразломного нефтяного месторождения в Печорском море и площадная съемка резервной трассы трубопровода к Штокмановскому месторождению. Для того периода зарегистрированные в цифровой форме и обработанные результаты площадной съемки и картографические материалы (отчетные гидрографические планшеты и материалы в цифровой форме) были уникальными и вызвали большой интерес отечественных и иностранных компаний, занимавшихся проектами разработки Штокмановского и Приразломного месторождений.

В начале 90-х гг. на фоне губительных для окружающей среды аварий морских судов и особенно после катастрофы в марте 1989 г. наскочившего на риф у берегов Аляски супертанкера «Eхxon Valdez», в результате которой в море вылилось 10,8 млн. галлонов нефти, образовав нефтяное пятно в 28 тыс. км², стала очевидной необходимость внедрения новых технологий в области обеспечения безопасности судоходства в акватории СМП. Реалии арктического судоходства – большие, а значит, менее маневренные суда и ледоколы, в том числе с ядерными энергетическими установками, тяжелые ледовые условия, перевозка опасных грузов (нефть и нефтепродукты) и т. д. не соответствовали возможностям существовавших тогда традиционных навигационных систем по обеспечению

безопасности мореплавания и защите окружающей среды. В условиях экономического спада в РФ указанные факторы после 1992 г. усугублялись недостатками бюджетного финансирования. Так, например, функционирование радионавигационных систем на трассах СМП стало практически невозможным из-за резко возросшей стоимости их развертывания и эксплуатационных расходов.

В соответствии с приказом Министрства транспорта РФ от 5 октября 1994 г. № 75 «О реализации постановления Правительства Российской Федерации о мерах по совершенствованию управления Северным морским путем» под руководством автора этих строк в Гидрографическом предприятии (Гидрографическое предприятие Минморфлота СССР было принято в ведение Минтранса России в соответствии с Указом Президента РФ от 20 августа 1991 г. № 66; на 1 января 2018 г. – ФГУП «Гидрографическое предприятие») на основе анализа международных и национальных требований к безопасности мореплавания была разработана Программа совершенствования НГО в акватории СМП, предусматривавшая комплексное внедрение новейших технологий в области обеспечения безопасности судоходства, в том числе параллельное проведение работ по следующим направлениям [5]:

- развертывание, испытание и ввод в эксплуатацию вдоль трасс СМП сети из 12 береговых контрольно-корректирующих станций (ККС) глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС);
- создание банка данных электронных навигационных карт (ЭНК) на трассы СМП, отвечающих требованиям Стандарта Международной гидрографической организации (МГО) S-57;
- разработка соответствующих требованиям Международной морской организации морских электронных картографических навигационных информационных систем для гидрографических и других специальных

судов и лоцманских служб арктических рек.

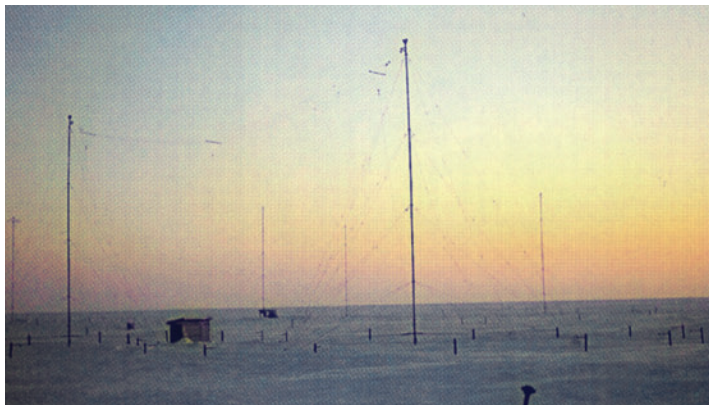
Важнейшие вышеуказанные программные мероприятия в виде инвестиционного проекта «Совершенствование системы НГО национальной арктической транспортной магистрали России – Северного морского пути» в дальнейшем вошли в подпрограмму 8 «Транспортные коммуникации России в Мировом океане» Федеральной целевой программы «Мировой океан» [6] и, несмотря на сложнейшее положение с бюджетным финансированием, реализовывались в акватории СМП с 1995 г.

Для информационного обеспечения безопасности транзитных переходов по трассам СМП в 1995 г. было впервые издано «Руководство для сквозного плавания судов по СМП» [7], в том числе на английском языке для иностранных судоводителей, которое широко распространилось практически по всему миру. Впервые начали издаваться двуязычные русско-английские навигационные морские карты, число адмиралтейских номеров которых к началу 2010-х гг. превысило 330 ед. В 1995–2002 гг. была проведена успешная опытная эксплуатация четырех дифференциальных станций ГНСС GPS на объектах Тонкий, Олений, Липатниково (р. Енисей) и Стерлегова в западном секторе Арктики в период как летней, так и зимней навигации. Полярные гидрографы и радиоспециалисты прошли необходимый курс обучения работе с оборудованием и получили опыт практической эксплуатации ККС ГНСС.

Дальнейшее развертывание ККС ГНСС на арктическом побережье осуществлялось согласно Постановлению Правительства РФ от 15.11.1997 № 1435 «О Федеральной целевой программе по использованию глобальной навигационной спутниковой системы «ГЛОНАСС» в интересах гражданских потребителей» (с учетом последующих изменений и новых редакций ФЦП «ГЛОНАСС»). В соответствии с ФЦП «ГЛОНАСС» в 2003 г. на о. Олений в Карском море была введена в эксплуатацию первая в мире арктическая ККС с комплексным использованием ГНСС «ГЛОНАСС/GPS» (рис. 3). К концу 2018 г. вдоль побережья СМП развернуто и функционируют шесть ККС ГНСС «ГЛОНАСС/GPS». Эксплуатируются ККС на островах Олений, Андрея, Столбовой, Каменка, мысе Стерлегова и в устье реки Индигирки, а также контрольный пункт «Медвежий» в п. Диксон (рис. 4) [8].

Работы по развертыванию, обслуживанию, развитию инфраструктуры и эксплуатации ККС выполняют сотрудники Объединенного арктическо-

а)



б)



в)



Рис. 3. Первая в мире арктическая ККС с комплексным использованием ГНСС «ГЛОНАСС/GPS». Введена в эксплуатацию в 2003 г.: а – Т-образная антенна радиомаяка. Карское море, о. Олений; б – мачта с антеннами ГНСС «ГЛО-НАСС/GPS» на о. Олений; в – оборудование дифференциальной станции «ГЛОНАСС/GPS» на о. Олений

го радионавигационного отряда ФГУП «Гидрографическое предприятие».

В 1995 г. в Гидрографическом предприятии было создано Цифровое картографическое производство и введено в эксплуатацию технологическое оборудование для производства электронных навигационных карт (ЭНК) согласно требованиям стандарта Международной гидрографической организации S-57, на базе всемирно известной географической информационной системы «CARIS» канадской фирмы «UNIVERSAL SYSTEMS LTD» и высо-

копроизводительных рабочих станций. Самый сложный по объему выполненных работ этап создания банка данных ЭНК на акваторию СМП был завершен к концу 90-х гг. Все основные трассы СМП были покрыты ЭНК масштаба не мельче 1:500 000, а проливы и устьевые участки рек Обь, Енисей, Хатанга и Колыма – масштабов 1:5000–1:200 000. Для эффективного использования ЭНК впервые в России были разработаны и в 1996 г. внедрены портативные «лоцманские» переносные комплексы на базе электронной картографической системы

«ТРИС-100» (Свидетельство об одобрении типа судовой аппаратуры от 15 августа 1996 г. № 4/9-580-96С) с компактным приемником ГНСС DGPS, обеспечивавшим точность определения места судна в пределах 1–5 м в зоне действия береговых ККС. Переносные комплексы использовались лоцманами Арктической лоцманской службы при выполнении проводок морских судов по рекам Енисей и Колыма, а также на гидрографических судах.

В настоящее время Картографическое производство ФГУП «Гидрографическое предприятие» осуществляет весь комплекс работ, включая камеральную обработку данных, полученных в результате выполнения гидрографических работ, их кодирование в соответствии с требованиями стандарта МГО S-57, создание различной картографической продукции, а также подготовку сообщений для публикаций в выпусках «Извещений мореплавателям», создание текстов руководств и пособий для плавания и согласование контрольно-графических копий морских навигационных карт на акваторию СМП, издаваемых Управлением навигации и океанографии Минобороны России. С 2012 г. формируется коллекция ЭНК для обеспечения гидрографических работ (использование в промерных комплексах на базе многолучевых эхолотов) и лоцманских проводок. С 2016 г. при поддержке Федерального агентства морского и речного флота Гидрографическое предприятие приступило к оказанию услуг по созданию и обновлению цифровых справочно-информационных наборов. С мая 2017 г. Гидрографическое предприятие предоставляет информационные услуги по созданию и обновлению ЭНК в соответствии с требованиями собственных стандартов и стандартов Международной гидрографической организации. Предприятие имеет собственный код производителя ЭНК (Producer Agency Code) R1, зарегистрировано в международной системе защиты данных и располагает всем необходимым для защиты данных в соответствии со стандартом МГО S-63 [8].

В целях выполнения международных обязательств России в соответствии с постановлениями Правительства РФ № 813 от 3.07.1997 г. и № 1078 от 22.09.1999 г. и в соответствии с Приказом Министерства транспорта РФ от 31 декабря 1999 г. № 113 «О внесении изменений и дополнений в приказ Министерства транспорта РФ от 21.10.1997 г. № 125 «О создании и функционировании Глобальной морской системы связи при бедствии и для обеспечения безопасности (ГМССБ)» с 2000 г. Гидрографическое предприятие было определено ответственным



Рис. 4. Контрольно-корректирующие станции ГНСС «ГЛОНАСС/GPS» (рисунок предоставлен ФГБУ «Администрация Северного морского пути»)

за доставку информации по безопасности мореплавания (ИБМ) судам в российской Арктике. В кратчайшие сроки были выполнены необходимые международные процедуры и создана система подготовки и передачи ИБМ на районы арктических морей по сети SafetyNET спутниковой системы ИНМАРСАТ. Уже в мае 2000 г. Гидрографическое предприятие было зарегистрировано в Международной морской организации (ИМО) в качестве официального поставщика ИБМ на западный и восточный районы СМП и получило сертификат № 67, выданный 30 мая 2000 г. международным координационным Советом службы SafetyNET. С июня 2000 г. началась передача навигационной информации на акваторию СМП, а с октября 2001 г. – передача как навигационной, так и гидрометеорологической информации на западный и восточный секторы Арктики. Навигационные предупреждения поступали от гидрографических баз, арктических экспедиций, гидрографических судов, работавших на трассах СМП, и других источников. Гидрометеорологическая и ледовая информация, штормовые предупреждения и данные об обледенении судов поступали от Арктического и антарктического научно-исследовательского института. Время прохождения информации от отдела ИБМ Гидрографического предприятия (Санкт-Петербург) до борта судов в акватории СМП составляло около двух минут [2, с. 30].

Во многом благодаря успешному практическому результату, полученному в начале 2000-х гг. специалистами российской полярной гидрографии, которые стали пионерами регулярной передачи ИБМ на высокоширотные арктические районы, этот вопрос вызвал широкий интерес в международном морском сообществе. В конечном итоге это подтвердило необходимость и в значительной степени послужило причиной образования новых арктических районов NAVAREA (НАВАРЕА) XXVII–XXI для передачи информации по безопасности мореплавания в Северном ледовитом океане, которые были утверждены ИМО в 2007 г. (рис. 5).

С 2000 г. передача ИБМ на акваторию арктических морей осуществляется по сети SafetyNET через два спутника системы ИНМАРСАТ (районов Индийского и Тихого океанов). В дальнейшем для передачи ИБМ предусматривалось комплексное использование сети SafetyNET и береговых пунктов НАВТЕКС в районах вне зоны действия спутников системы ИНМАРСАТ. Первая береговая станция НАВТЕКС на арктическом побережье СМП в районе порта Тикси была введена в эксплуатацию в 2003 г., однако в последующие годы вплоть до конца 2018 г. раз-

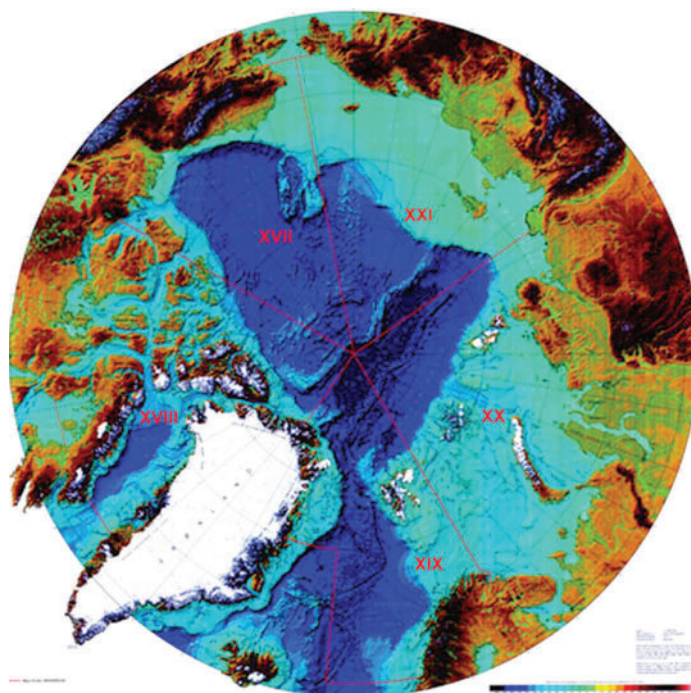


Рис. 5. Арктические районы NAVAREA (НАВАРЕА) XXVII–XXI

вергивания новых станций НАВТЕКС для передачи ИБМ на районы акватории СМП вне зоны действия спутников системы ИНМАРСАТ не происходило. После 2011 г. подготовка и передача навигационных предупреждений, метеорологических предупреждений, метеорологических прогнозов, информации по поиску и спасанию и ледовой информации осуществляется уже на новые арктические районы НАВАРЕА/МЕТАРЕА XX и XXI (рис. 6).

С 2014 г. в соответствии с распоряжением Федерального агентства морского и речного транспорта от 8 августа 2014 г. № СГ-302-р на Гидрографическое предприятие возложены функции Национального координатора районов НАВАРЕА XX и XXI с целью [8]:

- организации работ по обеспечению мореплавателей ИБМ на прибрежные районы «Запад» и «Восток» акватории СМП;
- сбора, обработки и передачи коор-

динатору НАВАРЕА (ФГУП «Росморпорт») на безвозмездной основе ИБМ, в том числе сообщений по поиску и спасанию, предупреждений НАВАРЕА и прибрежных предупреждений (ПРИП), а также иных срочных сообщений, касающихся безопасности мореплавания с использованием гидрометеорологической информации;

- объявления ПРИП «Запад» и ПРИП «Восток» через Международную службу сети безопасности в системе ИНМАРСАТ (SafetyNET) и береговую станцию службы НАВТЕКС в порту Тикси.

Еще одним направлением внедрения в практику НГО новых технических средств стал начавшийся в середине 2000-х гг. перевод СНО СМП на альтернативные источники электропитания (АИП) на основе экологически чистых возобновляемых источников энергии и оснащение объектов СНО энергосбе-



Рис. 6. Районы передачи ИБМ НАВАРЕА XX и XXI, северные границы зон действия спутников ИНМАРСАТ (фиолетовая и зеленая линии) и станции НАВТЕКС в порту Тикси (обозначена голубой дугой)

регающим светодиодным оптическим оборудованием. Оснащение СНО новым оптическим оборудованием и АИП ведется в рамках общего комплекса работ по обслуживанию системы СНО СМП параллельно (до 2015 г.) с выводом из эксплуатации и вывозом для утилизации радиоизотопных термоэлектрогенераторов (РИТЭГ). РИТЭГ многие годы являлись надежными источниками энергии с длительным непрерывным сроком работы для светотехнических и радиолокационных СНО на удаленных автономных арктических объектах. Но к началу 2010-х гг. практически все РИТЭГ отработали установленный срок службы по энергетическим показателям, и к концу 2015 г. они были демонтированы и вывезены для утилизации (рис. 7).



Рис. 7. Погрузка и вывоз РИТЭГ на специализированном мини-тракторе, выгружаемом на судовой барже с гидрографического судна непосредственно в районе работ

АИП включают солнечные панели, ветрогенераторы и современные аккумуляторные блоки. Всего к концу 2018 г. на береговых объектах СНО СМП установлено 280 комплектов АИП (рис. 8).



Рис. 8. Ремонт навигационного знака Муостах-Южный с установкой АИП, 2014 г., море Лаптевых, бухта Тикси

Несмотря на интенсивное внедрение в период с 1990 по 2018 г. новых

технических средств и технологий во все направления НГО арктического судоходства, комплексная система НГО в указанный период, который можно охарактеризовать как период снижения эффективности системы НГО в целом по различным причинам, прежде всего финансово-экономического характера, претерпела серьезные негативные изменения. Если, как указано выше, в начале 90-х гг. созданная усилиями многих поколений работников полярной гидрографии комплексная система НГО арктического судоходства велась по пяти основным направлениям, то к началу 2010-х гг. работы по одному из этих направлений – «Осуществление мероприятий, направленных на соблюдение судами правил по предотвращению за-

грязнения водной среды» – не ведутся, а остальные направления НГО функционируют с серьезным напряжением. Осуществление лоцманских проводок прекращено на реках Хатанга, Анабар и Колыма и выполняется в последние годы только на реке Енисей.

Систематические промерные работы, необходимые для поддержания морских навигационных карт на современном уровне, после 1992 г. были полностью прекращены и вплоть до 2010-х гг. проводились только контрольные промеры на лимитирующих участках рек Енисей, Колыма и Хатанга. При этом уровень гидрографической изученности акватории СМП в конце второго десятилетия XXI в. не соответствует современным требованиям и не может гарантировать полную безопасность плавания в акватории СМП транспортных судов с большой осадкой (более 10 м), крупнотоннажных танкеров и ледоколов.

Промерные работы в арктических морях были возобновлены только в 2010 г. В рамках обеспечения уникального и первого в истории СМП тран-

зитного перехода танкера класса Афрамакс «СКФ Балтика» дедвейтом более 100 тыс. т двумя гидрографическими судами «Петр Котцов» и «Яков Смирницкий» с использованием промерных комплексов на базе современных многолучевых в навигацию 2010 г. был впервые выполнен рекогносцировочный промер участков высокоширотной трассы СМП для судов с осадкой порядка 15 м [3]. С 2011 г. начались систематические работы по площадному обследованию участков высокоширотной трассы СМП. Для выполнения гидрографической съемки используются гидрографические суда «Петр Котцов», «Григорий Михеев» (рис. 9) и «Николай Евгенов» (рис. 10).

Суда оборудованы современными промерными комплексами на базе стационарных многолучевых эхолотов EM3002, EM2040, EM710 и мобильных многолучевых эхолотов SeaBat N20P и SeaBat8101. С 2014 г. также выполнялась съемка рекомендованных путей для следования крупнотоннажных судов в Обской губе к арктическому порту Сабетта. В 2014–2017 гг. была выполнена площадная съемка рельефа дна на подходах к Обской губе в Карском море и в Обской губе до терминала Новопортовского месторождения. ФГУП «Гидрографическое предприятие» планирует выполнить «значительную часть оптимально необходимого обследования наиболее важных участков морских путей и подходов к ним в акватории СМП» к 2024 г. [8].

Несмотря на возобновление систематических работ, общий объем гидрографических исследований, выполняемых в настоящее время, незначителен и недостаточен для приведения гидрографической изученности арктических морей на уровень современных национальных и международных требований. Так, если в 2012 г. для выполнения систематических промерных работ было задействовано три гидрографических судна «Петр Котцов», «Григорий Михеев» и «Николай Евгенов», то в 2017 г. и в 2018 г. уже только по одному гидрографическому судну – «Григорий Михеев» и «Петр Котцов» соответственно.

По состоянию на 1990 г. система СНО СМП включала 2514 СНО. Однако после 1992 г. были упразднены сотни единиц СНО. К началу 2010-х гг. штатный состав системы СНО акватории СМП сократился до 1552 объектов. При этом около 80% оставшихся объектов СНО находятся в неудовлетворительном состоянии и требуют текущего и капитального ремонта. Во второй половине 2010-х гг. по регламенту обеспечивается работа менее 20% штатного состава СНО (в 2015 г. – 234, в 2016 г. – 258, в 2017 г. и 2018 г. – 287 объектов СНО, из них более 90 плавучих СНО).

В заключении выделим основные

проблемы комплексной НГО акватории СМП на конец 2018 г., без решения которых невозможно обеспечить надлежащее функционирование и развитие системы НГО арктического судоходства, интенсивность которого с 2015 г. непрерывно возрастает. В 2017 г. объем грузоперевозок в акватории СМП достиг исторического максимума с 1933 г. – 10 млн. 729 тыс. т, а на 1 ноября 2018 г. по данным ФГБУ «Администрация Севморпути», превысил 16 млн. т с перспективой дальнейшего значительного увеличения. Очевидно, что поставленная Президентом РФ задача увеличения грузопотока по СМП до 80 млн. т в 2024 г. [9] требует решения главной задачи в области навигационно-гидрографического обеспечения в акватории СМП – развития системы НГО и приведения ее на уровень современных международных требований.

Одной из главных проблем осуществления НГО в акватории СМП на современном этапе является устаревание арктического гидрографического флота. К концу 2018 г. полярная гидрография ведется только с тремя гидрографическими судами со средним возрастом менее 30 лет – «Алексей Марышев» (год постройки – 1990), «Григорий Михеев» (1990) и «Петр Котцов» (1991). В настоящее время возникла ситуация, когда необходимы реновации и поэтапная смена всего гидрографического флота в целях приведения его возможностей по НГО в акватории СМП на требуемый уровень. Очевидно, что использование только одного гидрографического судна для выполнения систематического промера на акватории четырех арктических морей в 2017–2018 гг. не способствует приведению гидрографической изученности акватории СМП к современному уровню.

Второй, не менее важной проблемой, которую крайне трудно решить в короткий срок, является кадровая проблема. После 1992 г. во всех подразделениях служб полярной гидрографии из-за низких условий оплаты труда наблюдался активный процесс увольнения персонала. В первую очередь увольнялись специалисты по гидрографии, радиоэлектронике, электромеханике, а также командный состав экипажей гидрографических судов. По состоянию на 1 января 1991 г. численность работников Гидрографического предприятия превышала 1,6 тыс. человек, в том числе в арктических гидрографических базах – 1,1 тыс. человек. К 2018 г., по данным ФГБУ «Администрация Севморпути», среднесписочная численность сократилась до 469 человек, чем, среди прочего, можно объяснить сокращение объемов съемки рельефа дна и обслуживания СНО.



Рис. 9. Гидрографическое судно «Григорий Михеев» (1990)



Рис. 10. Гидрографическое судно «Николай Евгенов» (1974)

Третья актуальная проблема – очевидная необходимость совершенствования функций государственного управления в сфере НГО арктического судоходства. На решение в том числе этой задачи были направлены положения Федерального закона № 132-ФЗ «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации в части государственного регулирования торгового мореплавания в акватории Северного морского пути», который вступил в силу в конце января 2013 г. В развитие вышеуказанного закона № 132-ФЗ принят Федеральный закон от 29 декабря 2017 г. № 460-ФЗ «О внесении изменений в Кодекс торгового мореплавания РФ и признании утратившими силу отдельных положений законодательных актов РФ», согласно которому внесены в том числе необходимые изменения в организацию плавания в акватории СМП и в соответствующие функции Администрации СМП, созданной в форме федерального государственного бюджетного учреждения.

Во исполнение Федерального закона № 460-ФЗ распоряжением Федерального агентства морского и речного транспорта от 14 февраля 2018 г. № Во-39-р утвержден Устав Федерального государственного бюджетного учреждения «Администрация Северного морского пути» (ФГБУ «Администрация Севморпути»), в соответствии с которым одни из главных целей его деятельности и функций определены:

- навигационно-гидрографическое и гидрометеорологическое обеспечение плавания судов в акватории СМП;
- осуществление функций Национального координатора НАВАРЕА в районах НАВАРЕА XX и XXI.

Дальнейшее совершенствование функций государственного управления в сфере НГО арктического судоходства предусмотрено проектом нового федерального закона (проект № 505745-7) «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации (об участии госкорпорации «Росатом» в функционировании Северного морского пути)», который принят Государственной думой РФ в третьем чтении 11 декабря 2018 г. [10]. Законопроектом предусматривается внесение изменений в несколько федеральных законов, в том числе в Кодекс торгового мореплавания РФ, следующих изменений:

- «Навигационно-гидрографическое обеспечение в акватории Северного морского пути, в акваториях морских портов, расположенных на побережье акватории Северного морского пути, и на подходах к ним осуществляется федеральным органом исполнительной власти, осуществляющим функции по оказанию государственных услуг и управлению государственным имуществом в сфере морского транспорта, и Государственной корпорацией по атомной энергии «Росатом» в порядке, установленном Правительством Российской Федерации»;
- «Правила плавания в акватории Северного морского пути утверждаются Правительством Российской Федерации, применяются в целях обеспечения безопасности мореплавания, а также предотвращения, сокращения и сохранения под контролем загрязнения морской среды с судов и содержат:

1) порядок организации плавания судов в акватории Северного морского пути, включающий выдачу федеральным органом исполнительной власти в области транспорта или подведомственной ему организацией по согласованию с Государственной корпорацией по атомной энергии «Росатом» или подведомственной ей организацией разрешений на плавание судов в акватории Северного морского пути и выдачу лицам, осуществляющим ледовую лоцманскую проводку судов, удостоверений о праве ледовой лоцманской проводки судов в акватории Северного морского пути;

2) положение о навигационно-гидрографическом обеспечении плавания судов в акватории Северного морского пути;

3) иные касающиеся организации плавания судов в акватории Северного морского пути положения».

Очевидно, что предусмотренное законопроектom возложение на Правительство РФ полномочий по утвержде-

нию порядка НГО в акватории СМП, в акваториях морских портов СМП и на подходах к ним, а также по утверждению Правил плавания в акватории СМП, содержащих в том числе Положение о НГО плавания судов в акватории СМП, должно повысить не только статус НГО, но и уровень ответственности организаций, осуществляющих НГО в акватории СМП работ по всем направлениям НГО.

Мировые тенденции в области НГО судоходства показывают, что уровень их эффективности в значительной степени определяется темпами внедрения новейших научно-технических решений, технологий и технических средств, обеспечивающих безопасность судоходства. Их внедрение становится одним из необходимых источников повышения конкурентоспособности транспортных систем и устойчивого экономического роста. Для дальнейшего развития системы НГО СМП с учетом совершенствования функций государственного управления в сфере НГО требуется создание условий, стимулирующих внедрение и широкое использование цифровых технологий и стратегии электронной навигации, позволяющих повысить безопасность судоходства и оптимизировать управленческие и производственные процессы [11].



В книге рассмотрена роль океанотехники на всех этапах промышленного освоения морских углеводородных месторождений. Приведены структурный состав большого спектра стационарных и плавучих платформ и установок, а также судов, способных работать в широком диапазоне морских глубин континентального шельфа. Изложены основные требования к проектированию этих сооружений.

Подробно проанализированы технико-эксплуатационные и архитектурно-конструктивные особенности нефтегазовых сооружений с выявлением спецификационных достоинств, проблемных вопросов, перспективных направлений их развития.

Решение вышеуказанных проблем НГО в акватории СМП наряду с созданием стимулирующих условий для развития НГО позволит модернизировать систему НГО в арктических морях России, обеспечить необходимый уровень безопасности судоходства при увеличении грузопотока по СМП до 80 млн. т в 2024 г. и решение других задач, выполняемых различными ведомствами и организациями России для достижения стратегических целей и приоритетов на арктическом региональном направлении, определенных «Морской доктриной Российской Федерации», утвержденной Президентом РФ 17 июня 2015 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Решетняк С. В. История развития навигационно-гидрографического обеспечения в акватории Северного морского пути. – Ч. I.: Становление и развитие системы НГО в арктических морях России в 1930–1980-е гг. // Навигация и гидрография. – 2018. – № 53. – С. 24–33.
2. Решетняк С. В. Исторический очерк. – В кн.: 70 лет полярной гидрографии / Ред. С. В. Решетняк, В. И. Пересыпкин. – СПб.: Фортэкс групп. – 2003. – С. 3–32.
3. Решетняк С. В., Клюев Е. В. Комплексная система навигационно-гидрографического обеспечения арктического судоходства на рубеже XX–XXI вв.: Гл. 5. в кн. История мореплавания по трассе Северного морского пути в XX и начале XXI в. / А. А. Дмитриев, Ю. А. Горбунов, В. Т. Соколов. – СПб.: ИД Морская энциклопедия, 2015. – Т. III – Ч. II – С. 196–202.
4. Правила плавания по трассам Северного морского пути. – ГУНиО МО СССР, 1991, 23 с.
5. Решетняк С. В. Состояние и направления совершенствования навигационно-гидрографического обеспечения Северного морского пути. – Вторая Росс. науч.-техн. конф. «Современное состояние, проблемы навигации и океанографии»: тез. докладов. – СПб.: ГосНИНГИ Минобороны РФ, 1995, с. 9–10.
6. Федеральная целевая программа «Мировой океан» (Подпрограмма 8 «Транспортные коммуникации России в Мировом океане»). Утв. Постановлением Правительства РФ от 10 августа 1998 г. № 919 // Собр. законодательства Российской Федерации, № 33. – М.: Юридическая литература, 1998, ст. 4024.
7. Руководство для сквозного плавания судов по Северному морскому пути (№ 4151). – СПб.: ГУНиО МО РФ, 1995. – 412 с.
8. Сайт ФГУП «Гидрографическое предприятие», разделы Картографическое производство, объединенный арктический радионавигационный отряд, Арктическая служба АСНО и ИБМ, Комплексная арктическая гидрографическая экспедиция. – <http://www.hydro-state.ru/kartograficheskoe-proizvodstvo.html> (Посл. обращение – 17.12.2018 г.).
9. Указ Президента РФ от 7 мая 2018 г. № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года» (п. 15). – <http://www.kremlin.ru/acts/bank/43027/page/2> (Посл. обращение – 14.12.2018 г.).
10. Законопроект № 505745-7 «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации (об участии госкорпорации «Росатом» в функционировании Северного морского пути)». – <http://sozd.duma.gov.ru/bill/505745-7> (Посл. обращение – 17.12.2018 г.).
11. Решетняк С. В. Зона особого внимания. Навигационно-гидрографическое обеспечение в арктических морях в акватории Северного морского пути. – В кн.: Артерии Арктики. Транспорт региона вчера, сегодня, завтра. – М.: Вива-Стар, 2018, с. 194–201. ■

В СФЕРЕ ВНИМАНИЯ - СТУПЕНИ РАЗВИТИЯ И НОВАТОРСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ ОКЕАНОТЕХНИКИ

Р.Н. Караев. Океанотехника: системный анализ современного состояния и перспективы развития / Под науч. редакцией д-ра техн. наук, проф., заслуженного деятеля наук В.Н. Половинкина. – СПб.: Мор Вест, 2018. – 716 с.

Особое внимание уделено креативным подводным/подледным технологиям разработки месторождений как в незамерзающих бассейнах, так и в суровых условиях Арктики. Освещены основные требования к разработке подводных эксплуатационных систем. Приведены различные схемы этих систем, проанализированы основные условия их применимости и особенности формирования.

Широко исследованы инновационные направления разработки верхних строений платформ, а также техника и технология транспортировки и монтажа моно-, мегаблочных конструкций опорных оснований и верхних строений платформ в море.

С учетом специфики эксплуатации нефтегазовых сооружений изложены эргономические основы проектирования верхних строений и экологическая безопасность нефтяных платформ, а также вопросы сохранения человеческой жизни в акватории морских нефтегазовых промыслов.

Монография предназначена для широкого круга научных и инженерно-технических работников, занимающихся освоением морских нефтегазовых месторождений: проектировщиков, строителей и эксплуатационников, а также может быть использована преподавателями, аспирантами и студентами соответствующих высших учебных заведений. ■

23 ноября 2018 г. в ЦТСС состоялось собрание, на котором присутствовали директор или заместители директоров 34 предприятий–членов Ассоциации из 49, ответственный секретарь Морского Совета Петербурга Т. И. Чекалова, начальник отдела развития предприятий ОПК КППИ правительства Петербурга, представители НТО им. акад. А. Н. Крылова, председатели территориальных организаций профсоюзов С. П. Максименко и Н. С. Чалов, председатель Союза ветеранов судостроения Петербурга А. И. Затчаев, пресса и ТВ.

1. О состоянии и перспективах развития производства судового машиностроения доложил вице-президент ОСК Д. Ю. Колодяжный. Содокладчиком выступил Ф. А. Шамрай, директор Департамента развития судостроения (СПБГМТУ).

ОСК совместно с Санкт-Петербургским морским техническим университетом (СПбГМТУ) на высоком научном уровне выполнен детальный анализ состояния всех видов производства подотрасли «Судовое машиностроение» и подготовлена модель индустриального развития машиностроительных производств Группы ОСК в соответствии с целями, поставленными правительством.

Сделанные выводы позволили ОСК определить для себя основные направления работы, направленной на дальнейшее развитие всех видов производства судового машиностроения.

2. Проблеме совершенствования организации производства и повышения производительности труда в целях достижения конкурентноспособности отечественного судостроения был посвящен доклад председателя МПРиС Петербурга и Ленинградской области С. П. Максименко. Было отмечено, что

РЕШЕНИЯ СОВМЕСТНЫХ СОБРАНИЙ АССОЦИАЦИИ СУДОСТРОИТЕЛЕЙ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА И ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ И СЕКЦИИ ПО СУДОСТРОЕНИЮ МОРСКОГО СОВЕТА ПРИ ПРАВИТЕЛЬСТВЕ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

*Ассоциация судостроителей Санкт-Петербурга и Ленинградской области,
контакт. тел. (812) 786 1172*

профсоюзы как реальная социальная сила стремятся к развитию полноценного социального партнерства в целях совершенствования социально-трудовых отношений.

3. Затем председатель Союза ветеранов судостроения Санкт-Петербурга А. И. Затчаев доложил о том, что день прорыва морской минной блокады Ленинграда будет отмечаться 5 июня 2019 г. Намечено также издание 4-го выпуска историко-патриотической книги «В кают-компании». Это – результат планомерной работы по сохранению памяти о работе судостроителей в военные и первые послевоенные годы, а также по патриотическому воспитанию молодежи.

4. Генеральный директор Ассоциации МАРП «Моринформсистема» Н. Н. Андреев рассказал о программном обеспечении сервиса «Emart. Раздельный учет», который позволяет предприятиям, выполняющим госзаказ, автоматически формировать «Отчет об исполнении государственного контракта».

Методика такой отчетности, разработанная АО «Март-Консалтинг» в составе Ассоциации «Моринформсистема», размещена в интернете по адресу: www.emart.ru.

5. Далее о подготовке отчетно-выборного собрания предприятий–членов Ассоциации в феврале 2019 г. присутствующих проинформировал президент Ассоциации судостроителей В. Л. Александров.

В обсуждении докладов и сообщений приняли участие В. Л. Александров, Л. Г. Кузнецов, В. А. Никогосьянц и др.

Решение собрания:

1. Доклад Д. Ю. Колодяжного и доклад Ф. А. Шамрая принять к сведению и оказать поддержку разработанной ОСК совместно с СПбГМТУ модели индустриального развития машиностроительных производств Группы ОСК.

2. Рекомендовать руководителям предприятий–членов Ассоциации в своей работе руководствоваться Распоряжением Правительства РФ от 29.11.2017 г. по программе повышения производительности труда и поддержки занятости и активнее сотрудничать с региональными центрами компетенций в области производительности труда, сведения о которых размещены в интернете по адресу: www.rbc.ru.

3. Поручить исполнительной дирекции помочь Совету ветеранов судостроения Петербурга в определении источников финансирования издания подготовленной историко-патриотической книги.

4. Просить руководителей предприятий–членов Ассоциации высказать в письменной форме свое мнение по персональному составу нового руководства Ассоциации и представить его в исполнительную дирекцию. Срок – январь 2019 г.



Слева направо: Д. Ю. Колодяжный, В. Л. Александров, В. Г. Левченко

20 февраля 2019 г. в ЦТСС состоялось очередное общее собрание Ассоциации судостроителей Санкт-Петербурга и Ленинградской области и Секции по судостроению Морского Совета при Правительстве Санкт-Петербурга. На нем присутствовали директора и заместители директоров и представители 47 предприятий из 51 предприятия – члены Ассоциации.

1. С докладом о Государственной программе Санкт-Петербурга «Развитие промышленности, инновационной деятельности и агропромышленного комплекса в Санкт-Петербурге на период 2015–2020 гг. Итоги выполнения в 2018 г. и задачи судостроителей в 2019 г.» выступил председатель КППИ Правительства Санкт-Петербурга Ю. Ю. Калабин.



Ю.Ю. Калабин

2. О проблемах ценообразования при выполнении предприятиями ОПК гособоронзаказа доложил заместитель генерального директора судостроительного завода «Пелла», эксперт Ассоциации И. Л. Вайсман. Он отметил, что судостроительная отрасль (как часть ОПК) должна обеспечить:

- безусловное выполнение в установленных контрактами сроки всех заданий государственной программы вооружений по поставке кораблей и судов до 2025 г.;
- рост объемов производства на российских верфях современной высокотехнологичной гражданской мор-



Слева направо: Л.Г. Грабовец, Ю.Ю. Калабин, В.Л. Александров, В.Г. Левченко

ской техники до объемов не менее 30% к 2025 г. и 50% к 2030 г.;

- финансовую стабильность и развитие предприятий отрасли в период объективного снижения масштабов гособоронзаказа (ГОЗ). Основными проблемами, мешающими финансовой устойчивости, развитию мощностей и диверсификации предприятий отрасли, являются:
 - существенная закредитованность предприятий отрасли из-за высокой ставки привлечения кредитных средств (10–12%) и низкой прибыльности госзаказов (3–6% от полной себестоимости ГОЗ);
 - расчет прибыли сегодня ведется по нормативам действующих подзаконных актов без учета расходов на развитие мощностей и на обслуживание привлеченного на эти цели капитала, хотя это прямо предусмотрено федеральным законом ФЗ-275 (Ст. 10 п. 1. пп. 6)
- Полностью доклад И. Л. Вайсмана и предложения Ассоциации опубликованы в журнале (см. с. 29–31).
3. С отчетом исполнительной дирекции Ассоциации о работе в 2018 г. выступил исполнительный директор А. А. Юрчак.

Далее состоялись выборы руководящих органов Ассоциации. О сложении полномочий президента Ассоциации судостроителей Санкт-Петербурга и Ленинградской области сообщил В. Л. Александров.

Президентом Ассоциации избран генеральный директор АО «Центр технологии судостроения и судоремонта», кандидат технических наук М. В. Александров. Вице-президентами Ассоциации избраны председатель Совета директоров ПАО «СФ «Алмаз» Л. Г. Грабовец и генеральный директор ПАО «Выборгский судостроительный завод» А. С. Соловьев.

В. Л. Александров избран Почетным президентом Ассоциации судостроителей Санкт-Петербурга и Ленинградской области.

Решение собрания:

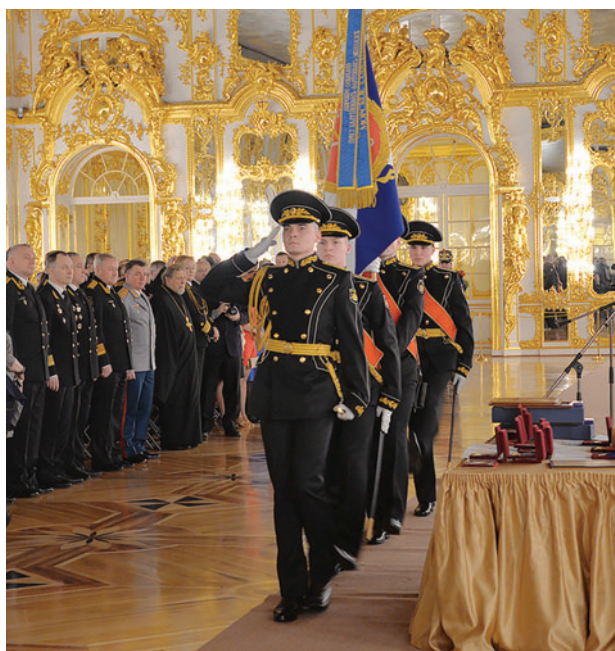
1. Сообщение председателя КППИ Правительства Санкт-Петербурга Ю. Ю. Калабина принять к сведению.
2. Предложения Ассоциации по второму пункту повестки собрания о разработке в 2019 г. и утверждении Государственной программы по диверсификации ОПК направить в адрес Совета безопасности РФ и Администрации Президента РФ. ■



8 февраля 2019 г. в Тронном зале Екатерининского дворца Государственного музея-заповедника «Царское Село» в г. Пушкин в честь 109-й годовщины создания Морского Собрания Санкт-Петербурга состоялась 48-я ассамблея Санкт-Петербургского Морского Собрания (СПб МС). Особую торжественность этому событию придавало праздничное освещение парадного фасада Екатерининского дворца со стороны Золотых ворот. Играл духовой оркестр, звучали марши и вальсы. Прибывающих на ассамблею гостей встречали дежурные старшины СПб МС, затем гости по золотой анфиладе парадных помещений выходили к Большому Тронному залу, перед которым их встречали председатель СПб МС Н. В. Орлов и генеральный директор ГМЗ «Царское Село», почетный член СПб МС О. В. Таратынова. На ассамблее присутствовал Главнокомандующий ВМФ России адмирал В. И. Королёв.

48-Я АССАМБЛЕЯ САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОГО МОРСКОГО СОБРАНИЯ

Г.А. Гребенщикова, д-р истор. наук, проф., историограф СПб МС, контакт. тел. (812) 312 5396



Внос Юбилейного знамённого флага Знамённой группой РПК ЗВО

После сбора всех приглашенных начался концерт солистов Мариинского театра в сопровождении Международного симфонического оркестра «Таврический» под управлением Михаила Голикова. В блестящем исполнении солистов Мариинского театра прозвучали песни на стихи русских поэтов и песни, связанные с морем и морской службой. По традиции ассамблеи концертная программа завершилась исполнением марша Радецкого Иоганна Штрауса.

Затем прозвучали фанфары, и председатель СПб МС Н. В. Орлов открыл ассамблею. По его команде Знаменная группа РПК ЗВО внесла Юбилейный знамённый флаг, затем был исполнен гимн Морского Собрания. Н. В. Орлов предоставил слово духовнику Морского Собрания настоятелю Никольского Богоявленского кафедрального собора протоиерею Богдану Сойко, который благословил работу ассамблеи и сердечно поблагодарил организаторов прекрасного вечера за дружескую и товарищескую атмосферу в зале. Он подчеркнул безусловную необходимость в таких встречах, во время которых происходит непринужденное общение друг с другом, а следовательно, возрастает и духовное единение людей, а также отметил важность сбережения христианских ценностей в масштабах всей России и выразил пожелание, чтобы Господь Бог сохранил нашу державу в мире и согласии. Закончил речь

отец Богдан словами: «Будем достойны величия и славы Божией и нашего народа».

С приветственным словом к присутствующим обратился Главнокомандующий ВМФ России В. И. Королёв. Он сердечно поздравил всех со 109-й годовщиной Морского Собрания, отметил памятную дату для нашего государства – 75 лет со дня полного освобождения Ленинграда от фашистской блокады и подчеркнул выдающуюся роль ВМФ в годы войны и блокады. В частности, Владимир Иванович напомнил о неocenимом вкладе ВМФ в разминирование Финского залива и во многих других операциях.

Далее Главнокомандующий ВМФ доложил о выполнении флотом учебно-боевых задач на современном этапе и особо остановился на том, что флот активно совершенствуется и развивается, идет его оснащение новыми видами вооружения и техники, например, впервые была успешно произведена стрельба межконтинентальной баллистической ракетой Р-30 «Булава». Кроме того, он рассказал о работе с подрастающим поколением и в рамках такой работы создания новых учебных баз по подготовке кадров, успешном функционировании Нахимовских училищ в Санкт-Петербурге, Владивостоке и Мурманске. Отметил В. И. Королёв и масштабные преобразования в культурно-образовательных учреждениях, связанных с историей ВМФ, таких как Центральный военно-морской музей, крейсер «Аврора», Центральная военно-морская библиотека, Морской Собор в Кронштадте.

Много и плодотворно в области патриотического воспитания трудятся ветеранские организации ВМФ, состоялся учебный поход корабля «Перекоп» по Северному морскому пути, динамично развивается движение «Юнармия», в рядах которого состоят уже свыше 90 юнармейских отрядов.

Особое внимание В. И. Королёв уделил введению в состав флота корабля «Меркурий», который получил наименование в честь легендарного 20-пушечного брига «Меркурий», участвовавшего в 1829 г. в героическом бою с двумя сильными турецкими кораблями – 110-и 74-пушечными. Главнокомандующий ВМФ доложил о подготовке Президентом РФ указа о присвоении кораблю «Меркурий»



Главнокомандующий ВМФ России адмирал В.И. Королёв

кормового Георгиевского флага, что станет прецедентом в современном флоте. Как особо подчеркнул В. В. Путин, крайне важно сохранять генетическую память россиян и не предавать забвению славную боевую летопись нашего флота.

В заключение В. И. Королёв пожелал всем крепкого флотского здоровья и побед во всех начинаниях, после чего прозвучал Парадный морской марш.

Далее Н. В. Орлов доложил о проделанной Морским Собранием работе в 2018 г. Его сотрудники принимали участие в научных конференциях, симпозиумах и «круглых столах», в работе с подрастающим поколением, с кадетскими классами и в реализации издательских проектов. Среди таких проектов Н. В. Орлов выделил издание книг для детей, посвященных памятным датам и событиям в истории Российского флота. В конце доклада он сообщил о подготовке к празднованию 250-летия Чесменской битвы.



Председатель Морского Собрания СПб Н. В. Орлов

По традиции после основного доклада председатель МС СПб представил его новых членов и зачитал приказы о награждении юбиляров орденами и медалями Морского Собрания и ценными подарками. Слово взял первый заместитель председателя Морского Собрания адмирал В. П. Иванов и зачитал приказы о награждении орденами и медалями СПб МС в честь его 109-й годовщины, а также за большую работу, проводимую членами Собрания, которая способствует выполнению уставных целей и задач.

В соответствии с Уставом и Положением о наградах Морского Собрания и решением Совета старшин награждены:

- орденом «За заслуги» 1-й степени генерал-полковник А. В. Картаполов, заместитель министра обороны РФ, начальник Главного военно-политического управления;

- орденом «За заслуги в морской деятельности» 1-й степени адмирал В. И. Королёв, Главнокомандующий ВМФ РФ; А. И. Пошивай, заместитель руководителя Агентства морского и речного транспорта (Росморречфлот); А. А. Шнуренко, коммерческий директор ОАО «Канонерский судоремонтный завод»;

- орденом «За заслуги» 2-й степени адмирал А. М. Носатов, командующий БФ; Н. Ю. Кормилицин, генеральный директор ЗАО «Барс»; И. А. Глухов, генеральный директор «Интермарин Круиз & Ферри Менеджмент Корп»;

- орденом «За воинскую доблесть» 2-й степени А. М. Малашевич, директор яхт-клуба «Галерная гавань»; полковник Н. Н. Рыжман, заместитель начальника Военно-медицинской академии имени С. М. Кирова;

- орденом «За трудовую доблесть» 2-й степени В. И. Мартыненко, председатель Совета директоров «Групп-



Почетный член СПб МС, командующий войсками Западного военного округа, Герой Российской Федерации, генерал-полковник А. А. Журавлев

па охранных предприятий»; Е. Б. Шулепов, депутат Государственной Думы;

- орденом «За заслуги в морской деятельности» 2-й степени вице-адмирал В. Л. Касатонов, начальник ВУНЦ ВМА; Ю. А. Цветков, заместитель министра транспорта РФ – руководитель Федерального агентства морского и речного транспорта; М. А. Володин, генеральный директор по безопасности ОАО «Концерн «Океанприбор»; В. А. Хорошев, начальник Управления внешних связей ОАО «Концерн «НПО «Аврора».

- Золотой медалью «Петр Великий» А. В. Грошиков, генеральный директор «Исторической верфи «Полтава».

За заслуги по службе в ВМФ РФ и СПб МС и в связи с 70-летием награжден орденом «За воинскую доблесть» 1-й степени и ценным подарком почетный член Морского Собрания адмирал Ю. Н. Сысуев.

За добросовестный труд, большой личный вклад в развитие ООО «Судоходная компания «Вилуя» (г. Нюрба, Саха Якутия), проведение огромной работы по привлечению новых инноваций для развития порта, безупречное служение СПб МС и в связи с 70-летием награжден орденом «За заслуги» 1-й степени и ценным подарком действительный член Морского Собрания М. В. Малюшин.

За преданную службу в ВМФ и активное участие в работе СПб МС в связи с 60-летием награжден почетный член СПб МС вице-адмирал А. Н. Федотенков высшим орденом Морского Собрания «Орденский знак» и ценным подарком.

В заключение торжественной части в соответствии с «Положением о проведении конкурса на соискание «Литературной премии СПб МС» было присвоено звание «Лауреат литературной премии» за 2018 г. И. А. Лещенко – автору книг «Военно-морской флот России. 320 лет» (изд. в 2016 г.), и «Черноморский флот. Исторический рубеж 2013–2018 гг.» (2018 г.) с вручением диплома.

Морское Собрание продолжает оказывать материальную помощь воинским частям и соединениям ВМФ РФ, военно-морским и морским учебным заведениям, морским учреждениям.

Члены Морского Собрания принимали активное участие в подготовке и проведении празднования 100-летнего юбилея соединения подводных лодок в Кронштадте, оказало финансовую помощь в изготовлении юбилейных материалов, наградило ветеранов-подводников и военнослужащих соединения орденами и медалями Морского Собрания. ■

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 безвозмездной основе.

4. Контрольное рецензирование этих статей осуществляет редакционная коллегия с привлечением при необходимости профильных специалистов. Рецензии на статьи хранятся в редакции журнала в течение 5 лет.

5. В случае отказа в публикации автору высылается рецензия. Копии рецензий направляются в Минобрнауки России при поступлении соответствующего запроса в редакцию журнала.

6. Содержание журнала ежеквартально представляется на рассмотрение редакционному совету. Решение о выпуске очередного номера оформляется протоколом.

РЕФЕРАТЫ

УДК 629.5 **Ключевые слова:** ЦМКБ «Алмаз», морской тральщик, постройка, опытовое судно

Д.Е. Цыганков. Краткие итоги деятельности АО «ЦМКБ «Алмаз» в 2018 году//Морской вестник. 2019. № 1 (69). С. 6

О значимых для ЦМКБ «Алмаз» событиях: сдаче флоту морских тральщиков «Иван Антонов», «Шквал», «Буря», закладке морского тральщика «Петр Ильичёв», спуске на воду ПСКР «Керчь» и др. Ил. 8.

УДК 629.124 **Ключевые слова:** ледяной покров, ледовый опытовый бассейн, модель естественного льда, проломная нагрузка, теория моделирования, Арктика

Е.М. Апполонов, А.Б. Ваганов, Б.П. Ионон, Ю.П. Кузнецов, А.Г. Ларин, Ю.Ф. Орлов. Экспериментальное исследование погружения подводного судна во льду//Морской вестник. 2019. № 1 (69). С. 10

Описана экспериментальная установка для исследования возможности погружения подводного судна, вмержшего в лед, представлены модели подводного судна. При моделировании использованы современные методы регистрации и записи исследуемых параметров. Приведены теоретические основы для пересчета результатов модельного эксперимента в естественном льду на натурное судно. Полученные данные при моделировании погружения позволяют оценить возможность погружения подводного судна во льдах. Показано влияние отдельных параметров на величину проломного усилия. На основе полученных результатов можно дать рекомендации по эксплуатации подводных судов в ледовых условиях, и капитан судна сможет принять решение о возможности экстренного погружения под воду. Ил. 3. Библиогр. 10 назв.

УДК 629.127 **Ключевые слова:** автономный необитаемый подводный аппарат, система регулирования плавучести, подруливающие устройства

И.И. Ремизов, И.В. Говорун. Об оценке целесообразности использования системы регулирования плавучести подводного аппарата на основе принципа изменения его объема//Морской вестник. 2019. № 1 (69). С. 14

Рассмотрена проблема регулирования плавучести автономного необитаемого подводного аппарата с помощью изменения его объема. Смоделировано всплытие подводного аппарата с глубины 3000 м с использованием системы регулирования плавучести. Приведен метод оценки объема заместительной емкости. Т. 1. Ил. 10. Библиогр. 12 назв.

УДК 629.5.01:656.6 **Ключевые слова:** утилизация, выбитие, списание, речное круизное пассажирское судно, возраст, авария, прогноз, новые концепты, модернизация, конверсия

Г.В. Егоров, А.Г. Егоров. Анализ закономерностей списания речных круизных судов и прогноз состава речного флота с определением наиболее востребованных типов судов для конверсии и модернизации//Морской вестник. 2019. № 1 (69). С. 21

Выполнен анализ списания речных круизных судов основных «классических» проектов. Дан прогноз

по составу пассажирского флота в среднесрочной перспективе. Предложены к строительству оптимальные для существующей конъюнктуры типы судов и рекомендованы суда для продления их срока службы за счет конверсии и модернизации. Т. 5. Ил. 12. Библиогр. 7 назв.

УДК 338.5.6.65.011.56:629.12 **Ключевые слова:** предприятие, ОПК, развитие, диверсификация, проблемы, решения

И.Л. Вайсман, А.А. Юрчак. О развитии и диверсификации предприятий оборонно-промышленного комплекса (проблемы и пути их решения)//Морской вестник. 2019. № 1 (69). С. 29

Посвящена проблемам развития и диверсификации ОПК и закрепитованности предприятий судостроительной промышленности. Изложены предложения Ассоциации судостроителей Санкт-Петербурга и Ленинградской области по первоочередному решению проблемы диверсификации и внесению изменений в ряд федеральных законов.

УДК 629.05.081 **Ключевые слова:** Арктика, кооперация, строительство, технология, СПГ, верфь, САПР, импортозамещение

К.О. Будников. Кооперационное взаимодействие предприятий при строительстве судов с учетом актуальных мировых тенденций//Морской вестник. 2019. № 1 (69). С. 35

Проанализирована необходимость и возможность строительства крупнотоннажных судов в кооперации с несколькими производителями в России. Рассмотрены мировые тенденции и возможности предприятий Северо-Западного региона, а также предложено несколько решений проблемы кооперационного взаимодействия. Т. 1. Ил. 3. Библиогр. 3 назв.

УДК 623.838.2 **Ключевые слова:** палуба, деревянный настил, деревянно-полимерный композит, террасная доска, судостроение, судоремонт

А.С. Мешков. Анализ применения деревянных настилов открытых участков палуб надводных кораблей и судов ВМФ//Морской вестник. 2019. № 1 (69). С. 39

О возможности замены деревянного настила палуб кораблей и судов новым деревянно-полимерным материалом. Ил. 7. Библиогр. 2. назв.

УДК 613.6+613.8 **Ключевые слова:** судостроительное производство, рабочие места, усталость, эффективность работы, риск здоровью

Г.А. Сорокин, В.Л. Суслев. Системы управления риском усталости на рабочем месте для безопасности при организации судостроительного производства//Морской вестник. 2019. № 1 (69). С. 43

Об актуальности использования при организации судостроительного производства практики и теории систем управления риском утомления на рабочем месте (Fatigue Risk Management System (FRMS)). Проанализированы основные аспекты существующих FRMS: терминология; распространенность, роль в организации производства; ключевые характеристики и структура; основные положения и достоинства. Приведены данные собственных исследований взаимосвязи эффективности и здоровья работни-

ков судоверфи с их усталостью, а также результаты анализа профессиональных и непрофессиональных причин их утомления. В основных производственных цехах у рабочих и специалистов риск усталости высокий, а у мастеров – очень высокий. Т. 4. Ил. 1. Библиогр. 14 назв.

УДК 629.5 **Ключевые слова:** академик А.А. Саркисов, биография

В.Н. Половинкин. Флагману корабельных инженеров-механиков ВМФ России – 95 лет. К юбилею академика А.А. Саркисова//Морской вестник. 2019. № 1 (69). С. 48

О вкладе академика А.А. Саркисова в становление и развитие отечественной транспортной судовой и корабельной атомной энергетики, в подготовку корабельных инженеров для атомного флота России. Ил. 2

УДК 623.85 **Ключевые слова:** тепловой цикл, потенциальная эффективность, экономичность, эволюционное развитие, передовые технологии

А.А. Бабичев. Проблемы реализации потенциальных возможностей теплового цикла в перспективных корабельных газотурбинных двигателях//Морской вестник. 2019. № 1 (69). С. 51

Рассмотрены характеристики современных корабельных газотурбинных двигателей (ГТД), определены потенциальные возможности и проблемы совершенствования теплового цикла в перспективных корабельных ГТД. На основе анализа ряда работ, существующих методов реализации потенциальных возможностей теплового цикла в перспективных корабельных ГТД определены проблемы, требующие дополнительного изучения. Показаны возможности использования накопленного опыта проектирования и эксплуатации корабельных ГТД и обоснования их характеристик. Особое внимание уделено реализации потенциальных возможностей теплового цикла в перспективных корабельных ГТД. Т. 1. Ил. 11. Библиогр. 4 назв.

УДК: 623.933 **Ключевые слова:** АО «СПМБМ «Малахит», подводная лодка, пусковая установка, силовой привод, силовая установка, линейный электродвигатель, внутренняя баллистика, параметрическая оптимизация

А.А. Борискин. Параметрическая оптимизация силового привода малогабаритной пусковой установки//Морской вестник. 2019. № 1 (69). С. 57

Описано техническое решение пусковой установки с силовым приводом на основе линейного электродвигателя. Для данного решения создана математическая модель внутренней баллистики и предложен алгоритм оптимизации параметров силового привода. Ил. 6. Библиогр. 3 назв.

УДК 621.77.04 **Ключевые слова:** степень наклёпа, поверхностное пластическое деформирование, твердость поверхности, шероховатость поверхности

П.Г. Васильев, Д.А. Лебедев, С.С. Остапенко, О.А. Голубенко. Обеспечение требуемого ресурса трехэксцентриковых дисковых затворов//Морской вестник. 2019. № 1 (69). С. 61

Приведены результаты экспериментальных работ по определению степени наклепа поверхностных слоев изделий из бронзы при поверхностном пластическом деформировании методом раскатки. Т. 1. Ил. 5. Библиогр. 2 назв.

УДК 629.12.06 **Ключевые слова:** валопровод, осевые колебания, упорный подшипник, масляный слой, уравнения гидродинамики, метод конечных разностей, коэффициенты демпфирования и податливости, метод конечных элементов

В.К. Румб, Хоанг Ван Ты. Определение упругих и демпфирующих свойств упорного подшипника при расчете осевых колебаний судовых валопроводов//Морской вестник. 2019. № 1 (69). С. 64

Отмечены трудности расчетов осевых колебаний судовых валопроводов, связанные с неопределенностью определения жесткости и демпфирования упорных подшипников. Рассмотрены методика решения дифференциальных уравнений гидродинамики масляного слоя и основные положения аппроксимации этих решений. Особое внимание уделено оценке точности расчета коэффициентов жесткости и демпфирования с помощью полученных аппроксимирующих зависимостей. Их наличие делает расчет осевых колебаний судовых валопроводов оперативным. Показана значительная роль масляного слоя в осевой податливости всего упорного подшипника. Т. 1. Ил. 8. Библиогр. 7 назв.

УДК 621.18 **Ключевые слова:** технический газ, корабельные условия, генерация, холодильная тепловая машина, разработка

Л.А. Малышев, В.С. Дворцов. Приготовление технических газов в корабельных условиях//Морской вестник. 2019. № 1 (69). С. 69

Знакомит с разработкой и внедрением холодильной тепловой машины Стерлинга с термокамерой, которая может использоваться в корабельных условиях для генерации технических газов. Т. 1. Ил. 7. Библиогр. 3 назв.

УДК 629.123 **Ключевые слова:** гребной винт, пропульсивный комплекс, струйное воздействие, главный двигатель, корпус судна

А.С. Шаратов. Совершенствование пропульсивного комплекса по параметрам гребного винта путем дополнительного струйного воздействия воды, подаваемой на лопасти//Морской вестник. 2019. № 1 (69). С. 72

Проанализирован метод воздействия на гребной винт с целью снижения потерь при взаимодействии элементов пропульсивного комплекса в изменяющихся условиях эксплуатации. Обосновано положение щелевой насадки для струйного воздействия и дана качественная оценка теплонагруженности главного двигателя. Ил. 7. Библиогр. 21 назв.

УДК 623.82 **Ключевые слова:** корабельный комплекс приема и обработки информации, распознавание вида источника радиоизлучений, береговая черта, совместная обработка сигнальных и координатных признаков, критерии максимума функции правдоподобия и максимума апостериорной вероятности

Г.А. Коржавин, Ю.Ф. Подоплёткин, О.Г. Мальцев. Использование координатных признаков для повышения вероятности распознавания вида источника радиоизлучений//Морской вестник. 2019. № 1 (69). С. 79

Исследуются эффективность и качество распознавания вида источника радиоизлучений («корабельный» или «береговой»), отображаемого на индикаторе корабельного комплекса приема и обработки информации от внешнего источника на фоне береговой черты. Предлагается байесовское решающее правило распознавания, основанное на совместной обработке сигнальных и координатных признаков.

Приводятся полученные статистическим моделированием на ПЭВМ оценки вероятностей правильного и ошибочного распознавания корабельного источника радиоизлучений. Т. 2. Ил. 1. Библиогр. 3 назв.

УДК 681.518:629.12 **Ключевые слова:** интегрированная система управления, интегрированная мостиковая система, комплексная система управления, система управления движением и маневрированием, системы электропитания, морские подвижные объекты

В.М. Амбросовский, Д.В. Казунин. Интегрированная система управления морскими подвижными объектами//Морской вестник. № 1 (69). С. 83

Рассмотрены особенности построения интегрированных систем управления морскими подвижными объектами, включающих интегрированную мостиковую систему, комплексную систему управления и подсистему обобщенной аварийно-предупредительной сигнализации, систему управления движением и маневрированием и системы электропитания, определены основные структурные особенности этих систем, приведены типовые секции интегрированной мостиковой системы, приборы комплексной системы управления и обобщенной аварийно-предупредительной сигнализации. Ил. 11. Библиогр. 4 назв.

УДК 004.04 + 621:640 **Ключевые слова:** моделирование, силовые установки, дизели, верификация математических моделей, идентификация

В.В. Новиков, К.Н. Осипов, Н.И. Варминская. Стохастическое моделирование сложных технических систем по результатам измерений//Морской вестник. 2019. № 1 (69). С. 88

Предложен метод построения стохастических математических моделей сложных корабельных технических систем по результатам измерения физических параметров, однозначно характеризующих их техническое состояние в равноотстоящие дискретные промежутки времени, а также обеспечение повышения их надежности и безопасной эксплуатации. Ил. 5. Библиогр. 9 назв.

УДК 614.843 **Ключевые слова:** прогнозирование состояния сложной технической системы, детерминированное наблюдение и стохастическая фильтрация, фильтр Калмана, рекурсивные оценки с конечной памятью, робастный коэффициент передачи, рекуррентно-взвешенный МНК, локально-полиномиальное сглаживание, фильтр с постоянным коэффициентом передачи

В.А. Колесник, А.В. Макшанов. Возможные пути решения проблемы динамической и статистической неопределенностей при решении задач оценки состояния технических систем и прогнозирования его изменения//Морской вестник. 2019. № 1 (69). С. 92

Рассмотрены проблемы статистической и динамической неопределенности алгоритмов оценки состояния сложных технических систем, а также прогнозирования его изменения. Выполнен анализ модификаций фильтров Калмана, позволяющих решать эти проблемы. Библиогр. 7 назв.

УДК 517.9:629.5 **Ключевые слова:** технические средства освоения океана, динамические характеристики, контроль, базис, управленческое решение, проблема, парадоксы

Ю.И. Нечаев. Проблемы и парадоксы нормирования динамических характеристик судна в нестационарной среде на основе современной компьютерной математики//Морской вестник. 2019. № 1 (69). С. 99

Обсуждаются проблемы и парадоксы, возникающие при контроле динамических характеристик судов и плавающих технических средств освоения океана. Основное внимание обращается на построение критериального базиса, обеспечивающего поддержку принятия управленческих решений в центре

экстренных вычислений и бортовых интеллектуальных системах новых поколений. Практические приложения связаны с совершенствованием системы нормирования динамических характеристик в условиях неопределенности и неполноты исходной информации. Ил. 6. Библиогр. 10 назв.

УДК 681.51 **Ключевые слова:** ЦНИИ СМ, система управления, моделирование, погружной буровой комплекс, горизонтирование, оператор, спуск, подъем, манипуляции

М.А. Александров, Е.Н. Ефремов, А.А. Ивлев, Д.С. Сверчков. Разработка системы управления погружного бурового комплекса//Морской вестник. 2019. № 1 (69). С. 105

Рассмотрены результаты разработки системы управления погружного бурового комплекса (ПБК). Представлено моделирование операций спуска/подъема, горизонтирования, бурения, а также продемонстрированы соответствующие им экраны на пульте управления. Т. 2. Ил. 10. Библиогр. 4 назв.

УДК 627.71 **Ключевые слова:** измерение глубин, профиль скорости звука, система вертикального профилирования

Н.А. Нестеров, С.А. Груничев, Дмитрий Екимов. Система для измерения вертикального профиля скорости звука на ходу//Морской вестник. 2019. № 1 (69). С. 111

Описана возможность получения оперативной информации о скорости звука в воде с помощью системы вертикального профилирования компании Deck Engineering OU, без покладки в дрейф, на ходу судна. Конструкция системы позволяет доработку под конкретные требования заказчика. Возможно комплектование системы различными океанографическими датчиками для измерения гидрофизических и гидрохимических параметров. Ил. 1. Библиогр. 3 назв.

УДК 621.83; 62-231; 681.532 **Ключевые слова:** прибор-датчик, малогабаритные зубчатые передачи, полимерные композиционные материалы, конусно-клиновые зубчатые венцы передачи

В.А. Зинков, В.М. Медунецкий. Повышение точности электромеханического прибора-датчика для измерения угла поворота судового оборудования//Морской вестник. 2019. № 1 (69). С. 112

Приведено описание прибора-датчика, предназначенного для выдачи информации об угле поворота судового оборудования, который имеет два блока: механический преобразователь вращения (редуктор) и поворотный оптический энкодер. Приведены различные способы повышения показателей качества механического блока. Исследования показали, что имеется возможность повысить точность измерения угла положения судового оборудования, если в редукторе использовать конусно-клиновые зубчатые венцы в редукторе данного прибора-датчика. Ил. 3. Библиогр. 12 назв.

УДК 551.48 **Ключевые слова:** акватория Северного морского пути, навигационно-гидрографическое обеспечение, гидрографическая изученность, средства навигационного оборудования, информация по безопасности мореплавания

С.В. Решетняк. История развития навигационно-гидрографического обеспечения в акватории Северного морского пути. Часть 2: Комплексная система НГО акватории СМП в конце XX – начале XXI в. (1990 г. – настоящее время)//Морской вестник. 2019. № 1 (69). С. 117

К 85-летию со дня образования в 1933 г. Гидрографического управления Главного управления Северного морского пути при Совете Народных Комиссаров СССР. Рассмотрены проблемы и достижения комплексной системы НГО в сложные для полярной гидрографии 90-е гг. и с начала XXI в. по 2018 г. Ил. 10. Библиогр. 11 назв.

1. Authors shall submit articles of up to 20,000 characters, including figures, in electronic form. The text shall be typed in MS Word under Windows, formulas – in the equation editor «MathType.» Illustrations present in the article shall be submitted additionally, in the following formats: TIFF CMYK (full color), TIFF GRAYSCALE (grayscale), TIFF BITMAP (dashed), EPS, JPEG, with resolution of 300 dpi for grayscale figures and 600 dpi for dashed ones and in sizes desired for placement.

2. Articles shall contain an abstract of up to 300 characters, keywords, and bibliographic library UDC identifier. Authors shall indicate their degree, academic status, place of employment, job position, and telephone number, as well as provide a written permission of the Editor to place articles on the Internet and in the Scientific Electronic Library after publication in the journal. Articles shall be submitted with reviews.

3. The articles of postgraduate and degree-seeking students shall be accepted for publication on a free and royalty-free basis.

4. The control review of these articles shall be performed by the editorial board, with the assistance of dedicated experts, if necessary. Reviews of articles are stored in editorial office of the magazine within 5 years.

5. In case of refusal to publish articles, reviews shall be sent to authors. Copies of reviews go to the Ministry of Education and Science of the Russian Federation at receipt of the corresponding inquiry in editorial office of the magazine.

6. The contents of the journal shall be submitted to the editorial board quarterly. The decision concerning the next issue of the journal shall be formally established with the protocol.

ABSTRACTS

UDC 629.5 **Keywords:** Almaz Central Marine Design Bureau, seaminesweeper, construction, trialvessel.

D.E. Tsygankov. Brief results of the activities of JSC CMDB Almazin 2018//Morskoy Vestnik. 2019. № 1 (69). P.6

About significant events for AlmazCMDB the delivery of the fleet of sea minesweepers «Ivan Antonov», missile ships «Squalb», «Storm», the laying of the sea minesweeper «PyotrIlyichev», the launching of border guard ship «Kerch», etc. Fig.6.

UDC 629.124 **Keywords:** ice cover, ice experience basin, natural ice model, break load, modeling theory, Arctic

E.M. Appolonov, A.B. Vaganov, B.P. Ionov, Yu.P. Kuznetsov, A.G. Larin, Yu.F. Orlov. Experimental study of diving underwater ship in the ice//Morskoy Vestnik. 2019. № 1 (69). P.10

An experimental setup is described to investigate the possibility of submerging a submarine frozen into ice; models of the submarine are presented. In modeling, modern methods of recording and recording parameters under study were used. Theoretical bases for recalculating the results of a model experiment in natural ice onto a full-scale vessel are given. The data obtained in the simulation of immersion allow us to estimate the possibility of submerging a submarine in the ice. The effect of individual parameters on the magnitude of the breaking force is shown. Based on the results obtained, it is possible to make recommendations on the operation of underwater vessels in ice conditions, on the basis of which the captain of the vessel can decide on the possibility of emergency submersion of the vessel. Fig.3. Bibliography 10 titles.

UDC 629.127 **Keywords:** autonomous uninhabited underwater vehicle, buoyancy control system, thrusters

I.I. Remizov, I.V. Govorun. On assessing the feasibility of using a system for controlling the buoyancy of an underwater vehicle based on the principle of changing its volume.//Morskoy Vestnik.2019.№ 1 (69). P.14

The problem of regulating the buoyancy of an autonomous uninhabited underwater vehicle by changing its volume is considered. Simulated ascent of the underwater vehicle from a depth of 3000 m using the buoyancy control system. A method for estimating the volume of replacement capacity is given.T.1. Fig.10. Bibliography 12 titles.

UDC 629.5.01:656.6 **Keywords:** utilization, disposal, decommissioning, river cruise passenger ship, age, accident, forecast, new concepts, modernization, conversion

G.V. Egorov, A.G. Egorov. Analysis of the regularities of the write-off of river cruise ships and the forecast of the composition of the river fleet with the definition of the most popular types of vessels for conversion and

modernization//Morskoy Vestnik. 2019. № 1 (69). P.21

The analysis of the write-off of river cruise ships of the main "classic" projects was carried out. Given the forecast for the composition of the passenger fleet in the medium term. The types of vessels that are optimal for the existing conjuncture were proposed for construction, and vessels were recommended for extending their service life through conversion and modernization.T.5. Fig.12. Bibliography 7 titles.

UDC 338.5.6.65.011.56: 629.12 **Keywords:** enterprise, defense industry, development, diversification, problems, solutions

I.L. Vaisman, A.A. Yurchak. On the development and diversification of enterprises of the military-industrial complex (problems and solutions)//Morskoy Vestnik. 2019. № 1 (69). P.29

Dedicated to the problems of development and diversification of the defense industry and the debt of the shipbuilding industry. The proposals of the Association of Shipbuilders of St. Petersburg and the Leningrad Region on the priority solution to the problem of diversification and amending a number of federal laws are set out.

UDC 629.05.081 **Keywords:** Arctic, cooperation, construction, technology, LNG, shipyard, CAD, import substitution

K.O. Budnikov. Cooperative interaction of enterprises in the construction of ships with current global trends.//Morskoy Vestnik. 2019. № 1 (69). P.35

The necessity and possibility of building large-capacity vessels in cooperation with several manufacturers in Russia are analyzed. The global trends and opportunities of enterprises in the North-West region are considered, and several solutions to the problem of cooperation are proposed.T.1. Fig.3. Bibliography 3 titles.

UDC 623.838.2 **Keywords:** deck, wooden flooring, wooden-polymer composite, decking, shipbuilding, ship repair

A.S. Meshkov. Analysis of the use of wooden decking open areas of decks of surface ships and ships of the Navy//Morskoy Vestnik. 2019. № 1 (69). P.39

On the possibility of replacing the wooden flooring of the decks of ships and vessels with a new wooden-polymer material. Fig.7. Bibliography 2 titles.

UDC 613.6 + 613.8 **Keywords:** shipbuilding production, workplaces, fatigue, work efficiency, health risk

G.A. Sorokin, V.L. Suslov. Systems for managing risk of fatigue in the workplace for safety in the organization of shipbuilding production//Morskoy Vestnik. 2019. № 1 (69). P.43

On the relevance of the use of the Fatigue Risk Management System (FRMS) in the organization of shipbuilding production practices and the theory of risk management systems for fatigue. The main aspects of existing FRMS are analyzed: terminology, prevalence, role in production organization, key characteristics and

structure; There are data from our own research on the relationship between the efficiency and health of shipyard workers and their fatigue, as well as the results of an analysis of professional and non-professional people. For the main reasons for workers' fatigue, in the main production workshops, workers and specialists have a high risk of fatigue, and very high risks for craftsmen.T.4. Fig.1. Bibliography 14 titles.

UDC 629.5 **Keywords:** academician A.A. Sarkisov, biography

V.N. Polovinkin. The flagship of the naval engineers of the Russian Navy is 95 years old. On the anniversary of Academician A.A. Sarkisov//Morskoy Vestnik. 2019. № 1 (69). P.48

On the contribution of Academician A.A. Sarkisov in the formation and development of the domestic transport ship and ship nuclear power engineering, in the training of ship engineers for the Russian nuclear fleet. Fig.2

UDC 623.85 **Keywords:** thermal cycle, potential efficiency, efficiency, evolutionary development, advanced technologies

A.A. Babichev. Problems of realization of the potential of the heat cycle in promising ship gas turbine engines//Morskoy Vestnik. 2019. № 1 (69). P.51

The characteristics of modern ship gas turbine engines (GTE) are considered, potential capabilities and problems of improving the thermal cycle in prospective ship GTEs are identified. Based on the analysis of a number of works and existing methods for realizing the potential of the thermal cycle in prospective shipboard gas turbine engines, problems that require additional study are identified. The possibilities of using the accumulated experience in designing and operating shipboard gas turbine engines and justifying their characteristics are shown. Particular attention is paid to the realization of the potential of the thermal cycle in promising shipboard gas turbine engines.T.1. Fig.11. Bibliography 4 titles.

UDC: 623.933 **Keywords:** JSC SPMDB Malachite, submarine, launcher, power drive, power plant, linear electric motor, internal ballistics, parametric optimization

A.A. Boriskin. Parametric optimization of the power drive of a small-sized launcher//Morskoy Vestnik. 2019. № 1 (69). P.57

The technical solution of a launcher with a power drive based on a linear electric motor is described. For this solution, a mathematical model of internal ballistics has been created and an algorithm for optimizing the parameters of a power drive has been proposed. Fig.6. Bibliography 3 titles.

UDC 621.77.04 **Keywords:** degree of hardening, surface plastic deformation, surface hardness, surface roughness

P.G. Vasil'ev, D.A. Lebedev, S.S. Ostapenko, O.A. Golubenko. Providing the required resource of three-eccentric butterfly valves//Morskoy Vestnik. 2019. № 1 (69). P.61

The results of experimental work to determine the degree of hardening of the surface layers of bronze products during surface plastic deformation by rolling.T.1. Fig.5. Bibliography 2 titles.

UDC 629.12.06 **Keywords:** shafting, axial vibrations, thrust bearing, oil layer, hydrodynamic equations, finite difference method, damping and compliance coefficients, finite element method

V.K. Rumb, Hoang Wang Ty. Determination of the elastic and damping properties of the thrust bearing when calculating the axial oscillations of ship shafting//Morskoy Vestnik. 2019. № 1 (69). P.64

The difficulties of calculating the axial vibrations of ship shaft lines are noted, which are associated with the uncertainty of determining the stiffness and damping of the thrust bearings. The methods of solving the differential equations of the hydrodynamics of the oil layer and the main provisions of the approximation of these solutions are considered. Particular attention is paid to assessing the accuracy of the calculation of stiffness and damping coefficients using the obtained approximating dependencies. Their presence makes the calculation of axial vibrations of ship shafting operational. The significant role of the oil layer in the axial compliance of the entire thrust bearing is shown.T.1. Fig.8. Bibliography 7 titles.

UDC 621.18 **Keywords:** technical gas, ship conditions, generation, refrigerating heat engine, development

L.A. Malyshev, V.S. Dvortsov. Preparation of technical gases in ship conditions//Morskoy Vestnik. 2019. № 1 (69). P.69

It introduces the development and implementation of a Stirling refrigeration heat engine with a heat chamber that can be used in ship conditions for the generation of industrial gases.T.1. Fig.7. Bibliography 3 titles.

UDC 629.123 **Keywords:** propeller, propulsion complex, jet impact, main engine, ship hull

A.S. Sharatov. Improving the propulsion complex on the parameters of the propeller by the additional jet effect of the water supplied to the blades//Morskoy Vestnik. 2019. № 1 (69). P.72

The method of influence on the propeller screw is analyzed with the aim of reducing losses in the interaction of elements of the propulsion complex in varying operating conditions. The position of the slit nozzle for jet impact is substantiated and a qualitative estimate of the thermal load of the main engine is given. Fig.7. Bibliography 21 titles.

UDC 623.82 **Keywords:** shipboard data received and processing complex, recognition of type of radioemission source, coastline, jointly signal-features and coordinates processing, maximum criteria of likelihood function and of a posteriori probability

G.A. Korzhavin, Yu.F. Podoplyokin, O.G. Maltsev. Use of coordinate signs for improving probability of recognition of type of radioemission source//Morskoy Vestnik. 2019. № 1 (69). P.79

Efficiency and quality of recognition of the type of a radio emission source («shipboard» or «coastal») mapped on the indicator of shipboard data received and processing complex of the external information source on the background of coastline are studied. Bayesian recognition decision rule based on the

jointly signal-features and coordinates processing is proposed. Estimates of probability of proper and mistaken recognition of shipboard radioemission source obtained by means of statistic modeling are given.T.2. Fig.1. Bibliography 3 titles.

UDC 681.518:629.12 **Keywords:** ship integrated control system, integrated marine system, control alarm and monitoring system, ship motion control, power electric system, marine motion vehicle

V.M. Ambrosovsky, D.V. Kazunin. Integrated control system of marine motionvehicle//Morskoy Vestnik. № 1 (69). P.83

The features of integrated control system of marine motion vehicles, which include integrated navigation system, control alarm and monitoring system and vehicle motion control system are considered. The structures of these systems and typical section of integrated navigation system and section and devices of control alarm and monitoring system are given. Fig.11. Bibliography 4 titles.

UDC 004.04 + 621: 640 **Keywords:** modeling, power plants, diesel engines, verification of mathematical models, identification

V.V. Novikov, K.N. Osipov, N.I. Varminskaya. Stochastic modeling of complex technical systems based on measurement results//Morskoy Vestnik. 2019. № 1 (69). P.88

A method for constructing stochastic mathematical models of complex shipboard technical systems based on the results of measuring physical parameters that uniquely characterize their technical condition at equally spaced discrete time intervals, as well as to ensure their reliability and safe operation, is proposed. Fig.5. Bibliography 9 titles.

UDC 614.843 **Keywords:** complex technical system prediction, deterministic observation and stochastic filtering, Kalman filter, recursive estimates with finite memory, robust transfer coefficient, recurrent weighted OLS, local polynomial smoothing, filter with constant transfer coefficient

V.A. Kolesnik, A.V. Makshanov. Possible solutions to the problem of dynamic and statistical uncertainties in solving problems of assessing the state of technical systems and predicting its change//Morskoy Vestnik. 2019. № 1 (69). P.92

The problems of statistical and dynamic uncertainty of algorithms for assessing the state of complex technical systems, as well as forecasting its change, are considered. The analysis of Kalman filter modifications that allow to solve these problems is performed. Bibliography 7 titles.

UDC 517.9: 629.5 **Keywords:** technical means of ocean development, dynamic characteristics, control, basis, managerial decision, problem, paradoxes

Yu.I. Nechaev. Problems and paradoxes of rationing the dynamic characteristics of a ship in a non-stationary environment based on modern computer mathematics//Morskoy Vestnik. 2019. № 1 (69). P.99

The problems and paradoxes arising in monitoring the dynamic characteristics of vessels and floating technical means of ocean exploration are discussed. The main attention is paid to the construction of the criterion basis, which provides support for management decision-making in the center of emergency computing and on-board intelligent systems of new generations. Practical applications are associated with

the improvement of the system of rationing of dynamic characteristics in conditions of uncertainty and incompleteness of the initial information. Fig.6. Bibliography 10 titles.

UDC 681.51 **Keywords:** JSCCRIME, control system, modeling, submersible drilling complex, leveling, operator, lowering, lifting, manipulations

M.A. Aleksandrov, E.N. Efremov, A.A. Ivlev, D.S. Sverchkov. Development of a control system for a submersible drilling complex//Morskoy Vestnik. 2019. № 1 (69). P.105

The results of the development of the control system of the submersible drilling complex (PBC) are considered. Presented a simulation of operations descent/ascent, leveling, drilling, as well as the corresponding screens on the control panel.T.2. Fig.10. Bibliography 4 titles.

UDC 627.71 **Keywords:** depth measurement, sound speed profile, vertical profiling system.

N.A. Nesterov, S.A. Grunichev, Dmitry Ekimov. System for measuring the vertical profile of the speed of sound on the go//Morskoy Vestnik. 2019. № 1 (69). P.111

The possibility of obtaining operational information about the speed of sound in water using the system of vertical profiling company Deck Engineering OU, without laying in the drift, while the vessel is in motion. The design of the system allows customization for specific customer requirements. It is possible to complete the system with various oceanographic sensors for measuring hydrophysical and hydrochemical parameters. Fig.1. Bibliography 3 titles.

UDC 621.83; 62-231; 681.532 **Keywords:** instrument-sensor, compact gears, polymer composite materials, cone-wedge gear rims

V.A. Zinkov, V.M. Medunetsky. Improving the accuracy of the electromechanical instrument-sensor for measuring the angle of rotation of ship equipment//Morskoy Vestnik. 2019. № 1 (69). P.112

A description is given of a device-sensor intended for issuing information about the angular position of the ship's equipment, which has two units: a mechanical rotation transducer (gearbox) and a rotary optical encoder. Various ways to improve the quality of a mechanical unit are given. Studies have shown that it is possible to improve the accuracy of measuring the angle of the position of the ship equipment if the gearbox uses cone-wedge gears in the gearbox of this sensor device. Fig.3. Bibliography 12 titles.

UDC 551.48 **Keywords:** water area of the Northern Sea Route, navigation and hydrographic support, hydrographic knowledge, means of navigation equipment, navigation safety information

S.V. Reshetnyak. The history of the development of navigation and hydrographic support in the waters of the Northern Sea Route. Part 2: Integrated NGO system in the NSR water area at the end of the XX – beginning of the XXI century (1990 – present)//Morskoy Vestnik. 2019. № 1 (69). P.117

On the 85th anniversary of the formation in 1933 of the Hydrographic Department of the Main Directorate of the Northern Sea Route under the Council of USSR People's Commissars. The problems and achievements of the complex system of NGOs in the 90s complex for polar hydrography are considered and from the beginning of the twenty-first century to 2018. Fig.10. Bibliography 11 titles.