

MARINE INTELLECTUAL TECHNOLOGIES

10 Hz | 20 Hz | 30 Hz | 40 Hz | 50 Hz | 60 Hz | 70 Hz | 80 Hz | 90 Hz | 100 Hz | 110 Hz | 120 Hz | 130 Hz | 140 Hz | 150 Hz | 160 Hz | 170 Hz | 180 Hz | 190 Hz

МОРСКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

10011010011011111001100100011000101001110100100011000110101011110100001001001010010011
01000110110000011011011000101001001110100111001101001110100110101000011101100111001010
110010111100010011000011011011101110100010011010011100100010100101000110101110100001
010100011011101001000100111011000010110011101010011101001100010101011010010011001110
110101100001010111101001010011011010110001011010101101001010011101010101101001101001
1001101001101111100110010001100010100111010010001100011010101110100001001001010010011
0100011011000001101101100010100100111010011100110100110101000011101100111001010
11001011110001001100001101101110111010001001101001110100110100101000110101110100001
0101000110111010010001001110110010100111010011010011010101010101010101010010011001110
110101100001010111101001010011011010101100010110100110001100111010001101001101001101001

№ 3 (29) Т. 1 2015



Труды Морского государственного университета имени адмирала Г.И. Невельского

01000110110000011011011000101001001110100111001101001110100110101000011101100111001010
11001011110001001100001101101110111010001001110100111001000101001010100011010110100001
010100011011101001000100111011000010110011101010011101001100010101011010010011001110
110101100001010111101001010011011010101100010110101011010010100111010101101001
10011010011011111001100100011000101001110100101011000110101011110101101
0100011011000001101101100010100100111010011100110100111010011010100001011





МОРСКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Научный журнал № 3 (29) Т.1 2015 www.morintex.ru ISSN 2073-7173

Тематика: кораблестроение, информатика, вычислительная техника и управление

Главный редактор:

Н.В. Никитин, д.т.н., профессор

Редакционный Совет

Сопредседатели

И.Г.Захаров, заместитель генерального директора ЦМКБ «Алмаз»

Е.М. Апполонов, Ректор, СПбГМТУ

Члены Совета

А.В. Архипов, начальник НИИ кораблестроения и вооружения ВМФ

А.И. Гайкович, генеральный директор, НИЦ «МОРИНТЕХ»

Г.Н. Муру, генеральный директор, 51 ЦКТИ судоремонта

Одд М. Фалтинсен, профессор, Норвежский университет науки и технологии, Норвегия

Пентти Куяла, профессор, университет Аалто, Финляндия

К.В. Рождественский, проректор по международному сотрудничеству, СПбГМТУ

С.П. Столяров, декан факультета корабельной энергетики и автоматики, СПбГМТУ

В.Н. Тряскин, проректор, СПбГМТУ по учебной работе

А.К. Филимонов, проректор, СПбГМТУ по научной работе

А.В. Шляхтенко, генеральный директор-генеральный конструктор, ЦМКБ «Алмаз»

Редакционная коллегия

Заместители главного редактора

А.И. Гайкович д.т.н., профессор, Санкт-Петербургский государственный университет

А.И. Фрумен, к.т.н., профессор, Санкт-Петербургский государственный университет

П.А. Шауб, д.т.н., профессор, НИИ кораблестроения и вооружения ВМФ

Члены Редколлегии

А.В. Алексеев, д.т.н., профессор Санкт-Петербургский государственный университет

А.Е. Богданов к.т.н. — ОАО «Системы управления»

Р.В. Борисов д.т.н. профессор, Санкт-Петербургский государственный морской технический университет

Ю.А. Власов, к.ф.-м.н. преподаватель, Флоридский Международный Университет, Майами, США

А.И. Голосов, д.т.н., профессор, Центр Технологии Судостроения и Судоремонта

А.Н. Дядик, д.т.н., профессор, Санкт-Петербургский государственный университет

В.А. Евтеев, д.т.н., Объединенная судостроительная корпорация

Ю.И. Нечаев, д.т.н., профессор, Санкт-Петербургский государственный морской технический университет

В.В. Родионов, к.т.н, с.н.с., ЗАО «Си Проект»

Д.А. Скороходов, д.т.н., профессор, Институт проблем транспорта РАН

О.В. Третьяков, д.т.н., доцент, НИИ кораблестроения и вооружения ВМФ

Н.А. Тарануха, д.т.н., профессор, Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет

Периодичность издания — 4 номера в год

Журнал включен в систему Российского индекса научного цитирования (РИНЦ) <http://vak.ed.gov.ru>
Рукописи представляются в редакцию в электронном виде по e-mail: mit-journal@mail.ru

Учредитель-издатель: Общество с ограниченной ответственностью «НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР «МОРСКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ»

Свидетельство о регистрации СМИ ПИ № ФС77-32382 от 09.06.2008

Редакция в обязательном порядке осуществляет экспертную оценку всех материалов, публикуемых в журнале

ISSN 2073-7173

Адрес: 190121 г. Санкт-Петербург, ул. Лоцманская д.3

Телефон/факс +7 (812) 513-04-51

e-mail: mit-journal@mail.ru

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

Мнение редакционного совета и членов редколлегии может не совпадать с точкой зрения авторов публикаций

Редакционная этика научного журнала «МОРСКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ»

Редакционная деятельность научного журнала «МОРСКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ» опирается, в частности, на рекомендации Комитета по этике научных публикаций (Committee of Publication Ethics), а также на ценный опыт авторитетных международных журналов и издательств.

<http://morintex.ru/ru/nauchnyj-zhurnal/redakcionnaya-etika/>

Напечатано в центре полиграфии НИЦ «МОРИНТЕХ»

Дизайн: А.В. Антонов

Фото волны: А.Ю. Полушин



MARINE INTELLECTUAL TECHNOLOGIES

Scientific journal № 3 (29) V.1 2015 www.morintex.ru ISSN 2073-7173
Subject: shipbuilding, computer science, computer engineering and management

Chief Editor:

N. V. Nikitin, Doctor of Engineering, Professor

Editorial Board

Co-chairmen

I.G. Zakharov, Vice-CEO ZMKB "Almaz"

E.M. Appolonov, Rector, Saint-Petersburg State Marine Technical University

Council Members

A.V. Arkhipov, Director, Research Institute of Shipbuilding and armaments of Russian Navy

A.I. Gajkovich, CEO, Research Centre "Marine Intelligent Technologies"

G.N. Muru, CEO, 51 CCIS

Odd M. Faltinsen, Professor, Norwegian University of Science and Technology, Norway

Pentti Kujala, Professor, Aalto University, Finland

K.V. Rozhdestvenskij, Vice-Rector for International Science & Education, Saint-Petersburg State Marine Technical University

S.P. Stoljarov, Dean of the Faculty of naval power and automation, Saint-Petersburg State Marine Technical University

V.N. Trjaskin, Vice-Rector for Education, Saint-Petersburg State Marine Technical University

A.K. Filimonov, Vice-Rector for Research, Saint-Petersburg State Marine Technical University

A.V. Shlyakhtenko, CEO and Chief Designer, ZMKB "Almaz"

Editorial Staff

Deputy Chief Editors

A. I. Gaykovich, Doctor of Engineering, Professor, St. Petersburg State Marine Technical University

A. I. Frumen, PhD, Professor, St. Petersburg State Marine Technical University

P. A. Shaub, Doctor of Engineering, Professor, Institute of Shipbuilding and armaments of Russian Navy

Members of Editorial Staff

A.V. Alekseev, Doctor of Engineering, Professor, St. Petersburg State Marine Technical University

A. E. Bogdanov, PhD, JSC "Control Systems"

R. V. Borisov, Doctor of Engineering, Professor St. Petersburg State Marine Technical University

Yu. A. Vlasov, PhD, Adjunct Professor, Florida International University, Miami, FL, USA

A. I. Golosov, Doctor of Engineering, Professor, Centre for Ship Building and Ship Repair Technology

A.N. Dyadik, Doctor of Engineering, Professor, St. Petersburg State Marine Technical University

V. A. Evteev, Doctor of Engineering, United Shipbuilding Corporation

Yu. I. Nechayev, Doctor of Engineering, Professor, St. Petersburg State Marine Technical University

V. V. Rodionov, PhD, Senior Research Scientist, CJSC "Sea Project"

D. A. Skorokhodov, Doctor of Engineering, Professor, Institute of Transportation Problems of the Russian Academy of Science

O. V. Tretyakov, Doctor of Engineering, Associate Professor, Institute of Shipbuilding and armaments of Russian Navy

N. A. Taranukha, Doctor of Engineering, Professor, Komсомolsk-on-Amur State Technical University

Publication frequency — 4 issues per year

The journal is included into the system of Russian Science Citation Index <http://vak.ed.gov.ru>

Manuscripts are to be submitted to the editorial office in electronic form (on CD or via E-mail: mit-journal@mail.ru)

Founder-Publisher: Research Centre "Marine Intelligent Technologies", LLC

Registration Certificate: ПИ № ФС77-32382 of 09.06.2008

Address: Lotsmanskaya, 3, St. Petersburg 190121, Russian Federation

Phone/fax +7 (812) 513-04-51

e-mail: mit-journal@mail.ru

The journal is included into the list of periodicals recommended for publishing doctoral research results <http://vak.ed.gov.ru>

Printed in the Printing-House of Research Centre "Marine Intelligent Technologies", LLC

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 office.

Opinion of editorial staff and editorial board may not coincide with those of the authors of publications

Editorial ethics of the scientific journal «MARINE INTELLECTUAL TECHNOLOGIES»

EDITORIAL BOARD of the Scientific Journal «Marine Intellectual Technologies» bases its work, in particular, on the guidelines of the Committee of Publication Ethics, as well as on the practices of influential international journals and publishers.

<http://morintex.ru/en/nauchnyj-zhurnal/redakcionnaya-etika/>

Design: A.V. Antonov



Труды
Морского государственного университета
имени адмирала Г.И. Невельского

Дорогие коллеги!

Фундаментом для инновационного судостроения в Российской Федерации выступает система профессионального образования и науки, а также партнерство специалистов и обмен идеями как внутри страны, так и на международном уровне. Первостепенную важность имеет также межотраслевое сотрудничество по вопросам обновления флота и его технического перевооружения с участием, как судостроительных верфей, так и судоходных компаний, и, кроме этого, важно междисциплинарное сотрудничество специалистов разных профессий, совместно занятых в морской технике.

Возникающие многоплановые задачи могут решаться на базе сложившихся коллективов морских университетов, которые способствуют сотрудничеству российских и иностранных специалистов, работающих в смежных областях над усовершенствованием морской техники, решая комплексные проблемы - от теоретических вопросов в сфере мореходности и системности в процессе проектирования судна до детальной разработки элементов морской техники и создания ее инновационных образцов.

Кроме этого, коллективы морских университетов осуществляют решение собственных задач, стоящих перед организациями, таких как создание многоуровневой системы профессионального обучения кадров для судостроения и морских отраслей от начального уровня до подготовки специалистов высшей квалификации, включая, в том числе, обучение на стандартные уровни квалификации в соответствии с принципами Болонского процесса.

Особенностью развития системы науки и образования по направлению Кораблестроение и океанотехника является тесная связь морских университетов с действующими судостроительными предприятиями и судоходными компаниями, формирующими спрос для судостроительных верфей, осуществляемая на двусторонней основе, как в форме кадрового заказа со стороны промышленности, так и путем создания подразделений университета на базе действующих судостроительных предприятий.

Поскольку структура научных исследований и образования в морских университетах подчинена потребностям в отраслях судостроения и судоходства, то следует отметить большое влияние сложившейся международной специализации и кооперирования. С одной стороны, нужно учитывать максимальное развитие серийного гражданского судостроения в ряде стран, в том числе, государств Восточной Азии, опыт которых нужно использовать для усовершенствования образования и науки в морских университетах в России.

С другой стороны, проводя в Российской Федерации необходимую международную кооперацию комплексно, как в сфере гражданского судостроения, так и судоходства, а также, по направлениям профессионального образования и науки, разумно осуществлять развитие российского судостроения за рамками конкурирования с иностранными верфями, осуществляющими постройку типовых гражданских судов крупными сериями. То есть, целесообразно развивать создание инновационных судов, ориентируясь, в том числе, на внутренний спрос, относя к перспективным типам судов на предмет освоения их производства те, которые указаны в Стратегии развития судостроительной промышленности на период до 2020 года и на дальнейшую



перспективу: танкеры ледового плавания и LNG-танкеры; ледоколы; контейнерные суда ледового плавания; морские платформы и оборудование для работы на арктическом шельфе; научно-исследовательские суда пригодные для использования в Арктике; морские технические средства для выработки энергии в прибрежных районах, в том числе из восстанавливаемых источников (приливов, течений, ветра); оборудование для переработки газа в этих районах осуществлять развитие российского судостроения за рамками конкурирования с иностранными верфями, осуществляющими постройку типовых гражданских судов крупными сериями.

Таким образом, вырисовываются общие ориентиры для перспективной организации научных исследований и развития системы профессиональной подготовки, основанные на принципах комплексного подхода в судостроительной и судоходной отраслях, междисциплинарного и международного сотрудничества.

Данный выпуск научного журнала Морские интеллектуальные технологии, содержащий результаты работы сотрудников Морского государственного университета им. адм. Г.И. Невельского и наших коллег из других организаций, охватывает следующие темы: исследование системных вопросов, связанных с определением проектных характеристик судов ледового плавания, обоснование характеристик аварийно-спасательных судов новых проектов, вопросы эксплуатационной надежности в условиях ледового плавания, исследование предложенных способов разгрузки на необорудованный берег, особенности определения элементов амфибийных судов и подводных аппаратов, новые методы контроля технического состояния, ремонта и восстановления судовых механизмов, усовершенствование элементов энергетического оборудования, разработка моделей оценки износа судовых механизмов и прогнозной оценки параметров судового оборудования, инновационные методы контроля безопасности в судоходстве с использованием беспилотных аппаратов, развитие приборов контроля судового электрического оборудования, и др.

Выражаю благодарность авторам статей, редакционному совету журнала и редакционной коллегии за участие в подготовке и издании научных статей.

Ректор

С.А. Огаев



Санкт-Петербург
190000, Английская наб., д.38
Тел./факс: (812) 315 4945

51

ЦЕНТРАЛЬНЫЙ
КОНСТРУКТОРСКО-
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
ИНСТИТУТ
СУДОРЕМОНТА



Санкт-Петербург, Ломоносов
198412, ул. Михайловская, д.14
Тел./факс: (812) 423 1600

51 ЦКТИС - ГОЛОВНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ
ВМФ РФ ПО РАЗРАБОТКЕ ТИПОВОЙ
ОРГАНИЗАЦИОННОЙ РЕМОНТНО-
ТЕХНИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ



СОДЕРЖАНИЕ

стр.

О журнале	10
-----------------	----

Проектирование и конструкция судов

Огай С.А., Войлошников М.В. Проектная нагрузка и водоизмещение многоцелевого судна ледового плавания	12
---	----

Егоров Г.В. Обоснование «линейки» многофункциональных аварийно-спасательных судов для работы в прибрежных морях России	28
---	----

Огай С.А. Понятие многоцелевого судна ледового плавания и особенности применения системного подхода при определении характеристик на начальном этапе проектирования судна этого типа	45
---	----

Кулеш В.А., Огай С.А., Войлошников М.В. Классификация и мониторинг надежности ледового пояса морских объектов	55
--	----

Огай С.А. Особенности определения характеристики на ранних стадиях проектирования многоцелевого судна ледового плавания	63
--	----

Теория корабля и строительная механика

Азовцев А.И., Москаленко О.В. Определение площади истечения воздуха из воздухоопорной гусеницы	71
---	----

Кулеш В.А., Петров В.А. Актуальность и безопасность грузовых операций при посадке судов на грунт	75
---	----

Технология судостроения, судоремонта и организация судостроительного производства

Минаев А.Н., Надариа К.В., Портнова О.С., Гнеденков С.В., Егоркин В.С., Машталяр Д.В., Синебрюхов С.Л. Восстановление деталей судового энергетического оборудования из титановых сплавов с ранее нанесенным термическим покрытием	81
--	----

Судовые энергетические установки и их элементы (главные и вспомогательные)

Даничкин В.Н., Голенищев А.В. Анализ кинетических кривых коэффициентов корреляции данных трибомониторинга судовых дизелей.....	88
---	----

Кича Г.П., Бойко С.П. Экспериментальное моделирование эффективности процесса регенерации самоочищающихся фильтров, функционирующих в системах смазки судовых дизелей.....	93
--	----

Надежкин А.В., Лыу Куанг Хиеу Экспериментальное моделирование влияния основных показателей судовых дистиллятных топлив на противоизносные свойства	100
---	-----

Голенищев А.В., Надежкин А.В., Старченко М.Е. Моделирование влияния эксплуатационных факторов на режимы трения и изнашивания в подшипниках скольжения судовых дизелей.....	106
---	-----

Пак Н.К. Стохастическое моделирование очистки моторного масла в судовых дизелях центрифугированием и сепарированием.....	112
---	-----

Информатика, вычислительная техника и управление

Букин О. А., Буров Д.В., Майор А. Ю., Букин И. О., Проценко Д. Ю., Мун С.А., Михайлов Д.Н., Кушнерик А.А., Салюк П. А. Информационно-измерительная система для проведения исследования подводных сред, обеспечения безопасности судоходства и экологической безопасности с использованием малогабаритного телеуправляемого необитаемого аппарата.....	118
--	-----

Артемьев А.В., Воробьев В.В., Горшков А.А., Перечесов В.С. Методы автоматического контроля сопротивления изоляции сетей двойного рода тока с изолированной нейтралью.....	126
--	-----

Букин О.А., Матецкий В.Т., Буров Д.В., Проценко Д.Ю., Коровецкий Д.А., Перцев А.О., Маркин М.Е., Майор А.Ю., Шмирко К.А., Салюк П.А. Разработка аппаратно-программных комплексов для малогабаритных беспилотных летательных аппаратов в целях	
--	--

мониторинга морских акваторий	132
Клоков В.В., Лосев В.Л., Игнатъев Н.Н., Силин Н.Н. Шумовая диагностика электротехнического оборудования морского транспорта.....	142
Артемьев А.В., Воробьев В.В., Перечесов В.С., Шаталов В.В. Модернизация устройства для измерения остаточной емкости судовых аккумуляторных батарей	148
Левченко Н.Г. Моделирование информационной системы управления транспортно-логистическим процессом с применением нечетких нейросетевых технологий	154
Артемьев А.В., Воробьев В.В., Перечесов В.С. Шаталов В.В. Цифровое устройство управления сельсинными указателями	163
<i>Управление в социальных и экономических системах</i>	
Лялина Ж.И., Кривец В.В., Гончарова Т.Г. Подход к оценке эффективности основных активов университета по подготовке курсантов морских специальностей	168
Степанец В.Е., Валькова С.С., Рычкова В.Ф. Обоснование организации использования ресурса докеров-механизаторов морского порта	175

CONTENTS

page

About journal 10

Design and construction of vessels

Ogai S.A., Voyloshnikov M.V. The project load and displacement of multipurpose ship of ice navigation 12

Egorov G.V. Grounding of Multipurpose Salvage Vessels «line-up» for coastal seas of Russian Federation 28

Ogai S.A. The concept of multipurpose ship for ice navigation and features of systematic approach in determining the characteristics at the initial stage of the design of this type of ship 45

Kulesh V.A., Ogai S.A., Voyloshnikov M.V. Classification and reliability monitoring of the ice strake of offshore marine structures..... 55

Ogai S.A. The features of determination of the characteristics and particulars at the initial step of design of multipurpose ship for navigation in icy sea 63

Theory of the ship and structural mechanics

Azovtsev A.I., Moskalenko O.V. Determination of the area of air expiration from the compressed-air supported track 71

Kulesh V.A., Petrov V.A. The significance and safety of the cargo operations of the vessels aground 75

Ship Repair and Organization of Shipbuilding Production

Minaev A.N., Nadaraia K.V., Portnova O.S., Gnedekov S.V., Egorkin V.S., Mashtalyar D.V. Restore of the details of the ship power plants made from titanium alloys previously applied thermal coating 81

Ship Power Plants and Their Elements (Main and Auxiliary)

Danichkin V.N., Golenishev A.V. Analysis of the kinetic curves of coefficient of correlation data tribometer marine diesel engines 88

Kicha G.P., Boyko S.P. Experimental simulation of effective value of regenerative process in self-cleaning filters operating in lubricant systems of marine diesel engines 93

Nadezkin A.V., Luu Quang Hieu Experimental modeling influence main indicators on the lubrication ability of marine distillate fuels 100

Golenishev A.V., Nadezkin A.V., Starchenko M.E. Modeling the influence of operational factors on the modes of friction and wear in the bearings of marine diesels 106

Pak N.K. The stochastic modeling of engine oil clearing in the marine diesels by the centrifugation and separation 112

Information Science, Computer Engineering and Control System Analysis

Bukin O.A., Burov D.V., Mayor A.Y., Bukin I.O., Proshenko D.Y., Moun S.A., Mikhailov D.N., Kushneric A.A., Salyuk P.A. Information- measuring system for the study of underwater environments, ensuring the safety of navigation and environmental safety using a remotely operated unmanned vehicle 118

Artemyev A.V., Vorobyev V.V., Gorshkov A.A., Perechesov V.S. Methods for automatic monitoring of insulation resistance of ac/dc ship ungrounded networks 126

Bukin O.A., Matetskiy V.T., Burov D.V., Proshenko D.Y., Korovetskiy D.A., Pertsev A.O., Markin M.E., Mayor A.Y., SHmirko K.A., Salyuk P.A. Development of hardware-software systems for small unmanned aircraft devices to monitor sea areas 132

Klokov V.V., Losev V.L., Ignatev N.I., Silin N.V. The noise diagnostics of maritime transport electrical equipment 142

Artemyev A.V., Vorobyev V.V., Perechesov V.S., Shatalov V.V. Modernization of device for measuring the residual capacity of the batteries I-200..... 148

Levchenko N.G. Modeling of information management system of transport and logistics processes using fuzzy neural network technologies 154

Artemyev A.V., Vorobyev V.V., Gorshkov A.A., Perechesov V.S. Digital control unit of syn-

chronic pointers	163
------------------------	-----

Control in Social and Economic Systems

Lalina J.I., Krivets V.V., Goncharova T.G. The approach of the assessment of effectiveness of the underlying assets of the university training of cadets of sea specialties	168
Stepanets V.E., Val'kova S.S., Rychkova V.F. Rationale for organizing the use of the resource of machine-operators in a seaport	175

О ЖУРНАЛЕ

Главное

На страницах журнала публикуются новые научные разработки, новые результаты исследований, новые методы, методики и технологии в области кораблестроения, информатики, вычислительной техники и управления.

Журнал включен в Перечень ВАК ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук.

Поданы заявки на включение журнала в международные реферативные базы данных SCOPUS и Web of Science

В журнале обязательно рецензирование статей ведущими специалистами по профилю статьи.

Аннотации выпусков журнала с 2008 по 2014 года и с № 3(25) 2014 полные выпуски размещены на сайте www.morintex.ru

Подписной индекс 99366 в «Межрегиональном агентстве подписки» (МАП).

Журнал распространяется посредством подписки в МАП и в редакции, а также на выставках, конференциях и симпозиумах.

Тематика

Тематика журнала соответствует следующим специальностям научных работников номенклатуры ВАК: кораблестроение (теория корабля и строительная механика, проектирование и конструкция судов, технология судостроения, судоремонта и организация судостроительного производства, судовые энергетические установки и их элементы (главные и вспомогательные), физические поля корабля, океана, атмосферы и их взаимодействие); информатика, вычислительная техника и управление (системный анализ, управление и обработка информации, автоматизация и управление технологическими процессами и производствами, управление в социальных и экономических системах, математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей, системы автоматизации проектирования, теоретические основы информатики, математическое моделирование, численные методы и комплексы программ)

Основные направления

- Интеллектуальные технологии в проектировании кораблей и судов, компьютеризация процессов проектирования (управление и организация проектирования, системы автоматизированного проектирования). Морская история и техника.

- Интеллектуальные технологии в строительстве и ремонте кораблей и судов (перспективные технологии в строительстве и ремонте судов, автоматизированные системы подготовки производства, использование роботов).

- Интеллектуальные технологии в эксплуатации кораблей и судов (системы автоматизации кораблей и судов, автоматизированные системы управления, проблемы судовой эргономики, экология).

- Интеллектуальные технологии в прикладных исследованиях (математическое моделирование и компьютерный эксперимент, строительная механика, гидроаэродинамика, термодинамика, физические поля корабля).

- Интеллектуальные технологии в морской и судовой энергетике. Энергосберегающие технологии.

- Интеллектуальные технологии морского приборостроения.

- Искусственный интеллект в морских технологиях.

- Интеллектуальные технологии в маркетинговых исследованиях.

- Экономика и финансы в судостроении

- Кораблестроительное образование

ABOUT JOURNAL

New scientific developments, new research results, new methods, procedures and technologies in the area of ship building, information science, computer engineering and control are published in the magazine.

The magazine is included into the List of Supreme Attestation Commission of leading reviewed scientific magazines and editions, in which basic scientific results of theses for application of science-degrees of Doctor and Candidate of Science shall be published.

In the magazine the articles shall be reviewed by leading specialists in the field of the article.

The magazine is intended for a wide range of scientists and specialists, as well as heads of scientific research and design organizations, industry, educational institutions, navy, as well as teachers, post-graduate students and students of higher educational institutions.

Subscription index is 99366 in Interregional Subscription Agency.

The magazine is circulated in Russia and abroad by subscription in Interregional Subscription Agency and in editorial office, as well as in exhibitions, conferences and symposiums.

BY the organizations' request the magazine editorial office can send any magazine issue or the whole set of magazines in general.

Subject

The magazine subject corresponds to the following specialities of scientific workers cording to the list of Supreme Attestation Commission: Ship Building, Theory of Ship and Structures , Ship Designing and Structure, Technology of Ship Building, Ship Repair and Organization of Shipbuilding Production, Ship Power Plants and Their Elements (Main and Auxiliary), Physical Fields of Ship, Ocean, Atmosphere and Their Interaction); Information Science, Computer Engineering and Control System Analysis, Control and Processing of Information, Automation and Control of Processes and Productions, Control in Social and Economic Systems, Software for Computers, Complexes and Computer Networks, Designing Automation Systems, Foundations of Information Science Mathematical Modelling, Numerical Procedures and Software Systems).

Basic Magazine Trends

- Intelligent technologies for designing of ships and vessels, computing of design process (control and organization of designing, automated designing systems). Marine History and Equipment.
- Intelligent technologies for ship and vessel building (advanced technologies for ship building, automated systems of production preparation, robot using).
- Intelligent technologies for ship and vessel operation (ship and vessel automation systems, automated control systems, problems in ergonomics, ecology).
- Intelligent technologies in applied researches (mathematical modelling and computer experiment, theory of structures, aerohydrodynamics, thermodynamics, physical fields of ship).
- Intelligent technologies in marine and ship power engineering. Energy-saving technologies.
- Intelligent technologies of marine instrument engineering.
- Artificial intelligence in marine technologies.
- Intelligent technologies in marketing researches.
- Intelligent technologies in logistics.
- Editorial Office Address.

Проектирование и конструкция судов

УДК 629.12.001.24:681.32

ПРОЕКТНАЯ НАГРУЗКА И ВОДОИЗМЕЩЕНИЕ МНОГОЦЕЛЕВОГО СУДНА ЛЕДОВОГО ПЛАВАНИЯ

Огай Сергей Алексеевич

кандидат технических наук, доцент
ректор

Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского
690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, д.50 – а
тел.: (423) 241–49–68; e-mail: ogay@msun.ru

Войлошников Михаил Владленович

доктор технических наук, профессор
главный научный сотрудник

Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского
690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, д.50 – а
тел.: 8-914-705-6029; e-mail: michael.vladlen@gmail.com

Аннотация

Многоцелевые суда ледового плавания (многофункциональные ледоколы) можно отнести к числу наиболее перспективных типов судов, которые необходимы для решения федеральных задач развития деятельности в арктических и замерзающих морях и дают возможность развивать судостроение за рамками конкурирования с судововерфями в азиатских и европейских государствах, в которых развито серийное производство судов основных типов. Определение характеристик при проектировании многоцелевого судна ледового плавания, таких как водоизмещение, дедейт, мощность силовой установки, предшествует нахождению элементов судна, к числу которых относятся размерения судна и их соотношения, конструктивные элементы, компоновочные решения, выбираемое при проектировании судна оборудование, устройства, механизмы. Данными для проектирования многоцелевого судна ледового плавания, другими словами, проектными ограничениями, служат характеристики более общей системы, к которой для судов рассматриваемого типа относится в методологическом отношении главное оборудование, например, реакторы, установки для осуществления технологических процессов на борту, таких, как сжижение природного газа, производство электрической энергии кроме судовых нужд, специальные системы и оборудование для форсирования льда, для обслуживания спускаемых или летательных аппаратов и пр., то есть, оборудование, создаваемое до проектирования судна. Тем самым, судно разрабатывается для установки главного оборудования. Также, к более общей системе многоцелевого судна ледового плавания методологически отнесены его заданные функции, неявно влияющие на характеристики судна, такие как способность форсирования ледового поля определенной толщины, причем, эти функции при проектировании подлежат оценке в единицахращения нагрузки и водоизмещения судна. Определение баланса нагрузки и водоизмещения производится как часть алгоритма оптимизации проектных характеристик судна.

Ключевые слова: *ледовые категории, судно ледового плавания, многоцелевое судно, обшивка судна, пояс обшивки, ледовый пояс, замерзающие моря, мореходность в условиях льда, толщина форсируемого льда, элементы судна, проектные характеристики, баланс водоизмещения, уравнение баланса*

THE PROJECT LOAD AND DISPLACEMENT OF MULTIPURPOSE SHIP OF ICE NAVIGATION

Ogai Sergey Alexeevich

Associate professor, Cand. Sci. Tech.
Rector

Maritime state university named Admiral Nevelskoi
50 – a, Verkhneportovaya st., 690059, Vladivostok, Russia
tel.: (423) 241–49–68; e-mail: ogay@msun.ru

Voyloshnikov Michael Vladilenovich

Professor, Dr. Sci. Tech.
chief research scientist

Maritime state university named Admiral Nevelskoi
50 – a, Verkhneportovaya st., 690059, Vladivostok, Russia
tel.: 8-914-705-6029; e-mail: michael.vladlen@gmail.com

Abstract

Multipurpose ships of ice navigation (multipurpose icebreakers) can be attributed to one of the most prospective types of vessels that are necessary for solving problems of federal activities in the Arctic and freezing seas and make it possible to develop the shipbuilding industry beyond competing with shipyards in Asian and European countries, which in are developed the mass construction of vessels of the main classes. Determination of the design characteristics of a multi-purpose ship of ice navigation, such as displacement, deadweight, power of main engine preceded the determination of vessel particulars, which include the dimensions of vessel and their proportions, design particulars, layout decisions, ship equipment selected in the design, devices, engineering. The input data for design of multipurpose ship ice navigation, in other words, the design constraints are characteristics of more general system to which the vessels of considered type belongs methodologically the main equipment, such as the reactors, the installations for on board technological processes such as the liquefaction of natural gas, electricity production, except the production energy for the ship needs, the special equipment and systems for ice forcing, for support of outboard devices or aircraft, and so on., that is, the input data for design of multipurpose ship satisfy the equipment, produced before the ship design. Thus, the vessel is designed for the installation of the main equipment. Also, to a more general system than the multipurpose ship of ice navigation are assigned methodologically its specified functions, implicitly influencing the characteristics of the vessel, such as the ability of ice field forcing of the certain thickness, with these features to be evaluated in terms of increment of load and displacement of the vessel design. Determination of load balance and displacement produced as part of the optimization algorithm of project characteristics of the vessel.

Key words: *ice category, ship of ice navigation, multipurpose ship, vessel shell, shell strake, ice strake, freezing seas, seaworthiness in ice field, thickness of forced ice, ship particulars, project characteristics, balance of displacement, balance equation*

1. Введение

С учетом направленности на освоение Арктики и замерзающих морей имеет большое значение пополнение флота многоцелевых судов ледового плавания, что, также, должно способствовать развитию судостроительной промышленности за рамками конкурирования с серийным судостроением, существующим в Китае, Республике Корея, Японии и в ряде Европейских стран, которое направлено на производство гражданских судов основных типов, пользующихся спросом, главным образом, в незамерзающих морях.

Проектирование многоцелевых судов для работы во льдах в соответствии с принципами системного подхода можно осуществлять на уровне определения характеристик и на уровне элементов. Интересны исследования [5], относящиеся к определению элементов корпуса и конструкций многофункциональных ледоколов, включающие оптимизацию формы корпуса с точки зрения ледовых качеств и ходкости. Кроме этого, указанные авторы обращают внимание на перспективный характер многофункциональных ледоколов. Для использования их рекомендаций при определении элементов в качестве исходных данных надлежит использовать такие характеристики многофункциональных ледоколов как водоизмещение (или иную характеристику общего размера судна) и мощность силовой установки, что приво-

дит к необходимости определения характеристик многоцелевого судна ледового плавания в соответствии с принципами системного подхода [4, 8].

Соответственно, для корректного определения характеристик требуется понятие более общей системы, которое послужило бы основанием для оценки исходных данных и ограничений, необходимых для определения характеристик.

Известно в отношении судов распространенных типов, освоенных серийно, что в качестве более общей системы при проектировании можно рассматривать имущественный комплекс активов морского предприятия [3], в частности, судоходной компании, а при условии административного управления экономикой этой общей системой прежде служили показатели отраслей [8], расположенных выше в системе иерархии приоритетов.

Поскольку приоритеты при создании многоцелевых судов ледового плавания характеризуются не столько экономическими целями, сколько федеральными задачами, связанными с развитием северных и арктических побережий, то эти цели оправдывают финансовые средства и в том случае, если деятельность в замерзающих морях и на их побережьях осуществляется частными инвесторами. При этом подразумевается полное или частичное федеральное финансирование затрат инвесторов и их разумной прибыли. Экономическое конкурирование инвесторов в этих условиях происходит на уровне минимизируемых

затрат. На начальных стадиях проектирования, направленного на определение характеристик многоцелевого судна ледового плавания, используемых в дальнейшем как данные при определении элементов, ограничениями, то есть, данными, выступают характеристики основной системы судна, то есть его главной функции или главного оборудования, для которого проектируется судно, и создание, которого, предшествует постройке судна.

В методологическом отношении в качестве основной системы при проектировании многоцелевого судна ледового плавания можно рассмотреть следующие его части:

– специальное оборудование, для которого разрабатывается судно, и, которое, в этом смысле можно считать элементом проектного дедвейта судна при расчете остальных элементов нагрузки и водоизмещения судна;

– специальную функцию судна, такую как мореходность в ледовых условиях, соответственно для целей проектирования судна эту функцию нужно оценить как фактор приращения водоизмещения.

Объектом исследования является многоцелевое судно ледового плавания (многофункциональный ледокол), который может действовать как специализированный ледокол [9, п. 2.2.3.1.1] определенной категории, то есть, осуществлять проводки судов во льдах, преодоление ледовых перемычек, прокладку канала, буксировку, околку и выполнение спасательных задач, а также самостоятельно эксплуатироваться как судно ледового плавания [там же, п. 2.2.3.1.2] в условиях сплошного ледового поля, битого льда или отдельных льдин. В частном случае, многоцелевым судном ледового плавания может выступать учебное судно или судно для снабжения пунктов в море или на побережье.

2. Определение толщины форсируемого сплошного ледового поля в зависимости от характеристик судна и его элементов

Для судов высоких ледовых категорий, в частности: Arc4, 5 ... 9 и ледоколов, предназначенных для эксплуатации в условиях сплошного ледового поля определенной толщины, критическими факторами проходимости во льдах могут служить следующие характеристики и элементы: водоизмещение, мощность силовой установки, толщина обшивки, конструктивные элементы бортовых перекрытий, например, шпация при поперечной или иной системе набора, конструктивные элементы оконечностей и выступающих частей корпуса, специальные системы, такие как дифферентная.

Для судов названных арктических категорий, способных ровным ходом форсировать сплошное ледовое поле определенной толщины при сохранении прочности корпуса с учетом ледового сжатия, можно допустить, что таким образом определяемая прочность также достаточна с точки

зрения безопасности при столкновении с плавающими льдинами, если, также, безопасность обеспечивается навигационными средствами и выбором безопасной скорости с учетом реалистичной оценки ледовой обстановки, а мощность, необходимая для форсирования сплошного ледового поля, при этом была бы достаточна по критериям ходкости в битом льду и управляемости.

То есть, предполагается иерархия критериев прочности и ходовых качеств в условиях льда, которая означает, что остальные критерии соблюдаются при выполнении наиболее тяжелых ограничений, – при достаточной мощности силовой установки и прочности корпуса судна ледового плавания для движения ровным ходом в сплошном ледовом поле определенной толщины.

Для судов меньших ледовых категорий (таких как Ice1, 2, 3) или без категорий при эксплуатации в замерзающих морях автономно в битом льду, или в условиях несущественного сплошного ледового поля, или за ледоколом, также в битом льду, в отличие от судов более высоких ледовых категорий характерным расчетным условием может, видимо, служить мореходность в битом льду, а не в сплошном, которая, в этом случае, характеризуется достаточной мощностью силовой установки для поддержания минимальной скорости и управляемости судна.

В рассматриваемой задаче определяется зависимость приращения водоизмещения многоцелевого судна ледового плавания от мореходности в условиях льда, которая может быть охарактеризована проходимостью и безопасностью (достаточной прочностью) в сплошном ледовом поле определенной толщины, учитывая, что другие критерии мореходности в замерзающих морях [13], такие как безопасная скорость при движении судна в битом льду, как достаточная мощность при движении в битом льду для поддержания безопасной скорости и управляемости судна и т.д. могут рассматриваться на дальнейших этапах проектирования, в частности, при определении конструктивных элементов корпуса и ледовых усилений, а также при выборе безопасных режимов эксплуатации судна.

Кроме этого, для оценки качеств многоцелевого судна ледового плавания нужно принять во внимание акцент деятельности морских классификационных обществ, который ориентирован на анализ проходимости в сплошном ледовом поле, которая может быть охарактеризована максимальной толщиной h ровного сплошного ледового поля, в котором судно может двигаться устойчивым ровным ходом. При этом прочность льда по нормальным напряжениям при изгибе предполагается равной 500 кПа, а слой снежного покрова на льду составляет от 20 до 25 см.

Для определения предельной толщины форсируемого ровным ходом сплошного ледового поля известна формула Цоя Л.Г. [11, 12], усовершенствованная Климашевским С.Н. и Титовым

И.А. [7]. Предельную толщину преодолеваемого сплошного ледового поля с учетом наклона форштевня и угла входа ватерлинии, а также, с учетом развала нулевого теоретического шпангоута можно определить как

$$h = 0,02 \times L / (F \times (D / N_{ICE} + 1,63)), \quad (1)$$

где $F = \sqrt{2 \times (\cos \beta + f_D \times \operatorname{ctg} \alpha) \times \sin \alpha}$ – функция формы носовой оконечности судна; L – длина судна по ватерлинии, м; D – водоизмещение, т; N_{ICE} – мощность энергетической установки судна, необходимая для форсирования сплошного ледового поля, кВт; f_D – коэффициент динамического трения корпуса судна о лед (показатель, зависящий от свойств льда и равный порядку $f_D \approx 0,10$); α , β – углы: входа ватерлинии (носового заострения, имеются рекомендации желательной величины 45°) и развала борта в районе нулевого теоретического шпангоута (наклон этого шпангоута по отношению к диаметральной плоскости, для ледокольного судна можно рекомендовать до 65°). Указанные углы носового заострения α и развала борта β на начальных стадиях проектирования многоцелевого судна ледового плавания при определении характеристик (водоизмещения, дедвейта, мощности силовой установки, толщины обшивки, др.) можно в общем приближении считать устойчивыми значениями, а в дальнейшем, при разработке конструктивных элементов судна эти углы можно уточнять.

С учетом рассмотренных предположений функция формы носовой оконечности судна приобретает вид $F = \sqrt{2 \times \cos \beta / \sin \alpha} + 0,2 \times \cos \alpha$.

В зависимости от углов: носового заострения α и развала борта на нулевом теоретическом шпангоуте β функция формы F представлена на графике (Рис. 1).

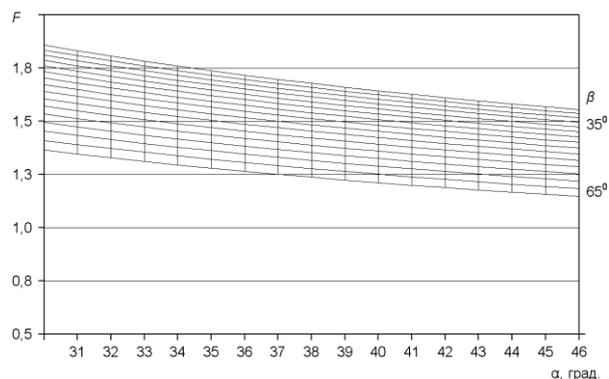


Рис. 1. Зависимость функции формы F от угла входа ватерлинии α и угла развала борта β в районе нулевого теоретического шпангоута

По графику видно, что значение функции формы F в большей степени зависит от угла носового заострения α , чем от угла развала борта β .

С достаточной степенью приближения (с погрешностью в пределах 5%), с учетом влияния угла заострения ватерлинии α и угла развала β –

для нулевого теоретического шпангоута, функцию формы носовой оконечности судна можно было бы упростить

$$F \approx 1,41 \times \sqrt{\cos \beta / \sin \alpha}.$$

Нужно заметить, что углы носового заострения α и развала борта β , а также, угол наклона подводной части форштевня судна ледового плавания к основной плоскости φ , с учетом кривизны формы корпуса и желательной гладкости формы с технологической и гидродинамической точек зрения находятся в приближенной геометрической зависимости

$$\operatorname{tg} \varphi \times \operatorname{tg} \beta \approx \operatorname{tg} (\alpha / 2), \quad (2)$$

Геометрическое соотношение (2) углов формы носовой оконечности ледокольного судна показано на графике (Рис. 2).

При условии геометрической гладкости поверхности корпуса с учетом известных рекомендаций относительно угла наклона форштевня судна ледового плавания $\varphi \approx 20^\circ$, и угла носового заострения $\alpha \approx 45^\circ$ угол развала борта в соответствии с формулой (2) должен быть равен $\beta \approx 50^\circ$.

Предполагая, что угол развала борта можно для дополнительного улучшения проходимости в ледовом поле несколько увеличить за счет кривизны формы корпуса, в дальнейших оценках используется приближенное значение функции формы $F \approx 1,25$ при $\alpha \approx \dots 45^\circ$, $\beta \approx \dots 60^\circ$.

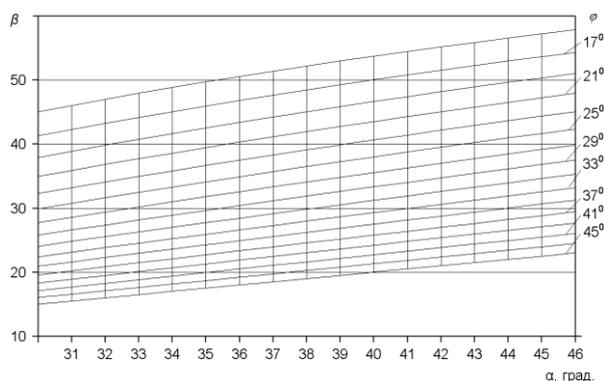


Рис. 2. Соотношение углов формы для носовой оконечности ледокольного судна: носового заострения α , развала борта β , угла наклона форштевня судна ледового плавания к основной плоскости φ

С учетом указанных допущений наибольшая толщина форсируемого ровным ходом сплошного ледового поля, определяемая по формуле Цоя, Климашевского–Титова, составляет

$$h \approx 0,016 \times L / (D / N_{ICE} + 1,63), \quad (3)$$

а необходимая для этого мощность силовой установки равна $N_{ICE} \approx D / (0,016 \times L / h - 1,63)$.

С использованием имеющейся параметрической зависимости водоизмещения от длины $D = 0,768 \times L^{2,118}$, т.е. при $L = 1,133 \times D^{0,472}$, обратная зависимость длины многоцелевого судна

ледового плавания от водоизмещения после преобразования к близкой форме имеет вид

$$L = 0,840 \times D^{1/2}, \quad (4)$$

а необходимую для форсирования сплошного ледового поля ровным ходом судна мощность силовой установки можно найти по приближенной формуле в зависимости от водоизмещения D судна как

$$N_{ICE} \approx D / (0,01344 \times D^{1/2} / h - 1,63). \quad (5)$$

На начальных стадиях проектирования многоцелевого судна ледового плавания для расчетов соотношений мощности и водоизмещения в зависимости от толщины преодолеваемого ровным ходом сплошного ледового поля, при определении интервалов значений данных учтены требования Регистра, предъявляемые к судам до категории Icebreaker7, включительно [9, п. 2.2.3.2]: Icebreaker6 – выполнение ледокольных операций при толщине льда до 1,5 м, способен двигаться непрерывным ходом в сплошном ледовом поле толщиной до 1,0 м; Icebreaker7 – выполнение ледокольных операций в зимне-весеннюю навигацию при толщине льда до 2,0 м, в летне-осеннюю навигацию при толщине льда до 2,5 м, способен передвигаться непрерывным ходом в сплошном ледовом поле толщиной до 1,5 м, суммарная мощность на гребных валах не менее 11 МВт. Категории Arc4, Arc5, Arc6, Arc7, Arc8 образуют группу арктических категорий, если арктическое судно выполняет ледокольные операции и отвечает соответствующим требованиям, то вместо указания арктической категории может быть добавлен один из знаков категории ледовых усилений Icebreaker6 или Icebreaker7.

В рассмотренных интервалах данных зависимость необходимой мощности силовой установки N_e многоцелевого судна ледового плавания для форсирования льда ровным ходом от водоизмещения судна D и толщины сплошного ледового поля h представлена на графике (Рис. 3).

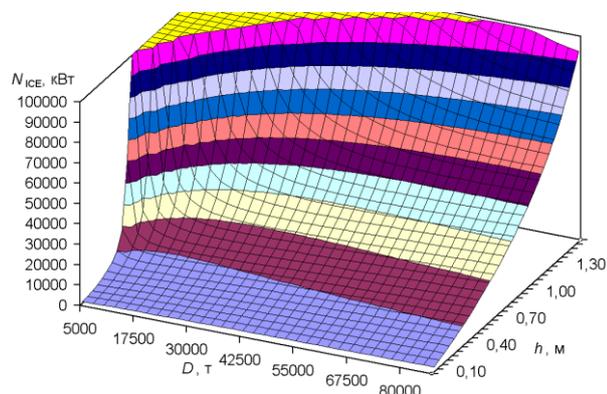


Рис. 3. Зависимость необходимой мощности силовой установки N_{ICE} от водоизмещения судна D и толщины форсируемого сплошного ледового поля h

По графикам видно, что при относительно небольшом водоизмещении (до 25 тыс. т) мощ-

ность силовой установки более важна для режима непрерывного движения в сплошном ледовом поле. Данная оценка мощности произведена без учета использования для форсирования льда балластной и дифференциальной систем, ровным ходом без цикличности.

3. Условие прочности корпуса при сжатии в сплошном ледовом поле

При условии ледового сжатия судна наиболее вероятны повреждения в средней части. В средней части корпус обычно имеет незначительный развал или вертикальные борта и критическую местную прочность при сжатии с бортов. При сжатии корпуса за расчетную может приниматься нагрузка, соответствующая потере устойчивости ледового поля.

Известна формула для оценки давления, разрушающего сплошное ледовое поле p_{ICE} [10]

$$p_{ICE} = 0,61 \times \sqrt{h}, \text{ МПа} \quad (6)$$

Предельное давление p на бортовую обшивку в составе перекрытия с поперечной системой набора можно определить как

$$\begin{aligned} \text{при } a/h &\geq 2,283 \\ p &= 4 \times \sigma_0 \times (\delta/a)^2 \times (1 + 1,571 \times a/h); \\ \text{при } a/h &< 2,283 \\ p &= 4 \times \sigma_0 \times (\delta/a)^2 \times (1 + a/h + 0,25 \times (a/h)^2), \end{aligned} \quad (7)$$

где σ_0 – напряжение текучести, МПа (МПа, Н/мм²); δ – толщина обшивки, мм; a – меньшая из сторон пластины обшивки (равная шпации при поперечной системе набора), м. Для оценки прочности на начальных стадиях проектирования учтены значения напряжений текучести стали, используемых в судостроении марок конструкционной: Ст20 (ГОСТ 1050–88), $\sigma_0 = 245$ Н/мм² (МПа); Ст30, $\sigma_0 = 295$ Н/мм²; Ст45, $\sigma_0 = 355$ Н/мм²; Ст40Х (конструкционная легированная хромистая, ГОСТ 4543–71), $\sigma_0 = 785$ Н/мм²; сталь 09Г2С (конструкционная низколегированная для сварных конструкций, ГОСТ 5520–79), $\sigma_0 = 265$ Н/мм²; сталь 3 (углеродистая сталь обыкновенного качества марок: СтЗкп, СтЗпс, СтЗсп, СтЗГпс, СтЗГсп по ГОСТ 380–2005), $\sigma_0 = 195 \div 235$ Н/мм². Согласно рекомендациям Регистра, нормативный предел текучести и рекомендованная категория конструкционной стали зависит от длины судна и находится преимущественно в интервале $\sigma_0 = 300 \div 345$ Н/мм² (для судов меньшей длины рекомендуются стали с нормативным пределом текучести порядка $\sigma_0 = 235$ Н/мм²). Для конструкций и обшивки ледового пояса многоцелевого судна ледового плавания, на начальных стадиях его проектирования, усредненное значение напряжения текучести можно принять 275 Н/мм².

Для многоцелевых судов ледового плавания при поперечной системе набора в районе ледового пояса нормальная шпация может иметь ха-

ракетные значения в диапазоне от 0,50 до 1,0 м (или, при условии установки дополнительных промежуточных шпангоутов, – от 0,25 до 0,50 м). Таким образом, в диапазоне критических толщин сплошного ледового поля более вероятно второе из рассмотренных выше (7) расчетных условий $a/h < 2,283$. Зависимость предельного давления на бортовое перекрытие с учетом определенных преобразований имеет вид

$$p = 4 \times \sigma_0 \times (\delta/a)^2 \times (1 + 0,5 \times a/h)^2. \quad (8)$$

Наибольшая толщина h сплошного ледового поля, давление которого способен выдержать корпус судна, определяется по рекомендации Регистра (условие прочности корпуса по Регистру) с учетом равенства давления p_{ICE} , при котором происходит разрушение сплошного ледового поля при потере устойчивости слоя, и давления p , выдерживаемого бортовым перекрытием

$$p_{ICE} = p. \quad (9)$$

Приравняв оценки: внешней нагрузки и выдерживаемой нагрузки по формулам (6) и (8), условие прочности корпуса по Регистру (9) можно представить как

$$0,61 \times \sqrt{h} = 4 \times \sigma_0 \times (\delta/a)^2 \times (1 + 0,5 \times a/h)^2,$$

данное уравнение (условие прочности при обжатии судна сплошным ледовым полем) можно преобразовать к виду

$$h^{5/2} \times 0,1525 / (\sigma_0 \times (\delta/a)^2) - h^2 - h \times a - 0,25 \times a^2 = 0. \quad (10)$$

С учетом относительной малости слагаемого $0,25 \times a^2 \sim 0,05$ (это допущение является безопасным, так как связано с некоторой недооценкой на величину порядка $0,2 \div 0,25$ м предельной толщины сплошного ледового поля, выдерживаемой бортовым перекрытием) условие прочности при обжатии судна имеет вид

$$h^{3/2} \times 0,1525 / (\sigma_0 \times (\delta/a)^2) \approx h + a.$$

Таким образом, при заданном размере шпации для поперечной системы набора, зависящая от толщины льда при обжатии корпуса судна со стороны бортов, необходимая для сохранения прочности толщина обшивки, с учетом запаса $\Delta\delta$ на износ равна

$$\delta \approx 0,3905 \times a \times \sqrt{h^{3/2} / (h + a)} / \sqrt{\sigma_0} + \Delta\delta. \quad (11)$$

По рекомендации Регистра запас на коррозионный износ листовых элементов, нормативный срок, которых, превышает 12 лет равен $\Delta\delta = u \times (T - 12)$. Если срок службы обшивки отдельно не установлен, то можно принять 24 года. Среднегодовое уменьшение толщины многоце-

левого судна ледового плавания на начальных стадиях проектирования можно принять ориентировочно $u \sim 0,2$ мм/год. При этом запас на износ равен $\Delta\delta \approx 2,4$ мм.

Нормальная шпация a_0 находится в соответствии с рекомендацией Регистра в интервале до 1,0 м, в форпике и ахтерпике – до 0,6 м, а в носовой части (за пределами форпика) – до 0,7 м. Для определения нормальной шпации в средней части корпуса рекомендуется формула

$$a_0 \approx (0,002 \times L + 0,48) \pm 25\%.$$

При использовании водоизмещения судна D в качестве переменной (4) взамен переменной длины L , нормальную шпацию можно оценить как

$$a_0 \approx (0,0017 \times D^{1/2} + 0,48) \pm 25\% \quad (12)$$

Зависимость рекомендуемой Регистром нормальной шпации a_0 , при использовании водоизмещения судна D в качестве переменной (4) взамен переменной длины L представлена на графике (Рис. 5).

В отношении конструкций в районе ледовых усилений логично предположение, что могут устанавливаться промежуточные дополнительные шпангоуты, при этом размер пластины a обшивки будет вдвое меньше нормальной шпации a_0 .

Зависимость минимальной толщины обшивки δ судна ледового плавания, необходимой с точки зрения прочности в условиях сжатия судна сплошным ледовым полем толщины h , от водоизмещения D показана на графике (Рис. 6, варианты до категорий: Icebreaker6, 7).

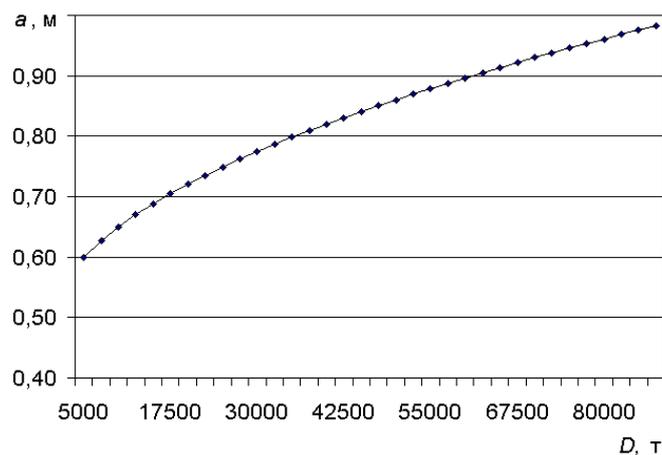


Рис. 5. Зависимость нормальной шпации a от водоизмещения D многоцелевого судна ледового плавания

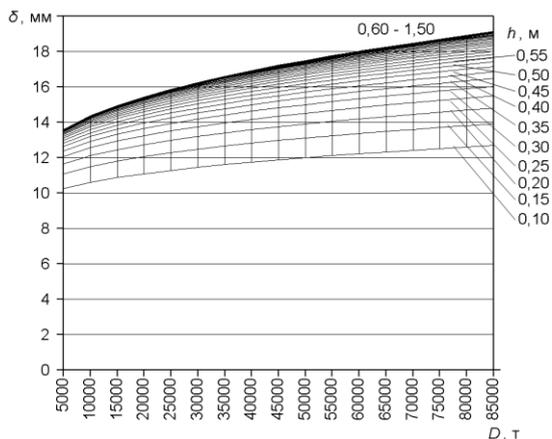


Рис. 6. Зависимость толщины обшивки δ от водоизмещения судна D и толщины h форсируемого сплошного ледового поля

4. Определение дополнительной толщины обшивки и дополнительной массы корпуса при соответствии корпуса заданным ледовым качествам

Для оценки влияния ледовых качеств судна на массу корпуса и на водоизмещение необходимо, также, определить в качестве базы для сопоставления толщину обшивки без учета ледовой нагрузки. Имеются рекомендации Регистра. В общем случае толщина обшивки в соответствии с рекомендациями определяется в зависимости от поперечной нагрузки (расчетного давления p) как

$$\delta = m \times a \times k \times \sqrt{p / (k_{\sigma} \times \sigma_0)} + \Delta\delta, \quad (13)$$

где m , k_{σ} – коэффициенты изгибающего момента и нормальных напряжений, для бортовой обшивки коэффициент момента равен $m \approx 15,8$, а коэффициент допускаемых нормальных напряжений составляет $k_{\sigma} = 0,00283 \times L + 0,566$; $k = 1,2 - 0,5 \times a / b$ – коэффициент, характеризующий соотношение размеров листового элемента обшивки: a – меньший размер, b – больший размер, коэффициент k равен не более единицы, для использования на начальных стадиях проектирования судна с поперечной системой набора можно приближенно принять $k = 1,0$.

С учетом указанных данных толщина обшивки борта многоцелевого судна ледового плавания в зависимости от расчетного давления p определяется как

$$\delta = 15,8 \times a \times \sqrt{p / ((0,00283 \times L + 0,566) \times \sigma_0)} + 2,4,$$

или, при использовании водоизмещения судна D в качестве переменной (4) взамен переменной длины L

$$\delta = 15,8 \times a \times \sqrt{p / ((0,00238 \times D^{1/2} + 0,566) \times \sigma_0)} + 2,4. \quad (14)$$

Для оценки влияния ледовых качеств судна на массу корпуса и на водоизмещение необходимо в качестве базы для сопоставления определить, также, толщину обшивки без учета ледовой нагрузки. Имеются рекомендации Регистра.

Расчетное давление, обусловленное перемещением судна относительно профиля волны при определении толщины обшивки судна в соответствии с рекомендациями Регистра определяется как

$$p = p_W = 5 \times c_W \times a_V \times a_X \geq 3 \times c_W, \text{ кПа},$$

(формула 1.3.2.2–1, [9])

Причем, расчетное давление по указанной формуле определяется на уровне грузовой ватерлинии $p_W = p_{W0}$, то есть, на уровне ледового поля поскольку результат в дальнейшем используется как база для сравнения при определении влияния на массу корпуса и на водоизмещение многоцелевого судна ледового плавания его ходовых качеств в сплошном ледовом поле заданной толщины. Расчетное давление определяется на основе оценки волнового воздействия. Увеличение расчетного давления с глубиной в пределах осадки судна не входит в расчетную нагрузку.

Различие оценок нагрузки под воздействием сплошного ледового поля и без воздействия на определяемую толщину обшивки применяется в отношении корпуса в целом как предпосылка для оценки на начальных стадиях проектирования влияния на массу корпуса и на водоизмещение судна его ледовых качеств.

Учитывается, что воздействие ледового поля на бортовую обшивку по локализации имеет распределенный характер, и давление на корпус судна вероятно распределяется в пределах осадки, а также, при определенных обстоятельствах оказывается давление льда на днище судна. Также, учитывается, что сжатие корпуса сплошным ледовым полем со стороны бортов производится по всей длине судна.

Надо отметить, что в подходах к конструктивной прочности бортовых перекрытий есть возможные альтернативы [13], связанные, во-первых, с возможностью увеличения толщины обшивки для повышения прочности бортового перекрытия, при этом ниже затраты на постройку и увеличивается коррозионная долговечность корпуса, и, во-вторых, с возможностью повышения прочности перекрытия с усилением набора балок главного направления, или с увеличением их количества за счет уменьшения шпации, или за счет установки дополнительного набора в нагруженных местах.

При проектировании конструктивных элементов многоцелевого судна ледового плавания обе указанные альтернативы подлежат рассмотрению. В то же время, на начальных стадиях проектирования судна при определении его характеристик, служащих на последующих стадиях данными для определения элементов судна и его кон-

струкций, можно придерживаться одного из выбранных подходов, например, первого, при котором искомой характеристикой служит достаточная толщина, или второго, когда определяется минимальная шпация, соответствующая условиям прочности бортового перекрытия при заданной толщине обшивки.

В данной работе при оценке прочности искомой характеристикой выступает толщина обшивки, что дает возможность определить дополнительную массу корпуса судна, обладающего ходовыми качествами в условиях сплошного ледового поля определенной толщины. При этом учитывается, что иной возможный подход, при котором толщина обшивки оставалась бы неизменной, а менялись бы элементы набора и шпация в зависимости от заданной толщины ледового поля, не означал бы экономию массы корпуса судна в целом, так как возрастала бы масса набора. Выбор подхода, при котором обеспечивается достаточная прочность корпуса, служит предметом компромисса решений на последующих этапах проектирования, – при определении конструктивных элементов многоцелевого судна ледового плавания. Но этот компромисс менее актуален для начальной стадии проектирования, – при определении характеристик судна, так как оба способа усиления бортового перекрытия, как за счет увеличения толщины обшивки, так и за счет усиления набора главного направления, означают соразмерное влияние на массу корпуса и водоизмещение.

Требуется, также, заметить, что прочность конструкции многоцелевого судна ледового плавания во многом зависит от характеристик отдельных элементов: форштевня и ахтерштевня, выступающих частей, движителей, рулей и плавников, а также, рамного бортового набора на участках, где он используется, килля и скегов. Разделяя важность задач проектирования и изготовления перечисленных конструктивных элементов судна с соблюдением их прочности в ледовом поле заданной толщины, нужно заметить меньшее результирующее влияние этих конструктивных элементов на массу корпуса, чем влияние массы обшивки, толщина которой зависит от заданной толщины ледового поля.

Для оценки расчетного давления p (1.3.2.2–1, [9]) значения коэффициентов могут определяться как $a_x \approx 0,267$;

$c_w = 10,75 - (3 - 0,01 \times L)^{3/2}$ или, при использовании водоизмещения судна D в качестве переменной (4) взамен переменной длины L по формуле $c_w = 10,75 - (3 - 0,00840 \times D^{1/2})^{3/2}$.

Зависимость коэффициента c_w от водоизмещения судна D представлена на графике (Рис. 7).

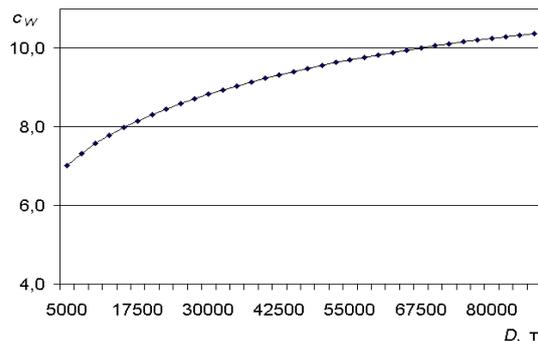


Рис. 7. Зависимость расчетного коэффициента c_w от водоизмещения судна D

Зависимость коэффициента a_v от скорости относительно профиля волны v_0 (м/с)

$$a_v = 0,8 \times v_0 \times (0,001 \times L + 0,4) / \sqrt{L} + 1,5$$

при использовании водоизмещения судна D в качестве переменной (4) взамен переменной длины L имеет вид (Рис. 8).

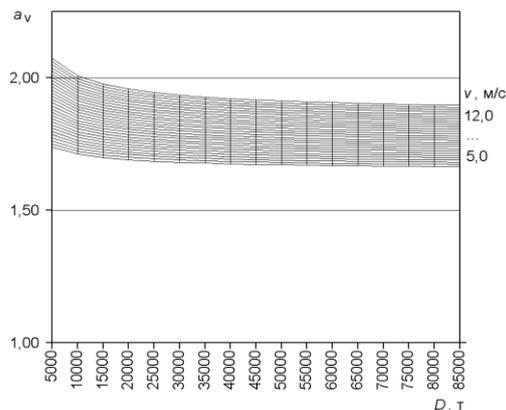


Рис. 8. Зависимость расчетного коэффициента a_v от водоизмещения судна D и скорости v

По анализу графиков для диапазона значений водоизмещения D от 5000 до 85000 т и скорости v_0 от 5,0 до 12 м/с относительно профиля расчетной волны, определено, что коэффициент a_v равен от 1,7 до 2,0. Соответственно на начальной стадии проектирования судна для расчетов можно принять коэффициент $a_v \approx 1,85$. После преобразований, рекомендованная зависимость расчетного давления p (формула 1.3.2.2–1, [9]) в функции от водоизмещения D принимает вид

$$p \approx 2,47 \times (10,75 - (3 - 0,00840 \times D^{1/2})^{3/2}).$$

На графике (Рис. 9) показана зависимость от водоизмещения D для расчетного давления p на уровне грузовой ватерлинии, определяемого в качестве базы для сравнения, без учета воздействия сплошного ледового поля.

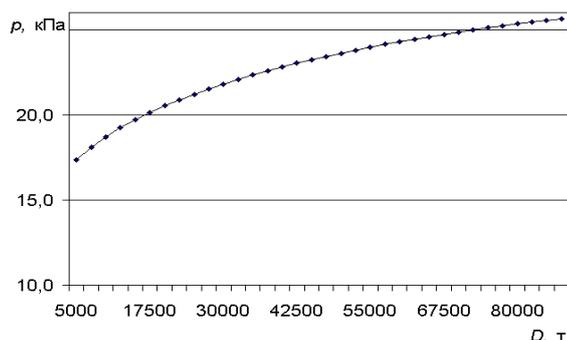


Рис. 9. Зависимость расчетного давления p без учета воздействия сплошного ледового поля от водоизмещения судна D

Значение толщины обшивки, определяемое без учета ледовой нагрузки, может при использовании водоизмещения судна D в качестве переменной (4) взамен переменной длины L определяться по формуле (14).

Зависимости толщины обшивки δ и минимальной толщины обшивки δ_{MIN} от водоизмещения судна D без учета ледовой нагрузки представлены на графике (Рис. 10).

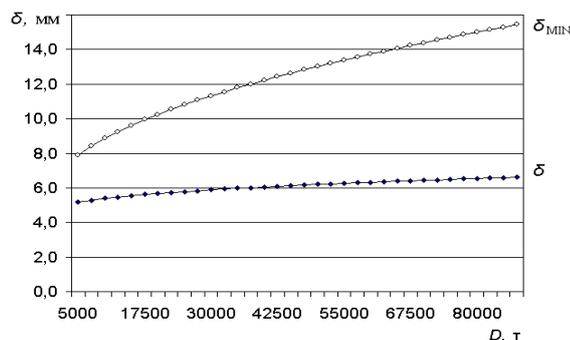


Рис. 10. Зависимости расчетной толщины обшивки δ и минимальной толщины обшивки δ_{MIN} от водоизмещения судна D без учета ледовой нагрузки

Предполагая в качестве допущения на начальных стадиях проектирования, что коэффициент использования механических свойств стали равен единице $\eta = 1,0$, минимальную толщину обшивки судна в соответствии с рекомендациями Регистра можно определить как $\delta_{MIN} = 5,5 + 0,04 \times L$, или, при использовании водоизмещения судна D в качестве переменной (4) взамен переменной длины L , что удобнее при определении характеристик судна, минимальную толщину обшивки можно определить как

$$\delta_{MIN} = 5,5 + 0,0336 \times D^{1/2}. \tag{15}$$

По анализу графиков без учета ледовой нагрузки определено, что толщина обшивки, соответствующая расчетному волновому давлению на уровне конструктивной ватерлинии, меньше рекомендованной минимальной толщины обшивки, что означает выбор толщины, соответствующей минимальной рекомендованной δ_{MIN} . Полу-

ченная разность: зависимость дополнительной толщины обшивки $\delta - \delta_{MIN}$ судна ледового плавания от водоизмещения D и заданных ледовых качеств – толщины сплошного ледового поля h показана на графике (Рис. 11).

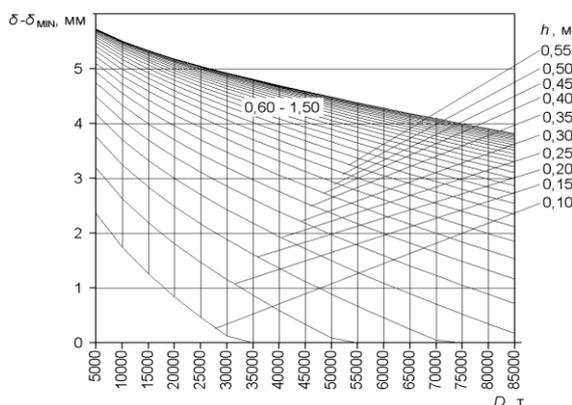


Рис. 11. Зависимость дополнительной толщины обшивки $\delta - \delta_{MIN}$ судна ледового плавания от водоизмещения D и заданных ледовых качеств – толщины сплошного ледового поля h

Анализ графика позволяет сделать вывод, что наибольшая дополнительная толщина обшивки $\delta - \delta_{MIN}$ многоцелевого судна ледового плавания требуется при меньшем водоизмещении D , другими словами, меньшее влияние необходимые ледовые качества оказывают на проектные характеристики и элементы судов большого водоизмещения. Причем, отличие характеристик судов, способных ровным ходом форсировать сплошное ледовое поле толщиной 1,0 и 1,5 м, меньше, чем различие характеристик судов, способных форсировать ледовое поле толщиной 0,5 и 1,0 м.

5. Влияние ходовых качеств судна в ледовых условиях на его водоизмещение при проектировании

Поскольку зависимости толщины обшивки и массы корпуса судна в соответствии с уравнением баланса массы приводит к зависимости водоизмещения, то для оценки влияния ходовых качеств судна в условиях ледового поля на водоизмещение D нужно:

- определить приращение массы корпуса ΔP в зависимости от заданного ледового, характеризуемого наибольшей толщиной h форсируемого ледового поля, косвенно заданное как дополнительная толщина бортовой обшивки $\delta - \delta_{MIN}$;
- а также, найти коэффициент баланса приращений массы и водоизмещения [1, 2] η_H – так называемый коэффициент Нормана.

Тогда приращение водоизмещения ΔD_p , вызванное изменением массы корпуса многоцелевого судна ледового плавания, по сравнению с вариантом судна без учета ледовой нагрузки на корпус составляет $\Delta D_{P(h)} = \eta_H \times \Delta P(h)$, где ΔP –

приращение массы корпуса в зависимости от толщины сплошного ледового поля; в общем виде, совокупность заданных функций многоцелевого судна ледового плавания можно обозначить вектором (множеством) данных Z , к числу характеристик этих функций, в частности, относится толщина форсируемого сплошного ледового поля h , и, если известна зависимость массы корпуса от толщины обшивки, зависящей, в свою очередь, от толщины льда $P(\delta(h))$, тогда можно определить приращение массы корпуса как

$$\Delta P = \sum_n \frac{dP(Z)}{dZ} \times \Delta Z = \frac{dP(\delta(h))}{d\delta} \times \Delta \delta = S_0 \times (7,850/1000) \times (\delta - \delta_{MIN}),$$

где $\frac{dP(\delta(h))}{d\delta} = S_0 \times 7,850/1000$, – частная производная массы корпуса, зависящей от толщины обшивки, пропорциональная площади поверхности корпуса; S_0 – площадь обшивки корпуса судна, включая площадь смоченной поверхности и площадь надводного борта, кв. м; 7,850 т/куб. м – массовая плотность конструкционной стали; $\Delta \delta = \delta - \delta_{MIN}$, – приращение толщины обшивки, зависящее от заданной толщины h форсируемого сплошного ледового поля, как одна из функций многоцелевого судна ледового плавания; δ – толщина обшивки, зависящая от толщины сплошного ледового поля h при обжатии корпуса судна, необходимая для сохранения прочности судна, с учетом запаса на износ, определяемая по рассмотренной формуле (11) как

$$\delta \approx 390,5 \times a \times \sqrt{h^{3/2}/(h+a)} / \sqrt{\sigma_0} + 2,4;$$

δ_{MIN} – минимальная толщина обшивки.

Входящие величины определяются следующим образом. Площадь S_0 обшивки корпуса судна в целом с учетом зависимости площади смоченной поверхности $\Omega \approx k_T \times \sqrt{D \times L / 1,025}$, где коэффициент $k_T \approx 2,66 \pm 0,11$ по Тейлору [1, С 211, 212], и с учетом площади поверхности корпуса выше ватерлинии составляет

$$S_0 \approx \Omega + (2 \times L + B) \times (H - T).$$

При подстановке данных по имеющимся зависимостям между характеристиками и элементами многоцелевого судна ледового плавания

$$B = 0,185 \times L + 5,25, \quad H = 0,0282 \times L + 9,13$$

$T = 0,0134 \times L + 7,55$, и при использовании водоизмещения судна D в качестве переменной (4) взамен переменной длины L , площадь смоченной поверхности равна $\Omega \approx 2,408 \times D^{3/4}$, результирующая зависимость площади поверхности корпуса судна от водоизмещения имеет вид

$$S_0 \approx 0,02282 \times D + 2,408 \times D^{3/4} + 2,965 \times D^{1/2} + 8,30, \quad \text{кв. м} \quad (16)$$

Зависимость приращения массы корпуса ΔP от водоизмещения D и от толщины h форсируемого сплошного ледового поля показана на графике (Рис. 12)

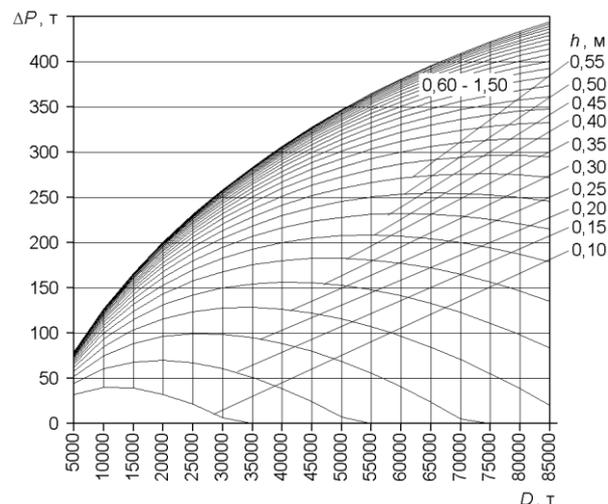


Рис. 12. Приращение массы корпуса ΔP в зависимости от водоизмещения D и от толщины форсируемого сплошного ледового поля h

Если с использованием методов оптимизации по экономическому критерию определена та или иная проектная характеристика многоцелевого судна ледового плавания, например, дедвейт DW , то зависимую характеристику, в данном примере, водоизмещение D , можно определить, используя уравнение баланса водоизмещения [1, 2] как

$$D = DP + DW = \sum_n P(D^{A_n}, Z) + DW, \quad (17)$$

$$\text{или } D - \sum_n P(D^{A_n}, Z) - DW = 0,$$

где D – полное водоизмещение судна (масса снаряженного судна с грузом, масса вытесненной воды при осадке по грузовой марке); DW – проектный дедвейт по грузовой ватерлинию, включая массу груза, топлива, балласта, экипажа, судовых запасов и других переменных составляющих нагрузки, а также задаваемые при проектировании постоянные составляющие полезной нагрузки, которые при проектировании многоцелевого судна ледового плавания не зависят от его водоизмещения D (с формальной стороны, зависят от водоизмещения в нулевой степени D^0), например, такие задаваемые при проектировании составляющие полезной нагрузки, как масса оборудования создаваемого до проектирования судна и поставляемого в заказе, проектный дедвейт как используемая характеристика имеет отличие от эксплуатационного дедвейта, означающего сумму переменных составляющих нагрузки; DP – водоизмещение порожнем,

$$DP = \sum_n P(D^{A_n}, Z); P(D^{A_n}, Z) - \text{слагаемые во-}$$

доизмещения порождем, включая массу корпуса, оборудования, систем и устройств, двигателя и силовой установки, механизмов и оборудования машинного отделения, запас водоизмещения и другие слагаемые нагрузки масс, зависящие от водоизмещения D многоцелевого судна ледового плавания и от данных Z (т.е. от множества или вектора данных); n – количество зависимых от водоизмещения D его слагаемых.

Необходимо терминологическое пояснение. Наименование «водоизмещение», используемое без дополнительного определения в данном исследовании, означает полное водоизмещение (масса судна с наибольшим грузом при осадке по грузовую марку).

В основе уравнения баланса многоцелевого судна ледового плавания используется вероятностное системное свойство совокупного влияния многих факторов на водоизмещение судна, с учетом того, что влияние каждого из факторов мало-значительно.

Характеристика дедвейта DW в рассматриваемых расчетных моделях для многоцелевого судна ледового плавания понимается не только как сумма переменных составляющих нагрузки, включая: груз, топливо, снабжение, балласт, остаточные трюмные воды или вода на палубе, экипаж с багажом, т.д., что обычно для определения дедвейта при эксплуатации судна, а как проектный дедвейт, включающий к максимальной сумме перечисленных слагаемых, также, специальные разделы нагрузки, характеризующие массу главного оборудования, создаваемого до проектирования судна, которое, с этой точки зрения, как раз проектируется для установки указанного главного оборудования, в соответствии с функцией по назначению многоцелевого судна ледового плавания.

То есть, в состав проектного дедвейта DW в рассматриваемых моделях расчетов характеристик проектируемого судна входят как переменные составляющие нагрузки (их максимальная сумма), так и постоянные составляющие, – масса тех элементов, которые заданы при проектировании многоцелевого судна ледового плавания, то есть, которые созданы до проектирования судна и являются поставками, не выбираемыми из серийно освоенных образцов, а специально разрабатываемыми для судна этого типа в соответствии с его назначением.

Судно проектируется для установки указанного оборудования. Данное оборудование многоцелевого судна ледового плавания является его основной системой при определении проектных характеристик. Масса поставляемого оборудования такого типа (главного оборудования, например, модульного), не разрабатываемого при проектировании судна, входит в состав проектного дедвейта, наряду с максимальной массой переменных грузов.

В уравнение баланса водоизмещения (14) слагаемые проектного дедвейта входят в нулевой степени ($A_n = 0$) зависимости от водоизмещения (то есть $D^{(0)}$). Другими словами, слагаемые проектного дедвейта на начальных стадиях проектирования многоцелевого судна ледового плавания не зависят от водоизмещения проектируемого судна.

Нужно добавить, что по мере продвижения стадий проекта судна и по мере принятия решений по каждому из элементов судна, масса тех элементов, окончательное решение в отношении которых принято на соответствующей стадии проекта кроме исходного проектного дедвейта, дальше принимается независимой от водоизмещения в составе уравнения баланса нагрузки. При этом на разных стадиях проектирования уточняется масса судна как результат уравнения баланса водоизмещения, а само уравнение баланса постепенно трансформируется в таблицу нагрузки создаваемого судна с фиксированными значениями масс всех элементов.

Общие формы уравнения массы многоцелевого судна ледового плавания, в функции от водоизмещения D , определяемые на основе обобщений данных, имеют вид

$$\begin{aligned} 0,474 \times D - 0,000002 \times D^2 - 626 - DW &= 0, \\ 0,416 \times D - 240 - DW &= 0, \\ D - D^{0,946} - DW &= 0, \text{ т.} \end{aligned} \quad (18)$$

Уравнение баланса водоизмещения в форме приращений (коэффициент Нормана [1, 2]) имеет вид

$$\eta_H = \frac{dD}{dD - d \sum_n P(D^{A_n})} = \frac{dD}{\Delta D}, \quad (19)$$

где ΔD – заданное приращение водоизмещения, $\Delta D = dD - \sum_n d(P(D^{A_n}))$;

$\sum_n d(P(D^{A_n}))$ – вызванное приращение водоизмещения, dD – полное приращение – водоизмещения, $dD = \Delta D + \sum_n d(P(D^{A_n}))$.

Заданное приращение водоизмещения включает явную и неявную (косвенно задаваемую) части. Явная часть приращения соответствует приращению проектного дедвейта ΔDW , а косвенная, – приращению остальных слагаемых нагрузки в зависимости от приращений данных, в общем виде, от характеристик заданных функций многоцелевого судна ледового плавания. То есть неявно заданное приращение нагрузки для многоцелевого судна ледового плавания имеет вид

$$\sum_n \Delta(P(\Delta Z)) = \sum_n \frac{dP(Z)}{dZ} \times \Delta Z.$$

Таким образом, суммарное заданное приращение водоизмещения в сумме явной и неявной частей определяется как

$$\Delta D = \Delta DW + \sum_n \frac{dP(Z)}{dZ} \times \Delta Z. \quad (20)$$

Использование коэффициента Нормана для определения полного приращения водоизмещения dD многоцелевого судна ледового плавания в пропорциональной зависимости от заданного приращения водоизмещения ΔD производится следующим образом

$$dD = \eta_H \times \Delta D. \quad (21)$$

То есть, полное приращение водоизмещения судна равно

$$dD = \Delta DW + \sum_n \frac{dP(Z)}{dZ} \times \Delta Z + \sum_n d(P(D^{A_n})), \quad (22)$$

или, с использованием коэффициента Нормана

$$dD = \eta_H \times \left(\Delta DW + \sum_n \frac{dP(Z)}{dZ} \times \Delta Z \right). \quad (23)$$

Нужно заметить, что при использовании коэффициента Нормана в составе расчетных моделей для определения водоизмещения при проектировании многоцелевого судна ледового плавания прототип рассматривается как методологическое понятие для построения алгоритма оценки водоизмещения, а не для нахождения его числового значения. Преобразованием двух из выше рассмотренных (18) форм уравнения баланса водоизмещения коэффициент Нормана можно определить как

$$\eta_H = \frac{1}{1 - 0,584} = 2,40; \quad \eta_H = \frac{1}{1 - 0,946/D^{0,054}}. \quad (24)$$

Сопоставление этих форм коэффициента Нормана для многоцелевого судна ледового плавания показывает (Рис. 13), что числовые значения, определяемые по ним, достаточно близки и составляют в интервале от 2,10 до 2,40. Указанные полученные значения коэффициента Нормана говорят о том, что заданное приращение нагрузки в сумме: приращения проектного дедвейта ΔDW и косвенно заданного приращения компонентов нагрузки $\sum_n \frac{dP(Z)}{dZ} \times \Delta Z$ приводит к соответствующему приращению водоизмещения в пропорции от 2,10 до 2,40.

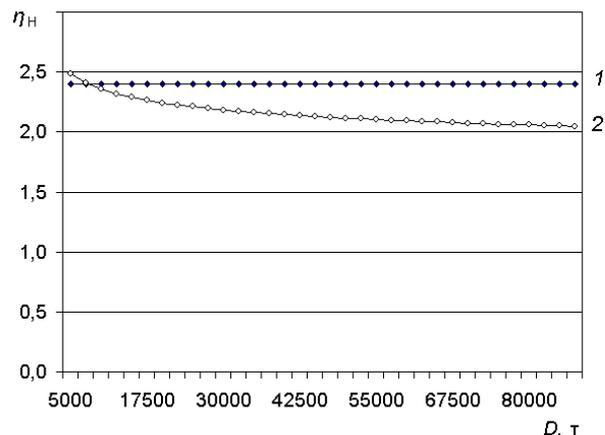


Рис. 13. Зависимость коэффициента Нормана η_H от водоизмещения D

С использованием коэффициента Нормана в составе расчетной модели определено увеличение водоизмещения ΔD_p в зависимости от водоизмещения D и толщины сплошного ледового поля h форсируемого сплошным ходом, результаты показаны на графике (Рис. 14).

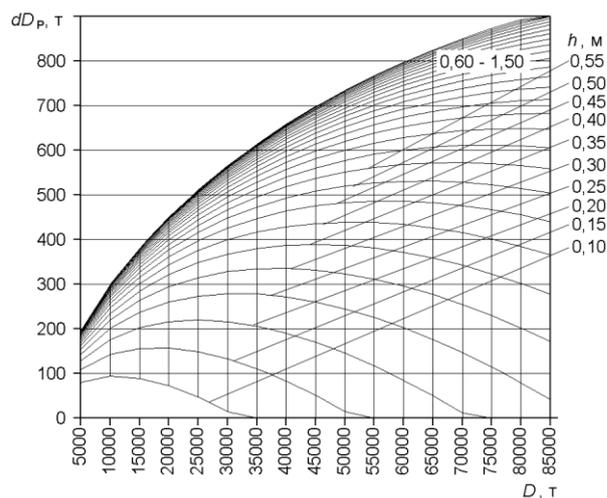


Рис. 14. Зависимость увеличения водоизмещения ΔD_p от водоизмещения D и толщины h сплошного ледового поля, форсируемого сплошным ходом

Анализ графика позволяет сделать вывод, что наибольшее увеличение водоизмещения ΔD_p многоцелевого судна ледового плавания требуется судам меньшего водоизмещения D . По относительной величине меньшее влияние ледокольная функция многоцелевого судна ледового плавания оказывает на проектные характеристики и элементы судов большого водоизмещения.

6. Оценка водоизмещения варианта многоцелевого учебного судна ледового плавания

Среди функций многоцелевых ледоколов обычно указываются следующие [5], осуществля-

емые в ледовых условиях: буксировка и доставка грузов, экипажей, персонала, грузовые операции, обеспечение подводных работ, поисковые операции, спасательные, работы по охране морской среды и др. Поскольку одним из перспективных направлений развития инновационного судостроения можно считать создание многоцелевых ледоколов, то к данному направлению относятся, соответственно, учебные многоцелевые суда ледового плавания. В качестве примера оценки полезной нагрузки и водоизмещения ниже рассматривается вариант учебного многоцелевого судна ледового плавания [14], создаваемого для работ и для обучения управлению производственными и техническими процессами в морях и на шельфовых месторождениях природного газа и нефти.

Учебное судно для месторождений природного газа на шельфе с функциями снабжения (обеспечения), включая доставку генерального груза, контейнеров, крупногабаритных грузов на палубе, топлива, пассажиров, пригодное для работы в замерзающих морях, для выполнения спасательных операций, совмещающее перечисленные функции с возможностью своей доправки в море на обслуживаемом месторождении. Предполагается использование комбинированной энергетической установки, работающей не только на дизельном топливе, но и на испарениях природного газа, перевозимого или бункерного, в основном, метана, или на смеси природного газа с дизельным топливом. Помимо этого, судно включает функции обучения курсантов судовождению, процессам эксплуатации и технического обслуживания судового энергетического оборудования, работающего как на дизельном топливе, так и на природном газе, обслуживанию электрооборудования, судовых механизмов, устройств и автоматов, а также процессам переработки природного газа (сжижения) на борту и хранения сжиженного природного газа. Учебное судно в указанном варианте может, также, использоваться в качестве опытного плавучего предприятия по переработке природного газа и в качестве плавучей электростанции на газовом топливе. На многоцелевом судне ледового плавания для обслуживания шельфовых газовых месторождений предусматриваются газодизельные генераторы и топливная аппаратура для подготовки смеси дизельного топлива и природного газа (<http://truckunion.ru/page/Gazodisel/>).

Предусматривается универсальный трюм в средней части, смежный с машинным отделением, который может быть модульно оснащен как дополнительное машинное отделение. В трюме может размещаться оборудование по переработке (сжижению) газа и газоэнергетическое оборудование в модульном исполнении в стандартных габаритах контейнеров ISO, подсоединяемое к системам судна: к системе приема природного газа, к системе отвода выхлопных газов, к систе-

ме утилизации испарений природного газа, к электрической силовой сети движения, к автоматизированной системе управления. Оборудование для переработки, хранения и использования природного газа включает:

- модульные блоки в каркасном контейнерном исполнении для сжижения природного газа (производительность каждого составляет до 1,5 т / час, в сумме четыре блока для сжижения природного газа при суммарной производительности до 125 т сжиженного газа в сутки, обеспечивающие заполнение контейнеров–цистерн в течение периода от 2,5 до 3 суток);

- контейнер–цистерны для сжиженного природного газа (емкость каждой равна до 15 т сжиженного газа, до 20 шт. суммарной емкостью 300 т, что соответствует автономности судна при использовании газового топлива до 10 суток);

- газотурбинные генераторные установки в каркасных контейнерах (мощностью до 2000 кВт каждый, всего 4 шт. рассчитанные на энергообеспечение около 50 % потребления судна на ходу без использования дизельного топлива в смеси, а также на энергообеспечение производства сжиженного газа при приеме природного газа и на энергообеспечение потребителей при работе судна в качестве плавучей электростанции).

Суммарная масса всех контейнерных модулей составит около 1000 т, включая цистерны, заполненные сжиженным газом (около 300 т). Указанная масса является дополнительной к эксплуатационному дедвейту, т.е. к сумме переменных слагаемых нагрузки. Суммарная мощность генераторов, как газодизельных, так и газотурбинных в составе комбинированной силовой установки в данном варианте учебного судна, составляет до 26 тыс. кВт, хотя для движения используется мощность от 16 до 19 тыс. кВт.

Определение водоизмещения D на этапе проектирования многоцелевого судна ледового плавания производится в зависимости от данных, другими словами, ограничений при проектировании судна, служащих характеристиками более общих систем, к которым судно относится как элемент:

- от проектного дедвейта DW , включая не только наибольшую массу переменных грузов, но всех систем, оборудования и устройств, соответствующих назначению судна, например, силовой установки ледокольного судна или реактора и т.д., создаваемых до проектирования многоцелевого судна ледового плавания, то есть, суммарную нагрузку, входящую в нулевой степени зависимости от водоизмещения в уравнение баланса, причем, влияние проектного дедвейта на водоизмещение целесообразно учитывать с использованием уравнения баланса водоизмещения (18);

- и ледокольной функции, например, характеризуемой толщиной h сплошного ледового поля и предположением, что остальные критерии мореходности в условиях льда зависят от способности судна двигаться в сплошном ледовом поле

определенной толщины, можно рекомендовать учитывать при проектировании судна влияние ледокольной функции в форме приращения водоизмещения, с использованием дифференциальной формы уравнения баланса, – коэффициента Нормана (19).

То есть, при определении водоизмещения D на этапе проектирования многоцелевого судна ледового плавания с учетом двух названных групп данных, оказывающих влияние разного порядка на результирующий показатель, можно придерживаться принципа суперпозиции влияния этих групп данных и находить последовательно оба слагаемых в дифференциальном уравнении баланса водоизмещения

$$D(DW, h) = D(DW) + \Delta D_{P(h)}, \text{ или}$$

$$D(DW, h) = D(DW) + \eta_H \times \Delta P(h). \quad (25)$$

Соответственно, водоизмещение D многоцелевого судна ледового плавания в зависимости от проектного дедвейта DW определяется как

$$D(DW) = \frac{0,474 - \sqrt{0,220 - 0,000008 \times DW}}{0,000004}, \quad (26)$$

Форма результирующей зависимости $D(DW)$ представлена на графике (Рис. 15).

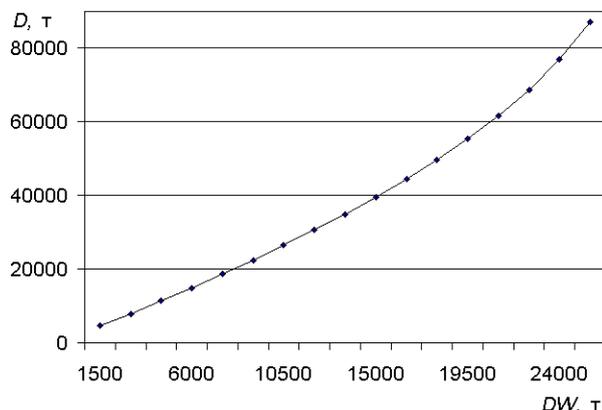


Рис. 15. Зависимость водоизмещения D от проектного дедвейта DW многоцелевого судна ледового плавания

А приращение $dD_p = \eta_H \times \Delta P(h)$ водоизмещения с учетом определенной толщины h сплошного ледового поля, которое должно преодолеть судно ровным ходом, с использованием ранее полученных формул (11), (15) и (16) для оценки входящих показателей: δ_{MIN} , δ и S_0 в зависимости от коэффициента Нормана (24, Рис. 15) можно рекомендовать определить по формуле $dD_p \approx \eta_H \times S_0 \times (7,850/1000) \times (\delta - \delta_{MIN})$.

Результаты оценки приращения водоизмещения от проектного дедвейта DW и заданной толщины

h сплошного ледового поля показаны на графике (Рис. 16).

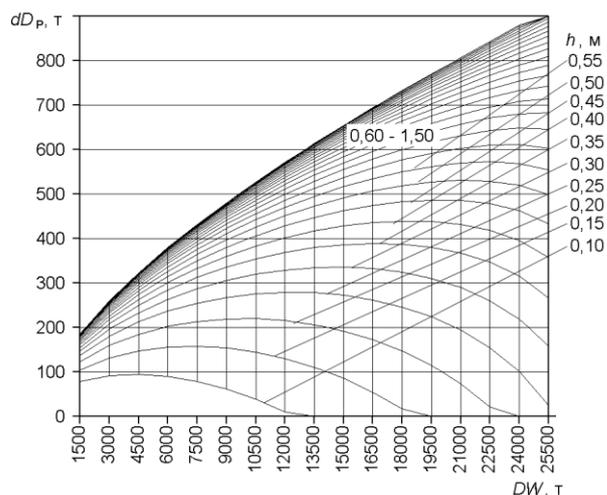


Рис. 16. Зависимость увеличения водоизмещения dD_p от проектного дедвейта DW и толщины h сплошного ледового поля в соответствии с категорией судна

8. Заключение

Анализ факторов, влияющих на проектный дедвейт и на водоизмещение многоцелевого судна ледового плавания позволяет прийти к следующим выводам:

1. Целью на начальном этапе проектирования многоцелевого судна ледового плавания служит определение характеристик, которые на других этапах проектирования используются в качестве данных при определении проектных элементов судна.

2. В отличие от серийных судов при проектировании многоцелевого судна ледового плавания проектные ограничения находятся как характеристики главной системы судна, специально создаваемой до разработки проекта судна, или как заданная ледокольная функция судна.

3. На начальных стадиях проектирования предполагается иерархия критериев прочности и ходовых качеств в условиях ледового поля, которая означает, что остальные критерии соблюдаются при достаточной мощности силовой установки и прочности корпуса судна для движения ровным ходом в сплошном ледовом поле заданной толщины.

4. В подходах к конструктивной прочности бортовых перекрытий есть возможные альтернативы, связанные с возможностью увеличения толщины обшивки для повышения прочности бортового перекрытия, и с усилением набора балок главного направления или с увеличением их количества за счет уменьшения шапации. В первом варианте ниже затраты на постройку и увеличивается коррозионная долговечность корпуса.

5. Дополнительная толщина обшивки многоцелевого судна ледового плавания требуется су-

дам меньшего водоизмещения, другими словами, меньшее влияние необходимые ледовые качества оказывают на проектные характеристики и элементы судов большего водоизмещения.

6. Для оценки влияния ходовых качеств судна в условиях ледового поля на водоизмещение нужно определить приращение массы корпуса в зависимости от заданного ледового качества, найти так называемый коэффициент баланса заданных приращений нагрузки и водоизмещения. Числовые значения коэффициента баланса для многоцелевого судна ледового плавания, достаточно близки и составляют в интервале от 2,10 до 2,40.

7. Наибольшее влияние водоизмещения судна в зависимости от заданных при проектировании ледокольных функций требуется судам меньшего водоизмещения, по относительной величине меньшее влияние ледокольная функция

оказывает на проектные характеристики и элементы судов большого водоизмещения (то 60 до 85 тыс. т).

9. Определение водоизмещения при проектировании многоцелевого судна ледового плавания производится в зависимости от данных, служащих характеристиками более общих систем, к которым судно относится как элемент системы, а именно от следующих характеристик: от проектного дедвейта, включая не только наибольшую массу переменных грузов, но всех систем, оборудования и устройств, соответствующих назначению судна, создаваемых специально для установки и использования на судне, причем до проектирования судна, для которого характеристики этого оборудования служат исходными данными; от характеристик ледокольной функции, учитываемой в форме приращения водоизмещения.

Литература

1. Ашик В.В. Проектирование судов: Учебник. – 2-е изд. перераб. и доп. – Л.: Судостроение, 1985.– 320 с., ил.
2. Бронников А.В. Проектирование судов: Учебник. – 2-е изд. перераб. и доп. – Л.: Судостроение, 1991.– 320 с., ил. ISBN 5–7355–0191–7
3. Войлошников М.В. Модели оценки судов, активов морских предприятий и ресурсов океана : Учеб. пособие / М.В. Войлошников. – М.: Общероссийская общественная организация «Российское общество оценщиков», 2010. – 361 с.: ил.– (Энциклопедия оценки) ISBN 978–5–93027–002–0
4. Гайкович А.И. Основы теории проектирования сложных технических систем. – СПб.: НИЦ «МОРИНТЕХ», 2001. – 432 с. ISBN 5–93887–005–4
5. Егоров Г.В., Штрамбранд В.И. Многофункциональные ледоколы и ледоколы–спасатели нового поколения / Вісник Одеського національного морського університету, № 34, 2012 – С. 130– 151
6. Ионов Б.П., Грамузов Е.М. Ледовая ходкость судов. – СПб: Судостроение, 2001. – 512 с. ISBN 5–7355–0576–9
7. Климашевский С. Н. «Расчет проходимости во льду ледоколов и судов ледового плавания, анализ параметров формы корпуса этих судов». Судостроение, 2012, Санкт–Петербург, № 3, С. 11–16.
8. Пашин В.М. Оптимизация судов. – Л.: Судостроение, 1983 .
9. Правила классификации и постройки морских судов, 3 тома. Российский Морской Регистр Судостроения, Санкт–Петербург, 2015; ISBN 978 – 5 – 89331 – 276 –8.
10. Рывлин А.Я., Хейсин Д.Е. Испытания судов во льдах.– Л.: судостроение, 1980. – 208 с.
11. Цой Л.Г. Формула для определения ледопроеходимости и рекомендации по выбору формы обводов корпуса ледоколов и транспортных судов ледового плавания // Перспективные типы морских транспортных судов, их мореходные и ледовые качества // Сб. научн. Трудов ЦНИИМФ. – М.: Транспорт, 1990. – С. 141–144.
12. Цой Л.Г. Определение потребной мощности ледоколов и ледокольно–транспортных судов по заданной ледопроеходимости: Методические указания. – СПб.: СПбГМТУ, 2003. – 27 с.
13. Kulesh V., Ogay S., Voyloshnikov M. Safety of Ships Navigation in Ice and Operational Effectiveness // Proceedings of the Twenty–third International Offshore and Polar Engineering. Vol. 1. Anchorage, Alaska, USA, 2013. – P. 1227–1234.
14. Ogay S., Voyloshnikov M. The concept of multi–functional training vessel // Proceedings of the 27–th Asian–Pacific Technical Exchange and Advisory Meeting on Marine Structures, TEAM–2013. Anchorage, Alaska, USA, 2013. – P. 1227–1234; Keelung. National Taiwan Ocean University – P. 387–392, ISBN 978–986–03–7810–8

References

1. Ashik V.V. Proektirovanie sudov: Uchebnik. – 2-е изд. pererab. i dop. – L.: Sudostroenie, 1985.– 320 s., il.

2. Bronnikov A.V. Proektirovanie sudov: Uchebnik. – 2-e izd. pererab. i dop. – L.: Sudostroenie, 1991.– 320 s., il. ISBN 5–7355–0191–7
3. Voyloshnikov M.V. Modeli ocenki sudov, aktivov morskikh predpriyatij i resursov okeana : Ucheb. posobie M.V. Voyloshnikov. – M.: Obshcherossiyskaya obshchestvennaya organizatsiya «Rossijskoe obshchestvo ocenshchikov», 2010. – 361 s.: il.– (EHnciklopediya ocenki) ISBN 978–5–93027–002–0
4. Gajkovich A.I. Osnovy teorii proektirovaniya slozhnykh tekhnicheskikh sistem. – SPb.: NIC “MORIN-TEKH”, 2001. – 432 s. ISBN 5–93887–005–4
5. Egorov G.V., SHtrambrand V.I. Mnogofunktsional'nye ledokoly i ledokoly–spasateli novogo pokoleniya Visnik Odes'kogo nacional'nogo morskogo universitetu, № 34, 2012 – S. 130– 151
6. Ionov B.P., Gramuzov E.M. Ledovaya hodkost' sudov. – SPb: Sudostroenie, 2001. – 512 s. ISBN 5–7355–0576–9
7. Klimashevskij S. N. «Raschet prohodimosti vo l'du ledokolov i sudov ledovogo plavaniya, analiz parametrov formy korpusa ehtih sudov». Sudostroenie, 2012, Sankt–Peterburg, № 3, S. 11–16.
8. Pashin V.M. Optimizatsiya sudov. – L.: Sudostroenie, 1983 .
9. Pravila klassifikatsii i postrojki morskikh sudov, 3 toma. Rossijskij Morskoy Registr Sudohodstva, Sankt–Peterburg, 2015; ISBN 978 – 5 – 89331 – 276 –8.
10. Ryvlin A.YA., Hejsin D.E. Ispytaniya sudov vo l'dah.– L.: sudostroenie, 1980. – 208 s.
11. Coj L.G. Formula dlya opredeleniya ledoprohodimosti i rekomendatsii po vyboru formy obvodov korpusa ledokolov i transportnykh sudov ledovogo plavaniya Perspektivnye tipy morskikh transportnykh sudov, ih morekhodnye i ledovye kachestva Sb. nauchn. Trudov CNIIMF. – M.: Transport, 1990. – S. 141–144.
12. Coj L.G. Opredelenie potrebnoj moshchnosti ledokolov i ledokol'no–transportnykh sudov po zadanoj ledoprohodimosti: Metodicheskie ukazaniya. – SPb.: SPbGMTU, 2003. – 27 s.13.
13. Kulesh V., Ogay S., Voyloshnikov M. Safety of Ships Navigation in Ice and Operational Effectiveness Proceedings of the Twenty–third International Offshore and Polar Engineering. Vol. 1. Anchorage, Alaska, USA, 2013. – P. 1227–1234.
14. Ogay S., Voyloshnikov M. The concept of multi–functional training vessel // Proceedings of the 27–th Asian–Pacific Technical Exchange and Advisory Meeting on Marine Structures, TEAM–2013. Anchorage, Alaska, USA, 2013. – P. 1227–1234; Keelung. National Taiwan Ocean University – P. 387–392, ISBN 978–986–03–7810–8

УДК 629.12

ОБОСНОВАНИЕ «ЛИНЕЙКИ» МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНЫХ СУДОВ ДЛЯ РАБОТЫ В ПРИБРЕЖНЫХ МОРЯХ РОССИИ

Егоров Геннадий Вячеславович

доктор технических наук, профессор
генеральный директор

ООО «Морское Инженерное Бюро»
65009, Украина, г. Одесса, ул. Тенистая д. 15
тел. +38 (0482) 347928; e-mail: office@meb.com.ua

Аннотация

На основании исследований 2008-2012 годов, проведенных Морским Инженерным Бюро, а также используя результаты работ ЦНИИ морского флота, ПКБ «Агат дизайн», ОАО «Завод Нижгородский теплоход») обоснована «сетка» современных аварийно-спасательных судов для обеспечения АСГ, включая требования к каждому типу судна, его главные характеристики и решение внешней задачи проектирования. Такая «сетка» была привязана к условиям Российской Федерации. Особое внимание уделено построенной в 2012-2013 годах серии уникальных мелководящих многофункциональных спасательных судов (МСС) с арктическим ледовым классом мощностью 4 МВт для Балтийского и Черноморско-Азовского регионов и строящимся спасателям с ледокольными функциями мощностью 7 МВт для работы в условиях Северного Морского пути и Дальнего Востока. В отличие от строящихся в других странах, эти МСС выполняют свои функции, в том числе, в ледовых условиях и на относительно мелководье, что приводит к увеличению длины и ширины и изменению обводов с учетом требований ледопроеходимости, к росту массы металлического корпуса и мощности пропульсивной установки.

Ключевые слова: многоцелевое судно, аварийно-спасательное судно, судно прибрежного плавания

GROUNDING OF MULTIPURPOSE SALVAGE VESSELS «LINE-UP» FOR COASTAL SEAS OF RUSSIAN FEDERATION

Egorov Gennadiy Vyacheslavovich

Professor, Dr.Sci.Tech.
Director general

«Marine Engineering Bureau» Ltd.
Tenistaya st., 15, 65009, Odessa, Ukraine
tel. +38 (0482) 347928; e-mail: office@meb.com.ua

Abstract

On the basis of researches of the 2008-2012 which have been carried out by the Marine Engineering Bureau, and also using results of works (CNII of Marine Fleet, Design Bureau «Agat design», public-stock company «Zavod Nizhegorodskiy teplohod») the «grid» of modern salvage vessels for maintenance of emergency salvage duty, including requirements to every type of vessels, its main characteristics and the solution of an outer problem of designing is proved. Such «grid» was connected to conditions of the Russian Federation. The special attention is given to the series of unique shallow-draught multipurpose salvage vessels (MPSVs) with Arctic ice class with power of 4 MW for Baltic and Azov-Black Seas regions which were built in 2012-2013 and salvage vessels with icebreaker functions with power of 7 MW for operating in conditions of Northern Sea Route and Far East which are under construction. It is marked that occurrence of complex function combinations leads to mutual conflicting tendencies when hull forms, principal particulars and other prosperities of MPSV are choosing. As against MPSVs in other countries which are under construction these MPSVs carry out functions also in ice conditions and relative shallow water that leads to length and breadth increase and change of hull forms with regard to icebreaking ability, increase of light weight and main engine power.

Key words: *designing, multipurpose salvage vessel, definition of the main characteristics, parametrical line of perspective vessels, functions of salvage vessel*

1. Постановка проблемы

Морской транспорт является зоной деятельности человека с повышенным риском для его здоровья и жизни. Поэтому наличие специального флота, обеспечивающего аварийно-спасательную готовность (АСГ) государства на прилегающих к его территории морских акваториях регламентируется международными обязательствами и внутренним законодательством страны.

Большинство отечественных судов для АСГ, находящихся в эксплуатации, построены до 1991 года. К концу первого десятилетия нового века потребность в обновлении спасательного флота стала насущной. В качестве доказательства этого тезиса можно привести пример трагических событий ноября 2007 года, когда спасение людей на гибнущих судах осуществлял обычный буксир частной украинской компании.

Походы к проектированию судов для АСГ были изложены в публикациях [1, 3, 8, 10], которые к настоящему времени значительно устарели (изменились общие компоновочные решения, существенно отличается оборудование, усложнились функции и их комбинации на отдельно взятом судне, стал широко применяться подход к созданию многофункционального судна, когда на единой платформе спасатель выполняет работы в широчайшем спектре – от обычных для этого типа, до водолазных и ледокольных). Книги [7, 9] были посвящены различным аспектам эксплуатации судов для АСГ и не содержат рекомендаций к проектированию.

2. Цель статьи

Обоснование «сетки» современных аварийно-спасательных судов для обеспечения АСГ (на основании исследований 2008-2012 годов, проведенных Морским Инженерным Бюро [5, 6], а также используя результаты работ ЦНИИ морско-

го флота [2], ПКБ «Агат дизайн», ОАО «Завод Нижегородский теплоход»), включая требования к каждому типу судна, его главных характеристик и решение внешней задачи проектирования. Такая «сетка» была привязана к условиям Российской Федерации.

3. Изложение основного материала

Система аварийно-спасательного обеспечения судоходства в Российской Федерации включает в себя комплекс сил средств по ликвидации последствий аварийных разливов нефти и выполнению аварийно-спасательных операций в морских портах и на подходах к ним.

Задачи проведения поисковых, спасательных и буксирных операций; подъема затонувших в море судов и имущества; проведения гидротехнических, подводно-технических и других водолазных работ; защиты и сохранения морской среды, экологического контроля согласно Кодекса торгового мореплавания РФ возложены на Министерство транспорта РФ. В свою очередь в Федеральном Агентстве морского и речного транспорта (Росморречфлот) функции аварийно-спасательного обеспечения на морском транспорте и координации работ в этой области переданы ФБУ «Госморспасслужба России».

ФБУ «Госморспасслужба России» и подведомственные ему бассейновые филиалы ФБУ «Морская спасательная служба» (ранее более известные как бассейновые аварийно-спасательные управления или БАСУ) и другие организации, образуют системную основу сил и средств функциональных подсистем Росморречфлота, которые входят в Единую государственную систему предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций.

Число аварийных случаев в зоне ответственности России остается значительным (см. таблицу 1).

Таблица 1

Статистика по аварийным случаям

	2008 г.	2009 г.	2010 г.	2011 г.	2012 г.
Число аварийных случаев в морских поисково-спасательных районах Российской Федерации	182	234	255	305	195
Спасено людей в ходе проведения поисково-спасательных операций	335	315	413	421	489

Источник: ФБУ «Госморспасслужба России»

Основное место в данной системе занимают специализированные суда аварийно-спасательного флота.

В настоящее время суда для несения АСГ находятся как в государственной, так и частной собственности. Спасательные суда, находящиеся в государственной собственности, сосредоточены в аварийно-спасательных формированиях системы Госморспасслужбы России (см. таблицу 2).

Данные по флоту соответствуют состоянию на начало 2013 года. Учтены разработанные ЗАО «ЦНИИМФ» нормативы оснащения АСФ спасательными судами на морских бассейнах.

Суда для несения АСГ по морским бассейнам распределялись следующим образом:

- в Северном бассейне в эксплуатации находились 16 судов (и еще 11 судов у других ведомств и организаций);

- в Балтийском бассейне – 24 судна (плюс 19 судов во взаимодействии);
- в Дальневосточном бассейне – 8 судов (плюс 20 судов во взаимодействии);
- в Черноморско-Азовском бассейне – 21 судно (плюс 42 судна во взаимодействии);
- в Каспийском бассейне – 11 судов (плюс 8 судов во взаимодействии).

Средний возраст судов, находящихся в государственной собственности, составлял (без учета вновь построенных) 25,8 лет, а средний возраст аварийно-спасательных судов частных компаний на тот же период – 15,2 года.

Дальнейшая эксплуатация судов с таким сроком службы сопряжена со значительными затратами на текущее содержание, техническое обслуживание и ремонт, с увеличением риска аварийных происшествий и заметным моральным старением оборудования и самих концептов судов. В подобной ситуации единственным выходом является строительство новых судов для обеспечения аварийно-спасательной готовности (АСГ).

Анализ характеристик существующих спасательных судов и фактически выполняемых ими функций в России и других странах, а также современных аналогов показывает, что общей тенденцией является строительство многофункциональных спасательных судов (МСС) и повышение мощности энергетической установки.

Такие МСС должны быть хорошо приспособлены для выполнения следующих функций:

- патрулирование, аварийно-спасательное дежурство в районах интенсивного судоходства, рыбного промысла, морских нефтяных и газовых промыслов;
- поиск, спасение, эвакуация и размещение людей, оказание им медицинской помощи;
- снятие с мели и рифов аварийных судов, откачка воды из затопленных отсеков;
- буксировка аварийных судов и объектов к месту убежищ, а также выполнение морских буксировок судов, плавучих объектов и сооружений во льдах и на чистой воде, оказание помощи судам и выполнение спасательных работ в ледовых условиях и на чистой воде;
- оказание помощи в тушении пожаров на плавучих и береговых объектах, доступных для подхода с моря;
- тыловое и техническое обеспечение, в том числе выполнение подводно-технических работ водолазов;
- тушение горящего на воде топлива, ликвидация аварийных разливов нефти и нефтепродуктов (ЛАРН);
- освидетельствование и очистка подводной части корпуса судов, плавучих и береговых объектов.

Таблица 2

Суда для несения АСГ из состава флота ФБУ «Госморспасслужба России»

Группы спасательных судов (катеров)	Действующий состав флота / Необходимый состав флота						Всего
	Балтийский бассейн	Северный и Западная часть Арктического бассейна	Тихоокеанский и Восточная часть Арктического бассейна	Дальневосточный бассейн	Азово-Черноморский бассейн	Каспийский бассейн	
Спасательное судно	3 / 4	2 / 6	3 / 10	3 / 3	2 / 4	1 / 2	14 / 29
Спасательный катер	- / 4	1 / 3	- / 5	- / 4	- / 5	- / 3	1 / 24
Спасательный катер на воздушной подушке	- / 3	- / 2	- / 3	- / 1	1 / 3	- / 2	1 / 14
Морское водолазное судно	3 / 2	1 / 2	1 / 3	- / 2	2 / 3	1 / 2	8 / 14
Рейдовый водолазный катер	5 / 6	4 / 4	2 / 4	3 / 3	5 / 6	2 / 3	21 / 26
Нефтесборное судно	6 / 6	4 / 4	1 / 5	1 / 3	1 / 4	4 / 4	17 / 26
Судно-бонопостановщик	2 / 6	2 / 4	2 / 5	1 / 4	5 / 4	1 / 2	13 / 25
Спасательный катер-бонопостановщик	5 / 7	2 / 5	1 / 8	- / 4	5 / 8	2 / 4	15 / 36
ИТОГО:	24 / 38	16 / 30	10 / 43	8 / 24	21 / 37	11 / 22	94 / 194

Источник: ФБУ «Госморспасслужба России»

Основными факторами, определяющими успешное выполнение всего спектра аварийно-

спасательных работ являются достаточные ледопрободимость, ходкость на чистой воде, мореходность.

Наличие сложного сочетания функций приводит к взаимно противоречивым тенденциям в выборе обводов, главных размерений и других свойств МСС. Например, при выборе пропульсивного комплекса одновременно необходимо выполнить условия по пяти возможным режимам эксплуатации:

- переход с эксплуатационной скоростью (примерно 70% от полного хода), характерный для нахождения в заданном районе и для обычных переходов судна;
- режим полного хода при выходе на спасение – достижение высокой скорости свободного хода, что обеспечивает снижение времени подхода к аварийному судну;
- буксировка плавучих объектов – обеспечение необходимой тяги на гаке при выполнении буксировочных операций;
- обеспечение достаточного упора для стягивания аварийного судна с мели;
- эксплуатация во льдах, в том числе обеспечение ледокольных функций, для судов ледового плавания обеспечение требуемой мощности по Правилам РС в соответствии с выбранной ледовой категорией судна.

С учетом того, что для судов с высокими ледовыми свойствами применение винтов регулируемого шага не рекомендуется, понятно, что оптимальное решение этой задачи для всех пяти режимов невозможно. Практический подход состоит в поиске «золотой середины» – компромиссного решения.

Форма корпуса судов ледового плавания является компромиссом между двумя противоречивыми требованиями – ледопрободимостью и ходкостью на чистой воде. Соответствующий баланс между ними определяется приоритетом миссии судна. Следует иметь в виду, что обычной платой за ледопрободимость являются недостаточная мореходность и увеличение сопротивления движения судну. Например, в значительной мере это распространяется на МСС – ледоколы мощностью 7 МВт, которые значительную часть эксплуатационного времени будут плавать в условиях чистой воды.

Более широкий спектр работ многофункциональных спасательных судов в сравнении со специализированными ледоколами принципиально меняет подход к выбору формы корпуса. Поскольку, кроме выполнения ледокольных операций спасательные суда, прежде всего, должны работать согласно основному назначению, для них не могут быть рекомендованы обводы традиционного ледокольного типа. Наиболее предпочтительным является компромиссный вариант обводов, обеспечивающий требуемый уровень ходовых качеств судна, как в ледовых условиях, так и на чистой воде.

При этом следует учитывать ограничения по осадке, которые актуальны для значительной части морских акваторий страны.

Так, в соответствии с Реестром морских портов России из 66 морских портов 23 порта имеют ограничения по осадке судов до 5 метров. В указанных портах большая часть причалов имеют глубины в районе 3,0-3,2 м. Распределение морских портов с «ограниченной осадкой» по морским бассейнам следующее:

- Южный бассейн – 11 портов;
- Дальневосточный бассейн – 6 портов;
- Арктический бассейн – 6 портов.

Эти данные свидетельствуют, что в 35% российских портов невозможно осуществление аварийно-спасательных работ без наличия многофункциональных судов с ограниченной осадкой.

Они необходимы для обеспечения подходов к следующим портам:

- в Черном море – порты Кавказа;
- в Азовском море – Керченский пролив, Таганрогский залив, а также в морской части Волго-Донского судоходного канала (порты Азов и Ростов-на-Дону), порт Темрюк;
- в Каспийском море – район порта Махачкала, Волго-Каспийский канал, порт Оля, порт Астрахань;
- в Балтийском море – восточная часть Финского залива (Выборг, Сайменский канал), Калининградский залив;
- порты восточного побережья Камчатки, включая Анадырский залив.

Кроме того, при нахождении спасаемого судна на мели, МСС желательно иметь минимальную осадку, тогда МСС сможет ближе подойти к объекту, а в некоторых случаях – обойти аварийное судно за бровкой глубоководного фарватера.

Понятно, что для судов с ограниченной осадкой скорость свободного хода и тяга двигателей ограничивается условием полной переработки мощности главных двигателей, что, в свою очередь, определяется ограничением диаметра гребных винтов для предотвращения их аэрации и кавитации.

Выбор мощности судна из условия стягивания с мели аварийного судна затруднителен, так как, даже располагая размерами аварийного судна, из-за многообразия условий посадки на мель трудно расчетным методом определить потерю плавучести судна и давление судна на грунт, от которых зависит величина стягивающего усилия. Кроме этого, на величину стягивающего усилия может оказывать влияние и выбранная тактика снятия судна с мели (частичная или полная разгрузка судна, откачка балласта и запасов, изменение дифферента и крена судна, заделка пробоины, подача в поврежденные отсеки сжатого воздуха, применение кранов большой грузоподъемности и т.п.).

Поэтому в сложившейся практике проектирования при определении мощности МСС исходят

из мощности, необходимой для буксировки выбранного расчетного объекта или аварийного судна при заданной скорости буксировки (наряду с требованиями к достаточной ледопроеходимости и скорости на чистой воде).

Скорость свободного хода МСС должна быть не менее 13-15 узлов.

Именно многообразие условий плавания, ледовых условий, глубин в каждом конкретном месте несения АСГ приводит к созданию концептов с различными главными параметрами (главные характеристики «линейки» даны в таблице 3, боковые виды – в таблице 4):

1. Морское многофункциональное аварийно-спасательное судно – ледокол мощностью 7 МВт для самостоятельной работы в сплошном ледяном поле толщиной около 1 м с неограниченным районом плавания, с возможностью выполнения ледокольных операций при толщине льда до 1,5 м, с осадкой около 6-6,5 м для Северного морского пути и Дальневосточного бассейна (проект MPSV06).

Предполагалось строительство 4 единиц на замену буксиром-спасателям проекта 1454, 2262, буксиром-снабженцам проекта В-92/1, постройки 1983-1985 годов.

2. Морское многофункциональное аварийно-спасательное судно мощностью 4 МВт с высоким ледовым классом Arc5 для самостоятельной работы в сплошном ледяном поле толщиной около 0,5 м, с неограниченным районом плавания, с возможностью плавания в канале за ледоколом в среднем однолетнем льду толщиной до 1,2 м, с осадкой около 4,5-5 м для Балтийского и Черного морей (проект MPSV07).

Головное судно сдано в ноябре 2012 года, два сдаются, четвертое строится (на замену буксиром-спасателям проекта 1454, 2262, буксиром-снабженцам проекта В-92/1).

3. Морское многофункциональное аварийно-спасательное судно мощностью около 2 МВт с неограниченным районом плавания, с осадкой около 5 м для незамерзающих акваторий (проект MPSV09).

Предполагается строительство 2 единиц на замену буксиром-спасателям проекта 1454, буксиром-снабженцам проекта В-92/1 постройки 1983-1985 годов.

4. Морское многофункциональное аварийно-спасательное судно мощностью около 3 МВт с высоким ледовым классом Arc4 для самостоятельной работы в разреженных тонких однолетних льдах толщиной до 0,7 м в зимне-весеннюю навигацию и до 0,9 м в летне-осеннюю навигацию, с неограниченным районом плавания, с осадкой около 3-3,5 м для Азовского и Каспийского морей (проект MPSV12).

Предполагается строительство 4 единиц на замену буксиром-спасателям проекта 1454, буксиром-снабженцам проекта В-92/1 постройки 1983-1985 годов.

5. Морское водолазное судно – малое судно обеспечения с ледовым классом Ice2 для самостоятельной работы в мелкобитых разреженных льдах толщиной около 0,55 м с районом плавания R2, с осадкой до 2,4 м для работы в прибрежных морских районах при волнении с высотой 3% обеспеченности до 7 м (проект SDS08).

Построена серия в количестве 4 единиц на замену устаревшим морским водолажным судам проектов 522, 535М постройки 1960-1975 годов.

6. Рейдовое водолазное судно с ледовым классом Ice2 для самостоятельной работы в мелкобитых разреженных льдах толщиной около 0,55 м с районом плавания R3-RSN, с осадкой около 1,5 м для работы в порту и на рейде при волнении 3% обеспеченности до 3,5 м (проект A160).

Построена серия в количестве 10 единиц на замену рейдовым водолажным катерам проектов 1415, 376 постройки 1986-1992 годов.

7. Спасательный катер-бонипостановщик с ледовым классом Ice2 для самостоятельной работы в мелкобитых разреженных льдах толщиной около 0,55 м с районом плавания R3-RSN, с осадкой около 1,3 м для работы в порту и на рейде при волнении 3% обеспеченности до 3,5 м (проект A40).

Таблица 4

Схемы общих боковых видов параметрического ряда судов-спасателей

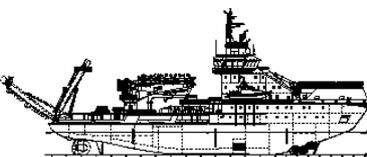
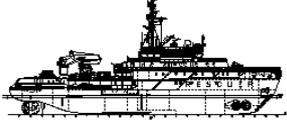
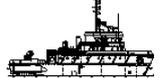
№	Проект	Вид сбоку
1	MPSV06	
2	MPSV12	
3	MPSV07	
4	MPSV09	
5	SDS08	
6	A160	
7	A40	

Таблица 3

Главные характеристики многофункциональных судов-спасателей

Проект	Мощность, МВт	Вид сбоку (см. таблицу 4)	Длина габаритная, я, м	Длина по КВЛ, м	Ширина габаритная, я, м	Ширина, м	Высота борта, м	Осадка по КВЛ, м	Рабочие осадки, м	Скорость хода, узлы	Скорость эконо. хода, узлы	Автономность, сутки	Класс РС
MPSV06	7	1	86,0	77,47	19,10	18,00	8,50	6,0	5,5-6,4	15	11	30	KM Icebreaker 2 AUT1-ICS OMBO FF2WS DYNPOS-2 EPP Salvage ship
MPSV12	3	2	82,00	74,20	17,40	16,60	6,00	3,20	3,20-4,50	13,8 (при осадке 3,2 м)	10	20	KM Arc4 1 AUT1-ICS OMBO FF3WS DYNPOS-2 EPP ANTI-ICE ECO WINTERIZATION (-30) Salvage ship
MPSV07	4	3	73,0	69,03	16,60	15,50	6,70	4,5	4,3-5,1	15	10	20	KM Arc5 1 AUT1-ICS OMBO FF3WS DYNPOS-2 EPP Salvage ship
MPSV09	2	4	55,20	51,60	13,30	12,70	6,25	4,50	4,1-5,0	12,5 (при осадке 4,15 м)	10	30	KM Ice1 AUT1-ICS OMBO FF2WS DYNPOS-2 EPP
SDS08	0,88	5	38,64	36,47	7,90	7,70	3,20	2,3		11,0	8	5	KM Ice2 R2 AUT3-C OMBO SDS≥60
A160	0,88	6	27,4	26,3	5,60		3,00	1,50		15,0	10	5	KM Ice2 R3-RSN AUT3 SDS<60 diving ship
A40	0,86	7	19,9	18,8	4,70		2,8	1,33		20,0	12	5	KM Ice2 R3-RSN AUT3 oil recover ship (>60)

Построена серия спасательных катеров в количестве 6 единиц на замену спасательным катерам проектов HS-1500, HS-2000 RS постройки 1989-1990 годов.

4. Описания проектов

4.1 Многофункциональное спасательное судно мощностью 7 МВт проекта MPSV06

Судно предназначено для обеспечения аварийно-спасательной готовности, для решения задач по оказанию помощи людям и судам, терпящим бедствие на море, и по ликвидации последствий морских аварий в любых погодных условиях, в том числе во льду.

МСС проекта MPSV06 представляет собой судно-ледокол с классом Icebreaker6 неограниченного района плавания с ледокольным форштевнем и крейсерской кормовой оконечностью, с удлиненной двухъярусной надстройкой бака, носовым расположением жилой надстройки и машинным отделением в средней части, с дизель-электрической энергетической установкой, с двумя полноповоротными винто-рулевыми колонками (ВРК) и носовыми подруливающими устройствами, с вертолетной площадкой в носовой части.

Судно оборудовано дизель-электрическим пропульсивным комплексом в составе четырех дизель-генераторов суммарной мощностью 10,6 МВт, двух гребных электродвигателей переменного тока, обеспечивающих работу двух полноповоротных ВРК с мощностью 3,5 МВт на каждом винте. Для работы во льдах ВРК оборудованы винтами фиксированного шага без насадок диаметром 3,6 м.

Судно имеет три носовых подруливающих устройства типа «винт в трубе» мощностью на входе 1000 кВт каждое. Подруливающие устройства совместно с винто-рулевыми колонками обеспечивают выполнение требований к судам с символом DYNPOS-2 в классе. Условия позиционирования выполняются при волнении 4 балла, ветре – 10 м/сек, течения 3 узла.

На судно предусмотрена установка глубоководного (до 300 м) мобильного водолазного комплекса в контейнерном исполнении и водолазного комплекса для выполнения работ на глубинах до 60 м (с аппаратурой подводного телевидения, подводной резки и сварки).

На судне предусматривается размещение глубоководного (до 1000 м) телеуправляемого аппарата типа «Scorpio», также имеется гидролокатор бокового обзора.

Для выполнения буксировочных операций и буксировки аварийных судов используется двухбарабанная автоматическая буксирная лебедка (на главной палубе в средней части судна) с тяговым усилием не менее 980 кН и буксирный гак с дистанционной отдачей.

Судно оборудовано спасательным скоростным рабочим катером для доставки аварийной

партии и аварийного снабжения, а также сбора людей с поверхности воды и обеспечения промерной функции.

В качестве средств спасения людей с поверхности воды предусматривается установка двух (по одной с каждого борта) морских эвакуационных систем с закрытыми спасательными плотами, спасательным плотом (платформой) для посадки и спусковым слайдом для спуска в плоты и поднятия людей из воды. Кроме того, судно оснащено четырьмя сетями для массового сбора людей из воды, двумя комплектами плавучих носилок для подъема пострадавших из воды на борт судна, которые не имеют физической возможности самостоятельно подобраться к борту судна и стропом для подъема человека с палубы судна на вертолет.

Для размещения спасенных предназначается салон с сидячими местами на 75 чел., госпиталь на 6 коек. В каютах спецперсонала предусматриваются дополнительные откидные койки для спасенных. Общее число спальных мест – 20 (включая госпиталь).

Для ликвидации аварийных разливов нефти судно оснащено бортовой нефтесборной системой, двумя скиммерами щеточного типа, двумя комплектами бонового заграждения длиной 250 м каждый (тяжелый и постоянной плавучести), а также двумя катерами-бонопостановщиками.

При сборе разлитой нефти судно может принять на борт 530 куб. м смеси нефти и забортной воды.

Судно оборудовано средствами борьбы с пожаром на других судах, в соответствии с требованиями к судам с символом FF2 в классе, а также системой водяных завес и орошения (WS). Имеется три лафетных ствола производительностью по 1200 куб. м водой / 300 куб. м пеной каждый и телескопический ствол производительностью 40 кг/с для тушения химических грузов площадью возгорания 2500 кв. м. Для защиты вертолетной площадки предусматривается дополнительный лафетный ствол (140 м³/ч), установленный на палубе мостика.

Имеются водоотливные средства суммарной производительностью 1700 куб. м в час.

Установлены системы специальной обработки – дезактивации, дегазации и дезинфекции.

В носовой части судна установлена площадка для приема вертолетов.

Для спуска и подъема аппарата типа «Scorpio», катеров, водолазного оборудования и развертывания средств ЛАРН на судне предусматривается установка двух поворотных кранов грузоподъемностью 32 т и вылетом стрел до 22,5 м, а также кормового П-образного крана грузоподъемностью 80 т и вылетом до 10 м.

Судно может перевозить до 650 т груза, 650 т топлива, 24 двадцатифутовых контейнеров, имеет грузовую палубу площадью 440 кв. м, грузовые трюма объемом около 800 куб. м.

Для размещения экипажа численностью 22 человека предназначаются 5 одноместных блок-кают и 5 одноместных кают комсостава (площадью не менее 12 м²) с санузлом и душем, 12 одноместных кают (площадью не менее 6 м²) с санузлом и душем. Предусматривается 2 запасных двухместных каюты. Для размещения спецперсонала численностью 12 человек предназначаются 12 одноместных кают с санузлом и душем.

Общее расположение судна представлено на рисунке 1.

4.2 Многофункциональное спасательное судно мощностью 4 МВт проекта MPSV07

Судно предназначено для обеспечения аварийно-спасательной готовности для решения задач по оказанию помощи людям и судам, терпящим бедствие на море, и по ликвидации последствий морских аварий в любых погодных условиях, на ограниченных глубинах и во льду.

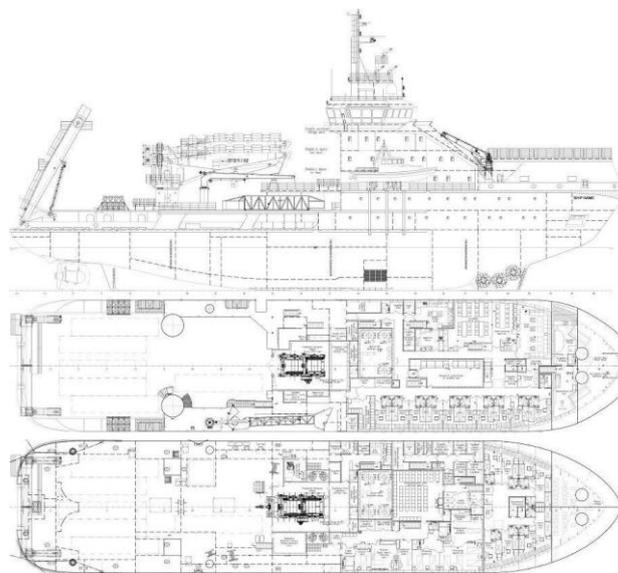
МСС проекта MPSV07 представляет собой судно с высоким ледовым классом Arc5, с удлиненной двухъярусной надстройкой бака, носовым расположением жилой надстройки и машинным отделением в средней части, с дизель-электрической энергетической установкой, с двумя полноповоротными ВРК суммарной мощностью 4 МВт и двумя носовыми подруливающими устройствами.

Дизель-электрический пропульсивный комплекс судна проекта MPSV07 состоит из четырех главных дизель-генераторов суммарной мощностью 5,48 МВт, двух гребных электродвигателей переменного тока, обеспечивающих работу двух полноповоротных ВРК с мощностью 2,0 МВт на каждом винте. Винты фиксированного шага диаметром 2,6 м, в насадках.

Контроль всех механизмов и систем осуществляется с одного дисплея системы ISC.

DYNPOS-2 – позиционирование судна с резервированием подсистем, обеспечивающих удержание судна на точке позиционирования при выходе из строя любого активного элемента системы – принципиально важно для работы с водолазами, подводными аппаратами и для тушения пожара. Требования динамического позиционирования DYNPOS-2 выполняются за счет работы двух носовых подруливающих устройств типа «винт в трубе» мощностью 995 кВт каждое и двух ВРК при волнении до 4 баллов, скорости ветра до 10 м/с, течения до 3 узлов.

Морские буксировки обеспечиваются двухбарабанной буксирной лебедкой (тягой 75 т и 50 т) с автоматической и дистанционной отдачей буксирного троса, а также буксирным гаком 75 т, что обеспечивает гибкость в эксплуатации, а также возможность дублирования технических средств, т.е. более высокую надежность выполнения операции.



Рису. 1. Общее расположение многофункционального спасательного судна мощностью 7 МВт проекта MPSV06

Судно проекта MPSV07 оборудовано скоростным рабочим катером со скоростью хода до 25 узлов и вместимостью до 17 человек для доставки аварийной партии и аварийного снабжения, а также сбора людей с поверхности воды.

На судне проекта MPSV07 предусмотрено специализированное оборудование, позволяющее осуществлять спасательные операции по подъему из воды большого количества пострадавших:

- две площадки (в носовой и кормовой части судна) для зависания вертолетов для обеспечения экстренной эвакуации пострадавших на берег, для доставки дополнительных бригад медиков при необходимости, а также для приема груза;
- две сети для массового подъема людей из воды на борт судна по 7 м длиной (спуск и подъем осуществляются судовым краном);
- два комплекта плавучих носилок для подъема пострадавших из воды на борт судна, которые не имеют физической возможности самостоятельно подобраться к борту судна;
- два комплекта стропов для подъема человека с палубы судна на вертолет;
- две (по одной с каждого борта) морских эвакуационных системы с минислайдом, обеспечивающие массовый подъем людей из воды и наоборот: эвакуацию людей с самого судна.

На судне предполагаются:

- для выполнения работ на глубинах до 60 м мобильный водолазный комплекс (с аппаратурой подводного телевидения, подводной резки и сварки);
- для работы на глубинах более 60 м (необитаемый аппарат типа «Scorpio»).

Для ликвидации аварийных разливов нефти судно оборудовано бортовой нефтесборной системой, позволяющей оперативно развернуть заграждение при любом состоянии моря и начать выполнение судном операций по ликвидации аварийных разливов нефти, скиммером щеточного типа, двумя комплектами бонового заграждения длиной 250 м каждый (тяжелый и легкий), а также двумя катерами-бонопостановщиками.

При сборе разлитой нефти судно может принять на борт 670 куб. м смеси нефти и заборной воды.

Для откачки воды и нефтесодержащих смесей из отсеков аварийного судна предусматриваются водоотливные средства суммарной производительностью около 1200 м³/ч.

Для борьбы с пожаром на других судах установлено специальное оборудование в соответствии с требованиями FF3 (три лафетных ствола (по 1000 м³/ч вода и по 300 м³/ч пена) каждый, порошковая станция с лафетным стволом 40 кг в секунду для тушения химических грузов, специальные пожарные насосы 2 x 1450 м³/ч) и система водяных завес и орошения (WS).

Установлен гидролокатор бокового обзора.

Для улучшения параметров обитаемости предусмотрена система успокоения бортовой качки.

Для спуска и подъема катеров, водолазного оборудования и развертывания средств ЛАРН имеются два крана грузоподъемностью по 20 т с вылетом стрелы 15,0 м.

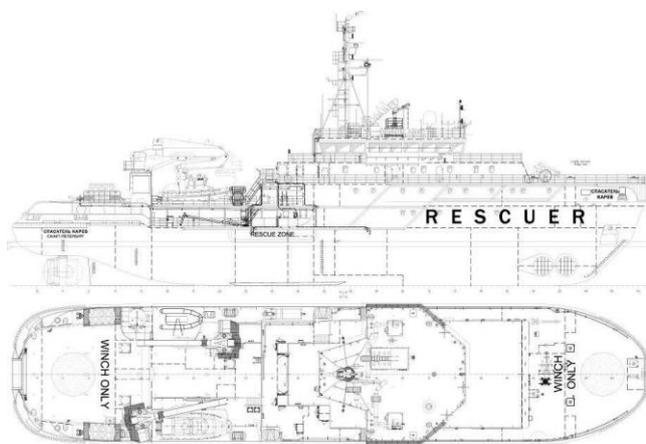


Рис. 2. Общее расположение многофункционального спасательного судна мощностью 4 МВт проекта MPSV07

Движение и управляемость судна обеспечивается двумя кормовыми полноповоротными винто-рулевыми колонками с винтами фиксированного шага. Мощность на входе к каждой ВРК – 900 кВт. Диаметр винта – 1900 мм.

Для обеспечения требований по динамическому позиционированию DYNPOS-2, а также для улучшения управляемости на малых ходах, при проходе узкостей и при швартовках на судне

Экипаж состоит из 20 человек. Спецперсонал – 12 человек.

Общее расположение судна представлено на рисунке 2.

4.3 Многофункциональное спасательное судно мощностью 2 МВт проекта MPSV09

Судно предназначено для обеспечения аварийно-спасательной готовности для решения задач по оказанию помощи людям и судам, терпящим бедствие на море, и по ликвидации последствий морских аварий в любых погодных условиях.

МСС проекта MPSV09 представляет собой судно с ледовым классом Ice1, с бульбовой носовой и транцевой кормовой оконечностями, с удлиненной двухъярусной надстройкой бака, носовым расположением жилой надстройки и машинным отделением в средней части, с дизель-электрической энергетической установкой, с двумя полноповоротными винто-рулевыми колонками и двумя носовыми подруливающими устройствами.

Главная энергетическая установка дизель-электрическая, состоящая из шести главных дизель-генераторов (ГДГ) переменного тока 440 В, 60 Гц электрической мощностью 535 кВт каждый, питающих главную электрическую сеть судна, от которой, в том числе, питается гребная электрическая установка.

предусматривается носовое ПУ, типа «винт в трубе» с винтом фиксированного шага (ВФШ) и выдвигное носовое подруливающее устройство азимутального типа с винтом фиксированного шага.

Для выполнения буксировочных операций и буксировки аварийных судов используется автоматическая буксирная лебедка (на главной палубе в средней части судна) с тяговым усилием 50 т.

На судне устанавливается скоростной спасательный катер вместимостью 10 человек и скоростью до 25 узлов.

Для подъема людей из воды на борт судна используются сеть длиной около 7 м типа Dacop Scoop и две сети длиной около 5 м типа Jasons Cradle, а также спасательная корзина и пневматическая платформа для подбора людей ППУ-5.

На главной палубе в средней части установлен электро-гидравлический грузовой кран грузоподъемностью 20 т с максимальным вылетом стрелы 12 м.

На судне предусматривается размещение на палубе и обеспечение использования мобильного контейнерного водолазного комплекса выполнения подводно-технических работ на глубинах до 60 м.

Предусмотрена установка телеуправляемого необитаемого глубоководного аппарата с рабочей глубиной до 3000 м.

Имеется система водяных завес; система подогрева собранной нефти; система мойки танков собранной нефти. Предусматриваются переносные водоотливные средства производительностью около 1700 м³/ч.

Для размещения экипажа численностью 14 человек и спецперсонала численностью 8 человек предназначаются 3 одноместных блок-каюты и 3 одноместных кают с санузлом и душем, 8 одноместных кают с откидывающимся спальным местом с санузлом и душем. Общее число мест – 23. Для временного размещения спасенных в количестве 40 человек предназначаются: 20 сидячих мест в кают-компании; 14 сидячих мест в салоне для отдыха; 6 сидячих мест в офисе. Места спецперсонала могут также быть использованы для размещения спасенных.

4.4 Многофункциональное спасательное судно-буксир мощностью 3 МВт проекта MPSV12

Судно предназначено для обеспечения аварийно-спасательной готовности для решения задач по оказанию помощи людям и судам, терпящим бедствие на море, и по ликвидации последствий морских аварий в установленных поисково-спасательных районах Российской Федерации в любых погодных условиях, во льду и на ответственном мелководье.

МСС представляет собой судно с усиленным ледовым классом Arc4, наклонным форштевнем, с двухъярусной удлиненной надстройкой бака, машинным отделением в средней части, с дизель-электрической энергетической установкой, с двумя полноповоротными винто-рулевыми колонками и носовыми подруливающими устройствами.

Судно неограниченного района плавания, но основной район эксплуатации предполагается в следующих морях:

- в Черном море – порты Кавказ;
- в Азовском море – Керченский пролив, Таганрогский залив, а также в морской части Волго-Донского судоходного канала (до порта Ростов-на-Дону);
- в Каспийском море – район порта Махачкала, порт Оля, порт Астрахань;
- в Балтийском море – восточная часть Финского залива, Калининградский залив;
- в Баренцевом море – Кольский залив;
- также порты Владивосток, Находка, Восточный, линия Ванино – Холмск, восточное побережье Камчатки, включая Анадырский залив.

Главная энергетическая установка – дизель-электрическая, состоящая из четырех главных дизель-генераторов (ГДГ) переменного тока 690 В, 50 Гц электрической мощностью 1140 кВт каждый, питающих главную электрическую сеть судна, от которой, в том числе, питается гребная электрическая установка.

В качестве пропульсивных устройств на судне предусматриваются две полноповоротные винторулевые колонки (ВРК) с винтами фиксированного шага в насадках. Привод каждой ВРК осуществляется от гребного электродвигателя (ГЭД) электрической мощностью 1800 кВт через промежуточный вал.

В качестве приводных двигателей четырех главных дизель-генераторов устанавливаются дизеля максимальной длительной мощностью 120 кВт каждый.

Для обеспечения требований по динамическому позиционированию DYNPOS-2, а также улучшения управляемости на малых ходах, при проходе узкостей и при швартовках на судне предусматривается 2 носовых ПУ мощностью 1000 кВт каждое, типа «винт в трубе» с винтом фиксированного шага (ВФШ).

Судно оборудуется двухбарабанной (каскадного типа) автоматической буксирной лебедкой для выполнения буксировочных операций и буксировки аварийных судов, а также буксирным гаком.

Тяговое усилие лебедки принимается с учетом возможного достижимого упора винтами ВРК при нулевой скорости судна.

Для спасения людей с поверхности воды предусматриваются дополнительные средства, такие как морская эвакуационная система, спасательные сети и т.п.

Для доставки аварийных партий и для судовых нужд предусматривается спасательный скоростной рабочий катер.

Судно оборудуется 2-мя электрогидравлическими грузовыми консольными кранами на колоннах, расположенными на главной палубе по ПрБ и ЛБ.

На судне предусматривается возможность размещения следующего оборудования:

- водолазный комплекс для обеспечения работ на глубинах до 60 м (оборудование (включая медицинский гелий и медицинский кислород) размещается в двух 20-футовых контейнерах без постоянного базирования на судне);
- телеуправляемый необитаемый подводный аппарат для обеспечения работ на глубинах до 2000 м типа SCORPIO (размещение на палубе в контейнере без постоянного базирования на судне);
- телеуправляемый малогабаритный необитаемый подводный аппарат для обеспечения работ на глубинах до 300 м (размещение на палубе в контейнере без постоянного базирования на судне);
- автономный подводный аппарат Deep Worker 2000 (спуск может производиться корабельным краном; поставляется в контейнере международного образца без постоянного базирования на судне).

Кроме того, на судне предусматривается следующее оборудование:

- бортовая нефтесборная система (2 бортовых трала ПрБ и ЛБ) с гидравлическими насосами перекачки собранной нефти производительностью 100 м³/ч каждый с телескопическими кранами вылетом 12 м;

- катушка с тяжелыми нефтеграждающими бонами длиной 250 м;

- катушка с бонами постоянной плавучести длиной 250 м;

- скиммер щеточного типа;

- дизель-гидравлический агрегат (2 единицы) для привода оборудования ЛАРН.

- 2 стационарные панели управления оборудованием ЛАРН (устанавливаются побортно);

- скиммер, 2 переносные панели управления оборудованием ЛАРН, комплект гидравлических шлангов на катушке и без, якорей, поплавков, буксировочные комплекты, воздухоподушки для надувных бонов со шлангами, инжекторный насос для скиммера хранятся в 10' контейнере, специально оборудованном для хранения походному оборудованию ЛАРН;

- катера-бонопостановщики с откидной носовой аппарелью (2 единицы). Скорость до 25 узлов. Грузоподъемность до 1700 кг;

Для выполнения специальных операций в соответствии с назначением судна предусмотрены следующие специальные системы: специальная система водяного пожаротушения; специальная система пенотушения; специальная система порошкового тушения; система водяных завес; система водоотливная спасательная; система собранной нефти.

Для тушения пожаров на внешних объектах на судне предусматривается автономная специальная система водяного пожаротушения, предназначенная для подачи воды к водяным лафетным стволам, клапанным коробкам, для питания системы водяных завес.

Состав оборудования системы соответствует знаку класса РС FF3WS.

На судне предусматривается специальная система пенотушения, предназначенная для тушения горящих объектов подачей воздушно-механической пены низкой кратности.

Подача пены осуществляется через лафетные стволы и клапанные коробки специальной системы водяного пожаротушения.

Предусмотрено 4 комплекта переносных воздушно-пенных стволов с пеногенераторами.

Запас пенообразователя размещается в цистерне, вместимость которой обеспечивает работу одного лафетного ствола в течение не менее 30 мин.

На судне предусматривается лафет производительностью 40 кг/с специальная система порошкового тушения, предназначенная для тушения пожаров на химвозах и газовозах. В резервуаре находится порошок в количестве ок. 2500 кг, обеспечивающем тушение пожара на площади около 2500 м².

Для защиты судна от теплового воздействия горящего объекта (судна, буровой установки и т.д.) предусматривается система водяных завес. Система водяных завес защищает вертикальные наружные поверхности корпуса судна, включая надстройку и рубку, а также горизонтальные поверхности корпуса, при этом не создает помехи видимости из ходовой рубки, постов управления пожарно-спасательными операциями и площадок лафетных стволов с ручным управлением.

На судне имеется 12 мест для экипажа, 17 мест для спецперсонала и 50 сидячих мест для спасенных. Общее количество мест на судне (включая сидячие) – 79.

Предусмотрен медицинский блок, в составе: кабинет врача, совмещенный с амбулаторией; стационар на три места (2 места – мужское отделение и 1 – женское отделение); изолятор на одно место.

4.5 Морское водолазное судно проекта SDS08

Судно предназначено для обеспечения аварийно-спасательной готовности в установленных морских поисково-спасательных районах Российской Федерации для решения задач по оказанию помощи людям и судам, терпящим бедствие на море, и по ликвидации последствий морских аварий, с проведением водолазных, подводно-технических работ на глубинах до 100 м, обеспечением эксплуатации подводных аппаратов и забортных технических средств при волнении до 4 баллов.

МВС представляет собой мелкосидящее многофункциональное судно для обеспечения аварийно-спасательной готовности в морских, прибрежных и устьевых акваториях с ледовым классом Ice2, с наклонным форштевнем и транцевой кормовой оконечностью, с удлиненной надстройкой бака, с носовым расположением жилой надстройки и машинным отделением в корме, с дизельной энергетической установкой, двухвальное с винтами регулируемого шага, с носовым подруливающим устройством.

Преимущественно морские условия эксплуатации нового концепта потребовали создания корпуса с хорошими мореходными качествами. В то же время, значительная высота борта не должна была мешать выполнению основной функции судна – водолазным работам. Исходя из этого, судно было выполнено с удлиненным баком, простирающимся до мидель-шпангоута, что обеспечило высокий надводный борт в носовой части и низкий надводный борт в районе рабочей площадки для спуска водолазов. Кроме того, для уменьшения слеминга, носовые шпангоуты выполнены V-образной формы.

Управляемость судном обеспечивают два кормовых обтекаемых подвесных балансирующих руля. Управление рулевым устройством осу-

ществляется из рулевой рубки с пульта судовождения.

Носовое ПУ мощностью 125 кВт типа «винт в трубе» с винтом фиксированного шага (ВФШ) служит для улучшения управляемости на малых ходах, при проходе узкостей и при швартовках.

На судне установлена дежурная шлюпка вместимостью 6 человек и два сбрасываемых надувных спасательных плота вместимостью по 16 человек каждый.

На верхней палубе по ЛБ имеется грузовой кран с грузоподъемностью 2,3 т (при максимальном вылете стрелы 11,5 м).

Судно имеет двухвальную пропульсивную установку. Каждый валопровод состоит из гребного вала, дейдвудного устройства, системы охлаждения и смазки, гребного винта регулируемого шага. Мощность каждого из двух главных двигателей 442 кВт. Судно показало на испытаниях скорость 12,5 узлов.

В состав электроэнергетической установки входят два дизель-генератора мощностью по 136 кВт каждый и аварийный дизель-генератор мощностью 28 кВт.

МВС должно обеспечивать следующие функции: водолазные и подводно-технические работы на глубинах до 100 метров при волнении моря до 3-х баллов; участие в проведении спасательных, судоподъемных и гидротехнических работ в объеме установленных на судне средств; обследования дна акваторий, затонувших объектов, подводной части корпусов судов (кораблей) и гидротехнических сооружений; обеспечения эксплуатации малогабаритных телеуправляемых подводных аппаратов при волнении моря до 4 баллов; обследования дна акваторий, подводных частей корпусов и винто-рулевых устройств кораблей (судов), подводной части гидротехнических сооружений и выполнение подводных работ с помощью водолазов; выполнения подводной сварки на глубинах до 25 метров и резки на глубинах до 100 метров; подъема с глубин до 100 метров обнаруженных предметов массой до 2,0 т; грунторазмыва и удаления грунта; откачки воды с аварийного судна; продувки понтонов; работы с гидравлическим инструментом.

SDS08 отличается от судов-аналогов:

1. На судне установлено водолазное оборудование, позволяющее выполнять водолазные и подводно-технические работы на глубинах до 100 метров.

2. За счет наличия двух воздушно-пенных лафетных стволов судно имеет возможность тушения пожаров на других судах и плавобъектах.

3. На судне установлена буксирная лебедка, обеспечивающая выполнение функций вспомогательной буксировки.

4. Предусмотрена возможность размещения на судне боновых заграждений и скиммера для обеспечения функции ЛАРН.

5. Характеристики судна и специального оборудования обеспечивают выполнение подводных

спасательных операций при волнении до 3-х баллов, при этом подход судна к месту проведения спасательной операции возможен при высоте волн до 7 метров.

6. Для обеспечения требуемых ходовых качеств на судне установлено два высокооборотных главных двигателя мощностью 442 кВт каждый, работающие на винты регулируемого шага, а также – для удержания судна над местом выполнения работ – предусмотрено носовое подруливающее устройство мощностью 120 кВт.

7. Наличие на борту судна современного телеуправляемого подводного аппарата позволяет выполнять обследование дна акваторий, подводных частей корпусов и винто-рулевых устройств кораблей, а также подводной части гидротехнических сооружений.

8. Для работ по подъему затонувших судов, ремонту подводной части кораблей, ремонту гидротехнических сооружений, а также для обеспечения спасательных операций предусмотрено оборудование для подводной сварки на глубинах до 25 м и подводной резки на глубинах до 100 м, кроме того, грузоподъемное оборудование судна позволяет поднимать отдельные фрагменты затонувших объектов весом до 2 т с глубины до 100 м.

9. При участии в операциях по снятию судов с мели обеспечивается возможность откачки воды из затопленных отсеков аварийного судна, а также продувка судоподъемных понтонов.

Установка расширенного перечня специализированного оборудования, а также мощная энергетическая установка, позволяют судну нового концепта решать практически любые специализированные задачи, связанные с подводно-техническими работами на глубинах до 100 м.

Помимо основных выше перечисленных функций, новый концепт имеет возможность тушить пожары на других судах с помощью двух воздушно-пенных лафетных стволов производительностью по 180 куб. м в час, выполнять функции буксировщика (устанавливается в корме якорно-швартовно-буксирная лебедка с усилием 7 тонн), откачивать воду из отсеков аварийного судна, участвовать в операциях по борьбе с разливом нефти.

Подобная многофункциональность является уникальной для судна длиной всего 38 метров.

Для выполнения перечисленных выше специальных функций на судне было установлено современное оборудование для водолазных и вспомогательных спасательных работ.

Спуск водолазов может осуществляться как по водолазному трапу, так и с использованием водолазного полуколокола («мокрого» колокола).

Установленный на судне полуколокол предназначен для спуска трех человек – двух работающих водолазов и одного оператора полуколокола на глубины до 60 м на воздухе и до 100 м на дыхательных газовых смесях. Полуколокол оснащен системой газораспределения и подачи газов, си-

стемами внешнего и внутреннего освещения и видеонаблюдения, системой кислородных дыхательных масок BIBS (building inlets breathing system), системой связи с гелиевым корректором речи.

Спуско-подъемное устройство полуколокола обеспечивает вынос его за борт судна, спуск/подъем полуколокола с заданной скоростью, автоматическую подачу кабель-шланговой связки (КШС) полуколокола.

Двухотсечная поточно-декомпрессионная барокамера внутренним диаметром 1600 мм позволяет проводить одновременную декомпрессию двух смен водолазов под разными давлениями. Вместимость каждого отсека барокамеры – 2 лежачих или 4 сидячих места. Рабочее давление – 10 кг/см².

Для снабжения барокамеры кислородом и гелием, а также для проведения водолазных спусков в водолазном колоколе с применением для дыхания кислородно-азотно-гелиевой смеси (КАГС) 10% в состав комплекса входят моноблоки для хранения сжатого гелия и кислорода. Моноблоки состоят из 6 баллонов объемом 50 л и рабочим давлением 200 кг/см². Количество моноблоков для хранения гелия – 6 шт. (два для обеспечения барокамеры и четыре для проведения спусков), для хранения кислорода – 2 шт. (один для обеспечения барокамеры и один для проведения спусков). Моноблоки баллонов установлены на палубе судна. Моноблоки, предназначенные для проведения водолазных спусков, могут храниться как на судне, так и на берегу и устанавливаться на судно только при необходимости проведения работ на глубинах от 60 до 100 м.

Для зарядки воздушных баллонов, используемых для работы барокамеры и проведения водолазных спусков, применяются компрессоры фирмы BAUER. На судне установлены компрессоры специального морского исполнения, которые отличаются усиленной вибро- и ударозащищенностью, стойкостью к коррозии в морских условиях и способностью работать в условиях качки до 300.

Установленный в водолазном посту интегрированный пульт управления выполняет функции:

- управления спуском/подъемом водолазного полуколокола;
- подачи воздуха и кислорода к полуколоколу;
- подачи газов к барокамере;
- связи с водолазами, находящимися под водой и в барокамере;
- видеонаблюдения и контроля за работой водолазов под водой и находящихся в барокамере;
- видеонаблюдения и контроля за проведением спуска водолазного полуколокола.

Компоновка пульта обеспечивает возможность управления всеми технологическими процессами с одного рабочего места и позволила сократить численность экипажа.

Для нагрева и подачи забортной горячей воды по КШС в водообогреваемое водолазное снаря-

жение предусмотрена установка водообогрева водолазов. Количество водолазов, подключаемых к установке – 3. Расход воды – 15-41 л/мин. Температура воды – 30-60°С.

Предусмотрена поставка на судно средств выполнения ПТР в составе снаряжения рабочего водолаза; снаряжения оператора полуколокола; подводного освещения; подводного телевидения; комплекта водообогреваемого снаряжения; комплекта для подводной сварки и резки; грунтоборочного оборудования.

Проверка возможности работы водолазного комплекса на глубинах до 100 м была выполнена 12 декабря 2011 года на базе водолазного судна «Стольный град Ярославль» в Каспийском море в точке с глубиной 108 м. Во время испытания т/х «Стольный град Ярославль» был ошвартован у судна сопровождения. В период испытаний осуществлены четыре последовательных спуска и подъема водолазного полуколокола до заданной глубины 100 м и обратно до захватывающего устройства. В период проведения испытаний каких-либо отказов, неисправностей в работе составляющих частей водолазного комплекса не наблюдалось.

Экипаж численностью 12 человек (из них 7 человек – спецперсонал) размещен в 5 двухместных каютах и 2 одноместных каютах. Кроме того, предусмотрены запасные двухместная и одноместная каюты для прикомандированных, руководства спасательных операций и для медицинских нужд. Общее число мест – 15.

Общее расположение судна представлено на рисунке 3.

4.6 Рейдовое водолазное судно проекта А160

Рейдовое водолазное судно предназначено для обеспечения аварийно-спасательной готовности для решения задач по оказанию помощи людям и судам, терпящим бедствие на море, и по ликвидации последствий морских аварий, обеспечению проведения водолазных работ на глубинах до 45 м в установленных прибрежных морских поисково-спасательных районах, на акваториях бухт, заливов, морских портов Российской Федерации.

РВК проекта А160 представляет собой однопалубный катер со средним расположением одноярусной рубки, несколько смещенным в корму машинным отделением, двухвальной дизельной энергетической установкой.

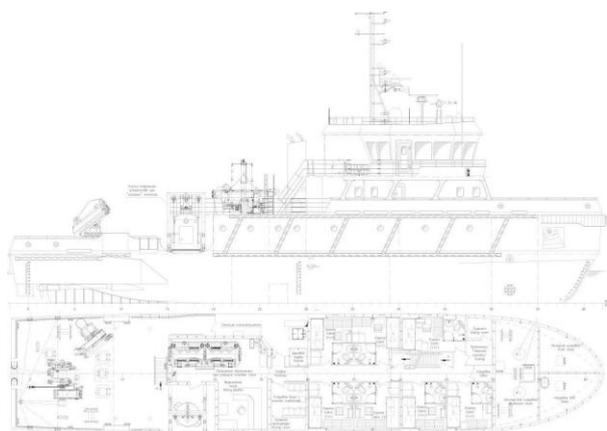


Рисунок 3. Общее расположение морского водолазного судна проекта SDS08

Дальность плавания по запасам топлива и масла – около 200 миль.

Экипаж – 3 человека. Спецперсонал – 5 человек.

Мощность каждого из двух главных двигателей 441 кВт.

Назначение:

- водолазное обеспечение подводно-технических работ на глубинах до 60 метров при волнении моря до 3-х баллов;
- участие в аварийно-спасательных и судоподъемных операциях;
- обследование дна акваторий, затонувших объектов, подводной части корпусов судов (кораблей) и гидротехнических сооружений.

4.7 Спасательный катер-бонопостановщик проекта А40

Спасательный катер-бонопостановщик предназначен для обеспечения аварийно-спасательной готовности по оказанию помощи людям и судам, терпящим бедствие на море, ликвидации последствий морских аварий, транспортировки и постановки боновых морских заграждений с целью локализации и ликвидации разливов нефти, участия в построении нефтесборных ордеров в установленных прибрежных морских поисково-спасательных районах, на акваториях бухт, заливов, морских портов Российской Федерации.

Дальность плавания по запасам топлива и масла – около 250 миль. Экипаж – 2 человека. Спецперсонал – 6 человек.

Мощность каждого из двух главных двигателей 428 кВт.

Назначение:

- транспортировка и постановка плавучих боновых ограждений, доставка к местам разливов аварийных партий и природоохранного оборудования;
- локализация распространения пролитых нефтепродуктов в жесткие плавучие емкости объемом не менее 2 м³ и дальнейшая их буксировка

к месту приема береговыми или плавучими станциями;

- построение нефтесборных ордеров.

5. Строительство и использование

За период с 2010 года из выше перечисленной линейки вошли в строй двадцать одно судно проектов MPSV07, SDS08, A160, A40 (заводы-строители: «Нижегородский Теплоход», Невский судостроительно-судоремонтный завод, Ярославский завод, Судоверфь братьев Нобель в Рыбинске), достраиваются еще два МСС проекта MPSV07 и в работе находятся три МСС проекта MPSV06. Предполагаются к постройке еще два МСС проекта MPSV09 и четыре МСС проекта MPSV12, а также ряд других судов.

При этом, за столько короткий период эксплуатации суда-спасатели нового поколения уже успели принять участие в реальных спасательных операциях.

Во время спасательной операции танкера «Григорий Бугров» в октябре 2011 года МСС проекта SDS08 «Стольный град Ярославль» прошел настоящее боевое крещение.

Краткая справка: в 14.32 13 октября танкер, имея на борту груз – 6138 т мазута и запасы – 44 т дизельного топлива, 1,5 т масла, 5 т льяльных вод и 30 т пресной воды, столкнулся с неизвестным подводным объектом. После столкновения в течение короткого времени было затоплено машинного отделение, судно потеряло ход, обесточилось, получило крен около 30 градусов на ЛБ и дифферент 4,5 м на корму. В результате танкер сел кормой на грунт. Танкер получил пять последовательных пробоин днища с ЛБ на длине около 96 м (72% от габаритной длины судна – от форрика до МО) и принял около 3000 т забортной воды (28% от водоизмещения по ЛГВЛ). Учитывая, что на борту было еще и 6138 т груза и около 80 т запасов, следует признать, что состояние судно было крайне опасным и сама операция с таким объектом крайне тяжелой (как говорится, «на грани возможного»). «Стольный град Ярославль» обеспечивал работу водолазов, поставил боновое заграждение и был, как самое новое судно из принимавших участие в операции, с современными средствами коммуникации и связи, местом размещения штаба. Результат аварийно-спасательной операции: экипаж танкера не пострадал, разлива груза не допустили, судно «Григорий Бугров» спасено.

Кроме того, «Стольный град Ярославль» принял участие в праздничных мероприятиях, посвященных тысячелетию основания города Ярославля в сентябре 2010 года.

МСС проекта SDS08 «Постов Великий» в августе 2011 года участвовал в комплексных учениях сил и средств единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций «Арктика-2011» в акватории губы Буор-Хая моря Лаптевых, порт Тикси. Согласно сооб-

щениям Государственного морского спасательно-координационного центра в ходе учений отрабатывались следующие учебные задачи: «Ликвидация аварийного разлива нефти регионального значения», «Поиск и спасание людей терпящих бедствие на море» и «Тушение пожара на аварийном судне». Учебные цели были достигнуты. «Ростов Великий» был самым новым судном из состава комплексной группировки флота, принявшей участие в учениях «Арктика-2011».

В апреле – мае 2012 года МВС «Ростов Великий» спасал сухогруз «Тихон Семушкин», выполняя работы по откачке воды из машинного отделения, водолазные работы и обеспечение буксировки.

Судно «Тихон Семушкин» из-за спора хозяйствующих субъектов около трех лет стояло брошенным у пирса в поселке Авача. В апреле 2012 года вандалы выкрутили клапаны, выполненные из цветного металла, из системы охлаждения главного двигателя, в машинное отделение хлынула вода. Судно опустилось кормой на грунт, возникла опасность опрокидывания сухогруза и разлива топлива. Водолазам удалось герметизировать судно, затем сухогруз был отбуксирован к причалу Сахалинского бассейнового аварийно-спасательного управления (в Петропавловске-Камчатском). С помощью оборудования МВС откатали около 100 кубометров нефте-содержащих вод из цистерн аварийного судна и устранили опасность опрокидывания судна. Машинное отделение и другие загрязненные мазутом помещения обработали сорбентом.

19-20 марта 2013 года были проведены ледовые испытания МСС проекта MPSV07 «Спасатель Карев» с целью проверки характеристики ледовой ходкости судна.

Испытания проводились в восточной части Финского залива при температурах до минус 10°C. При испытаниях проверялись: ледовая ходкость на переднем ходу в ровном льду; ледовая ходкость на заднем ходу при движении в собственном канале; возможность выполнения разворотов судна в ровных льдах циркуляцией при движении носом вперед; ледовая ходкость на переднем ходу в сплоченном однолетнем льду.

По результатам испытаний установлено, что судно в полной мере соответствует требованиям Правил РС в соответствии с ледовой категорией Агс 5, а также соответствует заявленной проектной ледопроеходимости в сплошном ровном льду, а именно: - при 70% мощности гребных электродвигателей судно движется передним ходом со скоростью 3,5 узла в сплошном ровном льду толщиной около 45-50 см; - при 40% мощности гребных электродвигателей судно движется задним ходом со скоростью 3,2 узла в собственном канале; - при 70% мощности гребных электродвигателей судно движется передним ходом со скоростью до 9,1 узла в сплоченном однолетнем льду толщиной около 50 см.

Для проверки возможности разворота судна в сплошном ровном льду был выполнен маневр «циркуляция» при 70% мощности гребных электродвигателей в сплошном ровном льду толщиной около 45 см. Циркуляция выполнялась при переключке ВРК на 15°, диаметр циркуляции составил около 450 м. При движении в сплоченном однолетнем льду преодоление стыков ледяных полей выполнялось непрерывным ходом без снижения скорости.

МСС проекта MPSV07 мощностью 4 МВт «Спасатель Карев» с оборудованием для ликвидации разливов нефти/нефтепродуктов приняло участие в международных учениях по ликвидации разлива нефти «BALEX DELTA 2013». Учения проводились на подходах к порту Варнемюнде (Германия). По сценарию учения в результате аварии траулера «Seewolf» и судна «Spiekegoog» произошел разлив 2500 куб.м мазута марки IFO-180 на акваторию моря. Для ликвидации последствий разлива было задействовано около 25 судов, силы и средства девяти прибалтийских государств, включая Россию, представленную «Спасателем Каревым». Учение прошло успешно, учебные цели были достигнуты, поставленные задачи выполнены.

Он же в период с 17 по 24 января 2014 года успешно осуществил в интересах ОАО «Рособоронэкспорт» буксировку построенной на Адмиралтейских верфях для Вьетнама дизель-электрической подводной лодки «Хошимин» из порта Санкт-Петербург в порт Калининград. Буксировка проводилась в сложных зимних условиях, во льду. Судно отработало в штатном режиме. Экипаж показал хорошие практические навыки по управлению спасательным судном новейшего поколения. Заказчик письменно выразил благодарность экипажу за высокий профессионализм и слаженную работу.

6. Заключение

1. Потребности ФБУ «Госморспасслужба России» в настоящее время оцениваются в 104 новых судов и катеров, в том числе 15 МСС, 6 МВС, 5 рейдовых водолазных судов, 23 спасательных катера-бонипостановщика.

2. Общей тенденцией является строительство многофункциональных спасательных судов и повышение мощности энергетической установки.

3. Основными факторами, определяющими успешное выполнение всего спектра аварийно-спасательных работ являются достаточные ледопроеходимости, ходкость на чистой воде, мореходность с учетом ограничений по осадке, которые актуальны для значительной части морских акваторий страны.

4. Многообразие условий плавания, ледовых условий, глубин в каждом конкретном месте несения АСГ привело к созданию семи базовых концептов с различными главными параметрами, включая:

- МСС – ледокол мощностью 7 МВт для самостоятельной работы в сплошном ледяном поле толщиной около 1 м с неограниченным районом плавания, с возможностью выполнения ледокольных операций при толщине льда до 1,5 м, с осадкой около 6-6,5 м для Северного морского пути и Дальневосточного бассейна;

- МСС мощность 4 МВт с высоким ледовым классом Arc5 для самостоятельной работы в сплошном ледяном поле толщиной около 0,5 м, с неограниченным районом плавания, с возможностью плавания в канале за ледоколом в среднем однолетнем льду толщиной до 1,2 м, с осадкой около 4,5-5 м для Балтийского и Черного морей;

- МСС мощностью около 2 МВт с неограниченным районом плавания, с осадкой около 5 м для незамерзающих акваторий;

- МСС мощность около 3 МВт с высоким ледовым классом Arc4 для самостоятельной работы в разреженных тонких однолетних льдах толщиной до 0,7 м в зимне-весеннюю навигацию и до 0,9 м в летне-осеннюю навигацию, с неограниченным районом плавания, с осадкой около 3-3,5 м для Азовского и Каспийского морей;

- МВС – малое судно обеспечения с ледовым классом Ice2 для самостоятельной работы в мелкобитых разреженных льдах толщиной около 0,55 м с районом плавания R2, с осадкой до 2,4 м для работы в прибрежных морских районах при волнении с высотой 3% обеспеченности до 7 м;

- РБК с ледовым классом Ice2 для самостоятельной работы в мелкобитых разреженных льдах толщиной около 0,55 м с районом плавания R3-RSN, с осадкой около 1,5 м для работы в порту и на рейде при волнении 3% обеспеченности до 3,5 м;

- спасательный катер-бонопостановщик с ледовым классом Ice2 для самостоятельной работы в мелкобитых разреженных льдах толщиной около 0,55 м с районом плавания R3-RSN, с осадкой около 1,3 м для работы в порту и на рейде при волнении 3% обеспеченности до 3,5 м.

5. В соответствии с изложенными концептами уже построено с 2010 года 21 новое судно для несения АСГ, а еще 7 находятся в постройке.

Литература

1. Артомонов В.В. Критерий оптимизации численного и качественного состава аварийно-спасательного флота для ликвидации открытых нефтегазовых фонтанов и пожаров на морских промыслах // Труды IV Всесоюзной конференции «Мировой океан». - Владивосток, 1983. - С. 33-35.
2. Буянов А.С. Анализ состояния аварийно-спасательного флота России. Проблемы развития морского флота. - СПб: ЦНИИ морского флота, 2009. - С. 107-114.
3. Гурович А.Н., Родионов А.В. Проектирование спасательных и пожарных судов. - Л.: Судостроение, 1971. - 284 с.
4. Егоров Г.В., Ворона О.А., Черний В.А. Комплексный подход к борьбе за живучесть судна с учетом требований прочности на примере спасательной операции с танкером «Григорий Бугров» // Труды НТК по СМК памяти акад. Ю.А. Шиманского. - СПб: ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова, 2011. - С. 23-24.
5. Егоров Г.В., Ильницкий И.А., Автутов Н.В. Концепты российских многофункциональных судов-спасателей нового поколения // Судостроение и судоремонт. - 2010. - №41. - С. 24-32.
6. Егоров Г.В., Тонюк В.И. Морские водолазные суда типа «Стольный град Ярославль». Судостроение. - 2012. - №3. - С. 17-23.
7. Карев В.И. Морские спасатели России. - М.: Морской флот, 2007. - 444 с.
8. Любимов Е.В. Выбор проектных характеристик пожарных судов на ранних стадиях проектирования. Судостроение. - 1986. - №3. - С. 4-5.
9. Сидорченко В.Ф. Суда-спасатели и их служба. - Л.: Судостроение, 1983. - 240 с.
10. Спитковский М.И. Суда технического и служебно-вспомогательного флота. - М.: Транспорт, 1965. - 295 с.

References

1. Artomonov V.V. Kriterij optimizacii chislennogo i kachestvennogo sostava avarijno-spasatel'nogo flota dlya likvidacii otkrytyh neftegazovyh fontanov i pozharov na morskikh promyslah // Trudy IV Vsesoyuznoj konferencii «Mirovoj okean». - Vladivostok, 1983. - S. 33-35.
2. Buyanov A.S. Analiz sostoyaniya avarijno-spasatel'nogo flota Rossii. Problemy razvitiya morskogo flota. - SPb: CNII morskogo flota, 2009. - S. 107-114.
3. Gurovich A.N., Rodionov A.V. Proektirovanie spasatel'nyh i pozharnykh sudov. - L.: Sudostroe-nie, 1971. - 284 s.

4. Egorov G.V., Vorona O.A., Chernij V.A. Kompleksnyj podhod k bor'be za zhivuchest' sudna s uchetom trebovanij prochnosti na primere spasatel'noj operacii s tankerom «Grigorij Bugrov» // Trudy NTK po SMK pamyati akad. YU.A. SHimanskogo. - SPb: CNII im. akad. A.N. Krylova, 2011. - S. 23-24.
5. Egorov G.V., Il'nickij I.A., Avtutov N.V. Koncepty rossijskih mnogofunkcional'nyh sudov-spasatelej novogo pokoleniya // Sudostroenie i sudoremont. - 2010. - №41. - S. 24-32.
6. Egorov G.V., Tonyuk V.I. Morskie vodolaznye suda tipa «Stol'nyj grad YAroslavl'». Sudo-stroenie. - 2012. - №3. - S. 17-23.
7. Karev V.I. Morskie spasateli Rossii. - M.: Morskoj flot, 2007. - 444 s.
8. Lyubimov E.V. Vybor proektnyh harakteristik pozharnyh sudov na rannih stadiyah proektirovaniya. Sudostroenie. - 1986. - №3. - S. 4-5.
9. Sidorchenko V.F. Suda-spasateli i ih sluzhba. - L.: Sudostroenie, 1983. - 240 s.
10. Spitkovskij M.I. Suda tekhnicheskogo i sluzhebno-vspomogatel'nogo flota. - M.: Transport, 1965. - 295 s

УДК 629.12.001.24:681.32

ПОНЯТИЕ МНОГОЦЕЛЕВОГО СУДНА ЛЕДОВОГО ПЛАВАНИЯ И ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМАТИЧЕСКОГО ПОДХОДА ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ХАРАКТЕРИСТИК НА НАЧАЛЬНОМ ЭТАПЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СУДНА ЭТОГО ТИПА

Огай Сергей Алексеевичкандидат технических наук, доцент
ректорМорской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского
690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, д.50 – а
тел.: (423) 241–49–68; e-mail: ogay@msun.ru

Аннотация

Понятие многоцелевого судна ледового плавания можно рассматривать как развитие концепции ледокола с определенными дополнительными функциями, такими как: транспортная, исследовательская, учебная и другими функциями, осуществляемыми, в частности, на шельфовых месторождениях полезных ископаемых. В отличие от ледокола многоцелевое судно ледового плавания может при проектной оптимизации оцениваться с позиций экономической самокупаемости. В то же время, определение проектных характеристик ледокола не обладающего указанными дополнительными функциями связано с минимизацией затрат: инвестиций в постройку и в пополнение оборотных средств, или приведенных затрат при соблюдении физических ограничений по проходимости во льдах и по конструктивной прочности. Уравнение баланса нагрузки многоцелевого судна ледового плавания характеризует вероятностные качества судна, как объекта проектной оптимизации, поскольку уравнение характеризует совместное влияние большого количества факторов на пропорциональное соотношение характеристик судна, например, на соотношение водоизмещения и дедвейта (или влияние на пропорции вместимости, на баланс мощности источников и потребителей на судне др.), при условии, что каждый отдельный фактор не оказывает заметное влияние на соотношение этих характеристик. Соотношения между характеристиками многоцелевого судна ледового плавания, а также соотношения между характеристиками и элементами в первоначальном приближении можно определить на основе статистических обобщений по данным современных судов ледового плавания и отражают пропорции этих характеристик для эффективного, надежного и мореходного судна, безопасного в эксплуатации, прочного и долговечного в той мере, в которой эти качества соответствуют судам, данные которых использованы. Применение этих данных дает возможность сократить размерность оптимизационной задачи на стадии предварительного проектирования судна.

Ключевые слова: многоцелевое судно; гражданское судно; судно ледового плавания; элемент судна; проектная характеристика; проектная оптимизация; экономический критерий; физические ограничения; уравнение баланса нагрузки

THE CONCEPT OF MULTIPURPOSE SHIP FOR ICE NAVIGATION AND FEATURES OF SYSTEMATIC APPROACH IN DETERMINING THE CHARACTERISTICS AT THE INITIAL STAGE OF THE DESIGN OF THIS TYPE OF SHIP

Ogai Sergey AlexeevichAssociate professor, Cand. Sci. Tech.
RectorMaritime state university named Admiral Nevelskoi
50 – a, Verkhneportovaya st., 690059, Vladivostok, Russia
tel.: (423) 241–49–68; e-mail: ogay@msun.ru

Abstract

The Multipurpose ship for ice navigation is concern as the development of icebreaker concept with definite extra-functions such as transport, research, training, patrol, and another, in particular, on the offshore gas fields, etc. Multipurpose unlike icebreaker can be the self-sufficient object for project opti-

mization. At the same time, the choice of project characteristics of the icebreaker, not endowed with extra-functions, generally associated with the minimization of costs : investment in construction and working capital financing, or minimizing of life–cost with primary account of the physical constraints on the ice ship patency and structural strength. The load balance equation characterizes the probabilistic features of Multipurpose ice-navigating ship, as an object of design optimization, since the equation shows the combination affect of large number of factors on the ratio of characteristics of Multipurpose ice-navigating ship, in particular, the proportion of displacement and deadweight (or tonnage, etc.), taking into account that each separate factor has no appreciable effect on the ratio of these characteristics. The interdependences of the characteristics of Multipurpose ship for ice navigation, as well as the proportions of their particulars are determined on the basis of generalizations with respect to the data of modern ice–navigating ships and their projects and reflect the proportions of these characteristics values for efficient, reliable and seaworthy ship, safe in operation, strong and durable to the extent that these qualities are inherent in the data used. Using these dependences obtained in systematic formulation gives the opportunity to reduce the dimension of the optimization task.

Key words: multipurpose vessel; merchant ship; ice–going ship; ship particular; project characteristic; project optimization; economic criteria; physical constraints; load balance equation

1. Введение. Системные задачи при проектировании судна ледового плавания

Определению характеристик и элементов на начальной стадии проектирования многоцелевого судна ледового плавания (МСЛП, МЛ) предшествует разработка методологических основ на принципах системного подхода. Это обычно включает решение следующих задач [3 – 5]:

1. Комплексное всестороннее определение класса многоцелевого судна ледового плавания в принятой совокупной классификации гражданских судов.

2. Формулирование методологической иерархии, в частности, определение понятия комплексного объекта, более общего, чем многоцелевое судно ледового плавания, являющегося, в свою очередь, более общей системой, частью которой является проектируемое судно. Возможно определенное многообразие вариантов указанной более общей системы. Выбор приемлемого варианта зависит от корректного решения первой указанной задачи.

3. Определение ограничений и формулирование списка исходных данных для проектирования судна, что тесно связано с решением второй указанной задачи, поскольку проектные ограничения в форме уравнений или данных являются, соответственно, характеристиками более общей системы, чем проектируемое судно.

4. Определение подсистем многоцелевого судна ледового плавания, то есть объектов, методологически входящих как части в комплекс проектируемого судна. Такие части на следующих этапах могут рассматриваться как обособленные объекты проектирования. Представление проектируемого многоцелевого судна ледового плавания как комплексной системы, состоящей из подсистем, также выступает одним из следствий решения первой указанной задачи. Формулирование подсистем судна открывает возможность определить его проектные элементы.

5. Определение списка (множества, координат точки, вектора) проектных характеристик мно-

гоцелевого судна ледового плавания в общей совокупности независимых числовых величин, характеризующих проектируемое судно, путем выделения следующих классов величин: определяемого при решении второй и третьей из указанных задач множества ограничений, выступающих данными при проектной оптимизации судна и вектора проектных элементов, определяемого при решении четвертой указанной задачи.

Каждая из названных задач (со второй по пятую) в системном отношении подчинены первой, а их решения могут служить основой для методологической разработки подходов при проектировании многоцелевого судна ледового плавания.

По указанной причине важно корректное решение первой задачи, - формулирование понятия многоцелевого судна ледового плавания, то есть, определение этого типа судов, что позволит в дальнейшем сформулировать проектные ограничения, совокупность исходных данных, множества искомых проектных характеристик и элементов, что в целом ведет к решению проектной задачи для судов данного типа.

Указанные задачи относятся к ранним стадиям проектирования судна, а именно к этапам технического задания и технического предложения, и в меньшей степени к разработке элементов судна на остальных этапах: эскизного проектирования, технического и рабочей документации.

2. Понятие полезности в основе проектной оптимизации многоцелевого судна ледового плавания

Создание принципов определения проектных характеристик многоцелевого судна ледового плавания, подходов и рекомендаций подчинено идеям эффективности и оптимальности, формулированию критериев оптимальности и ограничений в терминах системного подхода.

При проектировании судов, планируемых в серийное производство, в основе понятия полезности для формулирования показателя эффективности, применяемого в качестве критерия оптимальности, обычно используется экономический показатель, связанный с минимизацией за-

трат или с максимизацией прибыли и рентабельности.

Характеристикой инвестора при проектной оптимизации служит финансовое ограничение, а экономические интересы инвестора направлены на освоение морских ресурсов.

При определении ограничений рассматривается комплекс активов морского предприятия, с помощью которого осуществляется доступ инвестора к морским ресурсам. Судно, планируемое в серийную постройку, при проектной оптимизации оценивается как часть комплекса активов морского предприятия. То есть, сравниваются затраты (инвестиции) и эффект, причем для серийных судов к морским ресурсам в широком смысле можно отнести любые качества морской среды, пригодные для продуктивного использования [3], не ограничиваясь только минеральными или биологическими ресурсами моря.

То есть, для оптимизации по экономическому критерию проектных характеристик судна планируемого в серийную постройку к морским ресурсам можно отнести любые законные возможности морской промышленной деятельности на условиях экономической эффективности и самокупаемости, или на условиях иначе определяемой полезности.

К ним можно отнести, в частности, морские грузопотоки, в частности, сжиженного природного газа или других грузов в замерзающих морях; спрос на тот или иной вид промышленной деятельности на шельфе замерзающих морей, например, обслуживание гидротехнического строительства, осуществление процессов генерирования энергии или сжижения газа, иной деятельности; обучение морским специальностям по рассмотренным направлениям.

Следует учитывать, что методы проектной оптимизации с использованием экономических критериев для определения характеристик и элементов ледокольных судов в экономическом отношении не всегда самодостаточны и могут возникать методологические затруднения, связанные с тем, что ледокольные суда обычно создаются для использования в районах, в которых не характерна экономическая активность, кроме выполнения федеральных задач. Данное обстоятельство может ограничивать возможности применения экономических критериев, основанных на показателях дохода и прибыли, при проектной оптимизации ледокольных судов.

Суда ледового плавания строятся, главным образом, в соответствии с задачами федеральной экономической и социальной политики, которыми предопределяется спрос. В то же время, стартовые инвестиции и финансирование эксплуатационных затрат преимущественно осуществляются совместно на основе участия федерального бюджета и частных инвесторов или без их участия, что является методологическим затруднением для необходимых экономических оценок. Подобное затруднение, связанное с формулиро-

ванием критерия, не возникает при иных обстоятельствах – в задачах проектной оптимизации серийных судов, проектируемых для удовлетворения рыночного спроса на условиях хозяйственного расчета и самокупаемости.

Другими словами, системное определение проектных характеристик ледокольного судна требует создания подходов, основанных как на данных аналогов, а именно новых аналогов таких судов ледового плавания, в отношении которых имеется максимальный опыт постройки и на оптимизации их проектных характеристик по экономическим критериям с учетом ограничений (данных), а также, на учете задач ледовой навигации судов, планируемых к постройке по федеральным программам и по Стратегии развития судостроения.

Методологические основы для оптимизации проектных характеристик ледокольного судна (т.е. судна ледового плавания) в указанном определении не разработаны, хотя решение такой задачи непосредственно связано с федеральными программами развития судостроения, освоения ресурсов Арктики и развития судоходства в замерзающих морях.

3. Понятие многоцелевого судна ледового плавания для использования в качестве объекта проектирования

Понятие «многоцелевое судно ледового плавания», другими словами, многоцелевой ледокол, может быть определено как развитие понятия ледокол с добавлением к ледокольной функции также иных функций, осуществляемых в замерзающих морях, в частности, при обслуживании морских газовых месторождений, таких как транспортная, исследовательская, учебная, патрульная, обслуживание инженерных изысканий и гидротехнического строительства, генерирование энергии и др.

Обладая мореходными качествами в ледовых условиях морские суда различного назначения могут часть времени использоваться в замерзающих морях, а часть времени в ледовых условиях в зависимости от сезонности и от определенных широтных условий.

Анализ опыта эксплуатации судов, имеющих ледовый класс, при таких обстоятельствах, когда для целей безопасности плавания во льдах применяется конструкция, соответствующая требованиям ледового класса с повышенной прочностью, показывает, что в обычных навигационных условиях эта конструкция судна оказывается чрезмерно тяжеловесной. Данное обстоятельство приводит к пониманию целесообразности специализации судов ледового плавания, в том числе, ледоколов, используемых в ледовых условиях максимальной продолжительности в году, обеспечивая безопасное и эффективное использование других судов, не имеющих ледового класса или имеющих незначительные ледовые усиления.

Многоцелевое судно ледового плавания преимущественно остается в ледовом районе, выполняя функцию ледокола, а также иные функции, совместно с ледокольной. В этом смысле, многоцелевое судно ледового плавания может рассматриваться как многоцелевой ледокол. В отличие от ледокола, который обеспечивает безопасную и эффективную эксплуатацию других судов, предполагается, что многоцелевое судно ледового плавания это следующий технический уровень, соответствующий осуществлению иных функций помимо ледокольной функции.

В целом можно сказать, с одной стороны, что многоцелевое судно ледового плавания является развитием понятия гражданского судна любого типа в плане повышения мореходных качеств в ледовых условиях, а с другой стороны, - развитием концепции ледокола в направлении коммерциализации и придания ледоколу дополнительных функций, которые открывают возможность использования судна на принципах самокупаемости и экономической целесообразности.

Указанное определение многоцелевого судна ледового плавания как объекта для теории проектирования прежде не было введено, в отличие от ледокола или от судов ледовых классов по правилам Регистра или по иным нормативным правилам.

Следует разработать перечень функций многоцелевого судна ледового плавания, кроме ледовой функции, которые свойственны судам этого типа. Указанные функции логично соотносить с перечнем перспективных типов судов, планируемых к постройке в соответствии с федеральными программами, в частности, в соответствии со Стратегией развития судостроительной промышленности, принятой в 06 сентября 2007 года Министерством промышленности и энергетики и с другими планами, которые являются развитием общего видения стратегических задач.

В соответствии со Стратегией к числу перспективных типов отнесены суда ледового плавания, кроме ледоколов, предназначенные для использования в Арктических и замерзающих морях для выполнения транспортных или других функций, а именно:

- танкеры для перевозки жидких грузов, в том числе, для перевозки сжиженного природного газа (LNG);
- контейнерные суда;
- плавучие платформы и стационарные шельфовые конструкции;
- исследовательские суда;
- обслуживающие суда и суда снабжения, учебные и производственные суда, в том числе, плавучие электростанции.

В соответствии с планируемой Стратегией, спрос в отношении специализированных грузовых судов для работы в арктических морях составляет около 90 единиц суммарным дедеветом около 4 млн. т, а также, спрос в отношении пополнения судов снабжения составляет до 140

единиц, кроме этого требуется от 10 до 12 ледоколов.

В соответствии со Стратегией и федеральными программами планируется создание судов инновационного назначения, в отличие от серийных судов, строящихся в соответствии с рыночным спросом.

Совмещение функций судна, имеющего ледовый класс, таких как навигация в замерзающих морях и в умеренных широтах, может встречать экономические противоречия, и в этой связи возникает специфическая проектная задача выбора из двух предпочтений: постройка гражданских судов ледового плавания или постройка совокупности специализированных судов, например, ледокола и не имеющих ледового класса или имеющих незначительный класс судов.

4. Предмет методологических подходов

Предметом является создание методологических подходов для определения проектных характеристик и элементов на ранних стадиях проектирования многоцелевого судна ледового плавания. Предмет охватывает решение следующих задач:

- на основе понятий системного подхода разработка методологических основ для оптимизации проектных характеристик судна, формулирование понятия сопоставимости вариантов и ограничений;
- анализ совокупного вероятностного влияния многообразных факторов на соотношения характеристик судна;
- определение условий баланса характеристик: водоизмещения проектируемого судна; баланса структуры активов в комплексе морского предприятия, др.;
- оценка функциональных ограничений для оптимизации проектных характеристик многоцелевого судна ледового плавания;
- оценка физического ограничения для заданного уровня ледовых качеств;
- определение характеристики полезности многоцелевого судна ледового плавания с учетом показателей: минимизируемых затрат, максимизируемых доходов; анализ иерархии экономических критериев;
- определение понятия полезности и характеристики, в том числе на основе максимизируемого показателя по оценке сэкономленных убытков при осуществлении функций судна по Стратегии и федеральным программам;
- разработка целевых функций и моделей оптимизации по принятым экономическим критериям для использования на ранних стадиях проектирования многоцелевого судна ледового плавания;
- исследование свойств проектных характеристик в окрестности их оптимального сочетания, включая исследование условной и безусловной устойчивости, учитывая, что абсолютная (безусловная) устойчивость означает оптимальность проектных характеристик без влияния функцио-

нальных ограничений;

- вероятностная оценка устойчивости оптимального по экономическому критерию сочетания проектных характеристик многоцелевого судна ледового плавания с учетом показателя рисков;

- разработка практических рекомендаций по усовершенствованию математических моделей используемых для определения характеристик многоцелевого судна ледового плавания на ранних стадиях проектирования;

- разработка рекомендаций по унификации терминов и понятий для планирования их внедрения в учебный процесс в части системной методологии определения характеристик на ранних стадиях проектирования многоцелевых судов ледового плавания.

5. Многоцелевое судно ледового плавания как комплексная вероятностная система

В соответствии с принципами системного подхода судно при проектировании исследуется как комплексная вероятностная система [5], то есть такая, которую нельзя представить иначе, как состоящей из частей, – подсистем.

Методологически подсистеме обычно можно определить как физически целостное судно, но рассматриваемое с точки зрения одного из совокупности его качеств. Например, к подсистемам можно отнести отдельные мореходные качества судна: плавучесть, остойчивость, непотопляемость, ходкость, управляемость и маневренность. В рамках системного подхода при совмещении этих частей в системе возникает новое качество, отсутствующее в частях проектируемого судна. Причем, это возникшее качество наиболее важно для задачи проектирования судна.

Собственно, судно, как объект проектирования можно рассматривать двояко, или как совокупность всех качеств, включая вновь возникшее, или только как вновь возникшее качество, не касаясь тех, которые присутствуют в частях судна. В этой связи примерами определения судна, как объекта проектирования, могут служить:

- целостное судно, имеющее мореходные качества и эксплуатационные характеристики, включая функцию назначения;

- или судно, только как функция, подразумеваемая, но фактически не касаясь качеств и остальных характеристик, присутствующих в его частях.

В диалектическом смысле можно продолжить фрагментацию (дедукцию) подсистем судна, а также возможно индуктивное обобщение для определения более общего объекта, частью которого выступает проектируемое судно, например, более общим объектом может выступать имущественный комплекс судоходной компании.

Это приводит к системному определению проектных ограничений и критерия оптимальности, а также, к упорядочиванию числовых значений в совокупности характеристик и элементов проектируемого судна, которые «привязаны» к

иерархии используемых моделей, относимых, как к судну, так и к более общим объектам, включающим судно, а также к подсистемам судна.

6. Системные уровни и понятие более общей системы при проектировании многоцелевого судна ледового плавания

Корректное системное определение более общего, чем проектируемое судно, объекта является важным методологически для оценки исходных данных и для понимания общей последовательности проектирования и создания моделей определения оптимальных проектных характеристик и элементов.

Можно привести следующие примеры объектов более общих в методологическом смысле, чем проектируемое судно:

- флот грузоперевозчиков при определении его состава и пополнения в рамках «внешней задачи» проектирования судна, если спрос формируется административным решением [5];

- совокупность активов комплекса морского предприятия [3]; при условии либеральной рыночной экономики логично в качестве более общей системы, чем проектируемое судно рассматривать комплекс активов морского предприятия (судоходной компании) и определять финансовые ограничения для проектной оптимизации по оценке этого имущественного комплекса;

- морской грузопоток определенной интенсивности и протяженности, обслуживаемый совокупностью идентичных или сходных в целом транспортных судов, чьи проектные характеристики являются предметом проектной оптимизации, причем среди искомым характеристик определяется также число судов, обслуживающих грузопоток;

- комплекс сходных судов, осуществляющих освоение водных биологических ресурсов в определенном районе (промысловая экспедиция) или комплекс судов по освоению иных ресурсов, таких, как полезные ископаемые: нефть, природный газ, минеральные ресурсы, др.

В последних двух примерах сходство проектируемых судов в составе совокупности следует из понятия оптимальности, так как если найдены характеристики оптимального судна, то суда с существенно другими характеристиками оптимальными являться не могут.

Методологической концепцией более общей системы, чем проектируемое судно может служить понятие «морская техника» (океантехника, marine engineering). Методологически судно охватывается понятием морская техника, но морская техника не сводится к судну и включает также иные объекты. В этом смысле морскую технику можно считать более общим, чем судно объектом.

Это не означает, что судно в физическом смысле является частью морской техники, как более общей системы. Напротив, фактически морская техника обычно рассматривается, как

оборудование судна, механизмы, устройства и системы, включая специально разрабатываемые для применения в морских условиях, например, морское энергетическое и электромеханическое оборудование, морские приборы и средства автоматизации, оборудование для осуществления технологических процессов в море и др.

Типовое оборудование судна как правило рассматривается как его подсистема. Напротив, нетиповое оборудование судна или комплексно связанное с функциональным назначением судна может выступать не как подсистема при проектировании судна, а как более общая.

Более общую систему для проектирования судна инновационного назначения можно определить методологически, но не в имущественном отношении, как это логично было бы для судна планируемого в серийную постройку, когда более общей системой является комплекс активов морского предприятия.

Для судна инновационного назначения, например, для многоцелевого судна ледового плавания более общей системой методологически может служить совокупность оборудования, специально разрабатываемого в соответствии с функцией судна по федеральным программам или по Стратегии развития судостроения, чем в дальнейшем предопределены характеристики проектируемого судна.

Если это необходимо для постройки судов, функции которых определяются федеральными программами или Стратегией развития судостроения, то создание новых технологических возможностей в судостроении, которые не потребовались бы для серийной постройки судов, ориентированной на рыночный спрос, тоже можно считать созданием новой функциональной подсистемы судна инновационного назначения, то есть, новым качеством целостного судна. Методологически это новое качество судна является связью с технологическими возможностями его постройки. То есть, данными для оптимизации проектных характеристик судна инновационного назначения выступают созданные или создаваемые технологические возможности судостроительного производства, которые позволяют изготавливать необходимые функциональные элементы судна этого типа.

7. Особенности системного подхода для проектной оптимизации многоцелевых судов ледового плавания

Соотнесение понятий системного подхода при проектной оптимизации традиционных серийных судов, строящихся в соответствии с рыночным спросом, с одной стороны, что достаточно изучено [1, 2, 5 – 10], и судов инновационного назначения, в частности, многоцелевых судов ледового плавания, создаваемых в соответствии с федеральными программами или со Стратегией развития судостроительной промышленности, с другой стороны, представлены в Таблице.

Последовательность определения проектных характеристик и элементов судов инновационного назначения, создаваемых по федеральным программам или по Стратегии развития судостроения, методологически отличается существенно от этой последовательности для судна, планируемого в серийное производство, ориентированное на рыночный спрос, что означает проектирование «от общего к частному».

То есть предварительно, до проектной оптимизации характеристик судна инновационного назначения должна быть определена или задана вся совокупность элементов судна в комплексе. Иными словами, данными для определения проектных характеристик многоцелевого судна ледового плавания могут быть его элементы, например, размерения судна и их соотношения определяемые с точки зрения мореходности в ледовых условиях, а также, конструктивные элементы, комплекс механизмов, устройств, систем и энергетическое оборудование, в свою очередь, определяемые функцией многоцелевого судна ледового плавания, согласно федеральным программам или Стратегии развития судостроения.

Можно сказать, что функция создаваемого судна инновационного назначения выступает основным ограничением при проектировании судна. А финансовое ограничение инвестора, которое служит основным данным при определении проектных характеристик судна, планируемого в серийную постройку, при переходе к модели проектной оптимизации многоцелевого судна ледового плавания, трансформируется в целевую функцию в форме экономического критерия минимизируемых затрат: или показателя первоначальных инвестиций, или текущей стоимости всех затрат за жизненный цикл, включая как первоначальные инвестиции, так и текущую стоимость потока эксплуатационных расходов.

Рассмотренная последовательность определения проектных характеристик судна инновационного назначения, в частности, многоцелевого судна ледового плавания, в наибольшей степени зависит от особенностей создания инновационного элемента, связанного с функцией судна.

8. Многофункциональность судна ледового плавания

Многоцелевое судно ледового плавания в отличие от ледокола может быть объектом проектной оптимизации по экономическому критерию. В то же время, определение проектных характеристик ледокола не наделенного дополнительными функциями производится преимущественно на основе учета физических ограничений по конструктивной прочности и мореходным качествам в ледовых условиях, главным образом, на основе минимизации затрат с учетом, как инвестиций, так и эксплуатационных расходов.

Помимо соответствия планам пополнения флота по федеральным программам или по Стратегии развития судостроения многофункцио-

нальность судов ледового плавания, может быть обусловлена соответствием задачам обслуживания шельфовых сооружений в замерзающих морях.

Нужно отметить, что строительство крупных серий многоцелевых судов ледового плавания, назначение которых определяется указанным образом, не освоено верфями Республики Корея, Японии и Китая в той мере, в какой осуществляется постройка серийных судов в соответствии с рыночным спросом. Поэтому данный сегмент является многообещающим для развития судостроения в России и в других высокоразвитых в промышленном отношении странах, которые обладают морскими ресурсами, например, в странах, омываемых замерзающими морями богатыми полезными ископаемыми на шельфе. Причем, постройка многоцелевых судов ледового плавания в наибольшей степени свободна от конкуренции с серийным судостроением.

Последовательность проектирования судов инновационного назначения, включая многоцелевые суда ледового плавания, может, в общем, быть противоположной и иметь направленность «от частного к общему».

Практическое значение многоцелевых судов ледового плавания, пригодных для перевозки грузов в замерзающих морях, включая сжиженные режиминые и нережиминые жидкие грузы, в частности, природный газ, а также, укрупненные унифицированные другие и грузы, судов пригодных для размещения оборудования для выработки энергии и т.д., заключается в том, что суда этих типов в контрактах на постройку служат развитию инновационного судостроения за рамками конкуренции с серийным судостроением.

Если подойти к понятию судна ледового плавания как развитию концепции ледокола, наделенного дополнительными функциями. Особое место занимает учебное судно ледового плавания. При этом учитывается, что для придания ледоколу функций учебного судна требуются минимальные конструктивные изменения, связанные с различием элементов корпуса судна, который должен включать учебные помещения. Требуется, с одной стороны, соответствие судна функциям обучения процессам по обслуживанию морской техники для функций и задач по Стратегии, то есть, в обеспечение федеральной социально-экономической политики по освоению ресурсов моря, и с другой стороны, должна достигаться эффективность судна по экономическим показателям. По этим причинам учебное судно в конструктивном и функциональном отношении относится к числу наиболее сложных гражданских судов. Назначение инновационных учебных судов, включая многоцелевые суда ледового плавания, должно охватывать многообразие задач, относящихся к перспективным направлениям экономической деятельности в море.

Фактически действующие ледоколы, а также, строящиеся суда, в том числе проектируемые су-

да в той или иной степени могут быть отнесены к числу многоцелевых, например, если планируется осуществление дополнительных функций, таких, как доставка грузов, пассажиров или участие в спасательных операциях, генерирование и передача энергии и пр. По этой причине, с точки зрения наделения судна дополнительными функциями, кроме ледокольной, подходы для проектирования многоцелевых судов ледового плавания в определенной мере применимы к определению проектных характеристик ледоколов, что можно было бы назвать граничной задачей, если обнулить числовые или функциональные ограничения, действующие в связи с дополнительной функцией судна ледового плавания, т.е. задать эти ограничения как тривиальные, заведомо выполняемые в форме неравенства.

Многоцелевое судно ледового плавания при сохранении ледокольных функций может применяться для осуществления снабжения, обеспечения безопасности и спасательных функций, и также, как и ледокол, для обслуживания в ледовых условиях других судов, не имеющих ледового класса.

При использовании ледоколов сопровождаемые суда не нуждаются в дополнительном усилении конструкций для работы во льдах, что способствует повышению их эффективности в типовых условиях, – при эксплуатации в открытой воде. Это дает возможность при проектировании сопровождаемых судов выбирать форму корпуса и проектировать конструкции, а также, пропульсивный комплекс без учета соответствия ледовым условиям, что потребовалось бы без планируемого обслуживания ледоколами или многоцелевыми судами ледового плавания.

Многоцелевое судно ледового плавания, как и ледокол, используется большую часть времени в замерзающих морях в отличие от гражданских судов других типов, имеющих ледовый класс. Это связано с тем, что функции многоцелевого судна ледового плавания дополнительно к ледокольной определены среди задач в замерзающих морях, в то время, как суда других типов, имеющие ледовый класс, строятся серийно в соответствии с рыночным спросом вне привязки к стратегии освоения замерзающих морей.

Указанное обстоятельство в отношении преобладания замерзающих морей как районов применения в соответствии с основным назначением оказывает принципиальное влияние на структуру проектных ограничений и на критерий для проектной оптимизации многоцелевого судна ледового плавания.

То есть с методологической точки зрения системные принципы определения проектных характеристик и их оптимальные значения для многоцелевого судна ледового плавания, с одной стороны, и для серийного гражданского судна, имеющего ледовый класс, с другой стороны, являются различными, не смотря на то, что суда этих типов физически имеют сходный элемент, –

ходовые качества в условиях льда. Но при проектировании многоцелевого судна ледового плавания этот элемент служит ограничением и относится к более общей системе, частью которой судно является, то есть к совокупности функции в замерзающих морях по Стратегии развития судостроения и по соответствующим федеральным программам, а для серийного судна, имеющего ледовый класс более общая система в той или иной форме характеризует инвестора и его экономические качества.

При этом ходовые качества серийного судна во льдах и соответствующие его конструктивные особенности при проектной оптимизации выступают не ограничениями, а элементами, то есть, характеристиками подсистем судна.

Форма корпуса многоцелевого судна ледового плавания в целом соответствует форме корпуса ледокола, хотя могут быть определенные отличия элементов формы, а именно соотношений размерений судна.

Предполагается, что многоцелевое судно ледового плавания, как и ледокол, типично оборудуется двигателями внутреннего сгорания и электрической передачей на винт.

Возможен иной тип силовой установки (СЭУ) или тип элементов в составе СЭУ и передачи, например, комбинированная силовая установка, состоящая из главных генераторов с двигателями внутреннего сгорания и/или газовых турбогенераторов, что может методологически рассматриваться как вариант проектной модернизации базового прототипа на основе типичного состава силовой установки. Это соответствует общему подходу при внесении поправок к характеристикам и элементам прототипа, имеющего определенное отличие от проектируемого судна по составу силовой установки.

Создание многоцелевых судов ледового плавания имеет практическое значение для развития судостроения и судоходства в замерзающих морях. Кроме этого для методологии проектирования судна понятие многоцелевого ледокола имеет теоретическое значение, т.к. создает предпосылки для усовершенствования понятий подхода при проектировании судна. Многоцелевое судно ледового плавания выступает новым объектом, который можно использовать для построения системы методологических подходов при проектировании судна, направленных на определение характеристик и элементов.

Инвестор может действовать не как единственный участник, а как партнерство двух или более участников, например, в составе, - морское предприятие, которое работает на условиях самокупаемости, а также, федеральные департаменты, участвующие в первоначальном инвестировании и получающие полные или частичные права собственности в соответствии с долями участия по договору о партнерстве инвесторов.

В отличие от постройки серийных судов, осуществляемой в соответствии с потребностями рыночной экономики, при создании многоцелевого судна ледового плавания инвестор выступает конкретным лицом, осуществляющим задачу по Стратегии или по федеральной программе.

13. Заключение

Многоцелевое судно ледового плавания определяется как развитие понятия ледокол с дополнением к ледокольной функции также иных, например, функции транспортировки грузов, исследовательской и учебной функций, патрульной, обслуживания гидротехнических инженерных работ на шельфе, генерирования энергии в замерзающих морях, обслуживания нефтегазовых месторождений на шельфе и др.

Учитывая указанную совокупность функций многоцелевого судна ледового плавания можно определить объект проектирования, который близок к судам перспективных типов, планируемым к постройке в соответствии со Стратегией развития судостроительной промышленности, принятой в 06 сентября 2007 года Министерством промышленности и энергетики.

Данное определение типа многоцелевых судов ледового плавания является новым и позволяет усовершенствовать концепции теории проектирования судна на основе системного подхода с ориентированием на использование методов проектной оптимизации по экономическим критериям в рамках ограничений.

При использовании моделей оптимизации для определения проектных характеристик многоцелевого судна ледового плавания учитываются вероятностные свойства судна как проектируемого объекта, что можно представить уравнениями баланса, то есть, соотношениями между характеристиками многоцелевого судна ледового плавания, в частности, уравнением баланса водоизмещения.

Это используется в практических целях для снижения размерности проектной задачи.

В дополнение к уравнениям баланса для сокращения размерности задачи проектной оптимизации многоцелевого судна ледового плавания могут применяться зависимости между характеристиками и элементами, а также, внутренние соотношения между элементами, которые характеризуют пропорции между этими значениями для эффективного, надежного и мореходного судна, безопасного в эксплуатации, прочного и долговечного в той мере, в которой эти качества соответствуют используемым аналогам.

Таблица

Соответствие системных понятий для проектной оптимизации серийных гражданских судов и многоцелевых судов ледового плавания, имеющих инновационное назначение

Наименование \ определение	Объект: традиционное судно, планируемое в серийную постройку	Объект: судно инновационного назначения, многоцелевое судно ледового плавания
Характеристика спроса	Рыночный спрос в отношении серийных гражданских судов	Спрос в соответствии с федеральными программами или со Стратегией развития судостроительной промышленности
Местонахождение верфей	Республика Корея, Япония, Китай и другие страны при высокоразвитом серийном судостроении	Россия, США, Канада, Европейские государства и иные индустриально развитые страны, имеющие спрос в отношении судов инновационного назначения
Внешнее проектирование, – определение характеристик проектируемого судна (задача верхнего уровня)		
Более общий комплексный объект включающий проектируемое судно	Комплекс активов морского предприятия, частью которого является проектируемое судно; флот перевозчиков при определении его состава; морской транспортный грузопоток; морская промысловая экспедиция, др.	Инновационное назначение (функция) судна по федеральным программам или по Стратегии; основной функциональный элемент судна; инновационное оборудование судна, – комплекс функциональных элементов; характеристика функции
Направленность модели при определении проектных характеристик	Оптимальные характеристики судна определяются по критерию в направлении «от общего к частному» при соблюдении ограничений, элементы судна определяются в зависимости от характеристик	Предварительно разрабатывается элемент, соответствующий инновационной функции, элементы и характеристики судна определяются в последовательности «от частного к общему» в зависимости от заданной функции
Заказчик при проектировании судна (инвестор)	Инвестор в отношении серийных судов, представленных «линейкой» вариантов является теоретическим понятием, представлен характеристиками спроса	Заказчик – конкретное лицо, заинтересованное в осуществлении федеральных программ или Стратегии развития судостроительной промышленности
Ограничения (главные ограничения) функциональные или числовые, данные для оптимизации	Финансовое ограничение инвестора, в частности, денежная сумма по оценке стоимости комплекса его активов, служащее гарантией экономической ликвидности при инвестировании в постройку серийного судна в соответствии с рыночным спросом	Характеристика функции (*) по назначению судна, соответствующая федеральным программам или Стратегии развития судостроения, например, показатели ледовых качеств, менее актуально финансовое ограничение в форме наибольших инвестиций (предельно доступных затрат на постройку судна и ввод в эксплуатацию)
(*) обслуживаемый морской грузопоток сжиженного природного газа и другие грузопотоки в замерзающих морях, в частности, спрос на проведение шельфовых работ в замерзающих морях; переработка природного газа (сжижение); выработка электроэнергии в этих акваториях; обслуживаемые грузопотоки укрупненных унифицированных грузов, накатных грузов и др.; иные функции, характеризующие спросом, включая обучение морским специальностям, и другие работы в замерзающих морях с использованием бюджетного финансирования		
Критерий оптимальности (целевая функция)	Критерии эффективности по минимизируемым затратам или по максимизируемой прибыли; использование удельных показателей или оценок критериев по относительной величине	Минимизируемый показатель затрат, оцениваемый, как на основе первоначальных инвестиций, так и на основе приведенных затрат, учитывающих первоначальные инвестиции и текущую стоимость потока эксплуатационных затрат, а также, критерии в форме экономии убытков, включая оценки рентабельности и окупаемости, оцениваемые на основе экономии убытков
Определяемые проектные характеристики судна	Проектными характеристиками (переменными величинами при проектной оптимизации судна) являются не вступающие в системное противоречие характеристики из числа следующих: дедвейт или грузоподъемность, грузовместимость, регистровая вместимость, мощность силовой установки, др.	
Внутреннее проектирование, – определение элементов проектируемого судна (задача нижнего уровня)		
Подсистемы судна	Отдельные качества, относимые к судну в комплексе: плавучесть, остойчивость, непотопляемость, ходкость, управляемость и маневренность, долговечность, надежность и др.: механизмы судна, устройства, судовые системы, силовое энергетическое оборудование, электрооборудование, конструктивные элементы механизмов, устройств	
Проектные элементы	Размерения судна и их соотношения, характеристики конструктивных элементов судна, механизмов, устройств, систем, электрооборудования. При определении проектных характеристик судна элементы могут определяться на основе данных аналогов или по данным номенклатуры стандартного оборудования	

Учитывается, таким образом, что элементы судна predeterminedены, что позволяет сосредоточиться на определении оптимизируемых характеристик, считая элементы судна в форме пропорциональных отношений неизменными при оп-

тимизации характеристик многоцелевого судна ледового плавания.

На последующих этапах при оптимизации подсистем судна предметом является определение элементов.

Литература

1. Ашик В.В. Проектирование судов: Учебник. – 2-е изд. перераб. и доп. – Л.: Судостроение, 1985.- 320 с., ил.
2. Бронников А.В. Проектирование судов: Учебник. – 2-е изд. перераб. и доп. – Л.: Судостроение, 1991.- 320 с., ил., (ISBN 5-7355-0191-7)
3. Войлошников М.В. Модели оценки судов, активов морских предприятий и ресурсов океана : Учеб. пособие / М.В. Войлошников. – М.: Общероссийская общественная организация «Российское общество оценщиков», 2010. – 361 с.: ил.– (Энциклопедия оценки, ISBN 978-5-93027-002-0)
4. Гайкович А.И. Основы теории проектирования сложных технических систем. – СПб.: НИЦ “МОРИНТЕХ”, 2001. – 432 с., (ISBN 5-93887-005-4)
5. Пашин В.М. Оптимизация судов. – Л.: Судостроение, 1983 .
6. D.A. Taylor, Alan S.T. Tang, Shung-tse Alan Merchant ship naval architecture – Institute of Marine Engineers, 2006, 216 p., (ISBN 1902536568, 9781902536569)
7. David G.M. Watson Practical Ship Design. Elsevier Ocean Engineering Series – Gulf Professional Publishing, 2002, 558 p. (ISBN 0080440541, 9780080440545)
8. E.C. Tupper Introduction to naval architecture. Marine engineering series. 4 edition – Butterworth–Heinemann, 2004, 446 p., (ISBN 0750665548, 9780750665544)
9. Herbert Schneekluth, Volker Bertram Ship design for efficiency and economy. 2nd edition. Referex Engineering – Butterworth–Heinemann, 1998, 220 p. (ISBN 0750641339, 9780750641333)
10. Thomas Charles Gillmer, Bruce Johnson Introduction to naval architecture – Naval Institute Press, 1982, 324 p. (ISBN 0870213180, 9780870213182)

References

1. Ashik V.V. Proektirovanie sudov: Uchebnik. – 2-e izd. pererab. i dop. – L.: Sudostroenie, 1985.- 320 s., il.
2. Bronnikov A.V. Proektirovanie sudov: Uchebnik. – 2-e izd. pererab. i dop. – L.: Sudostroenie, 1991.- 320 s., il., (ISBN 5-7355-0191-7)
3. Vojloshnikov M.V. Modeli ocenki sudov, aktivov morskikh predpriyatij i resursov okeana : Ucheb. posobie / M.V. Vojloshnikov. – M.: Obshcherossiyskaya obshchestvennaya organizaciya «Ros-sijskoe obshchestvo ocenshchikov», 2010. – 361 s.: il.– (Ehnciklopediya ocenki, ISBN 978-5-93027-002-0)
4. Gajkovich A.I. Osnovy terii proekti-rovaniya slozhnyh tekhnicheskikh sistem. – SPb.: NIC “MORINTEKH”, 2001. – 432 s., (ISBN 5-93887-005-4)
5. Pashin V.M. Optimizaciya sudov. – L.: Sudostroenie, 1983 .
6. D.A. Taylor, Alan S.T. Tang, Shung-tse Alan Merchant ship naval architecture – Institute of Marine Engineers, 2006, 216 p., (ISBN 1902536568, 9781902536569)
7. David G.M. Watson Practical Ship Design. Elsevier Ocean Engineering Series – Gulf Professional Publishing, 2002, 558 p. (ISBN 0080440541, 9780080440545)
8. E.C. Tupper Introduction to naval architecture. Marine engineering series. 4 edition – Butterworth–Heinemann, 2004, 446 p., (ISBN 0750665548, 9780750665544)
9. Herbert Schneekluth, Volker Bertram Ship design for efficiency and economy. 2nd edition. Referex Engineering – Butterworth–Heinemann, 1998, 220 p. (ISBN 0750641339, 9780750641333)
10. Thomas Charles Gillmer, Bruce Johnson Introduction to naval architecture – Naval Institute Press, 1982, 324 p. (ISBN 0870213180, 9780870213182)

УДК 629.12.001.24:681.32

КЛАССИФИКАЦИЯ И МОНИТОРИНГ НАДЕЖНОСТИ ЛЕДОВОГО ПОЯСА МОРСКИХ ОБЪЕКТОВ

Кулеш Виктор Анатольевич

доктор технических наук, профессор
профессор Дальневосточного федерального университета
690950, Владивосток, ул. Суханова, 8
тел. 8-9089-686-038; e-mail: vkulesh@mail.ru

Огай Сергей Алексеевич

кандидат технических наук, доцент
ректор
Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского
690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, д.50 – а
тел.: (423) 241–49–68; e-mail: ogay@msun.ru

Войлошников Михаил Владиленович

доктор технических наук, профессор
главный научный сотрудник
Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского
690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, д.50 – а
тел.: 8-914-705-6029; e-mail: michael.vladlen@gmail.com

Аннотация

Проблема мониторинга изменения технического состояния и надёжности морских объектов в условиях взаимодействия со льдом является актуальной. Исследования в этой области ограничены. Существующие стандарты надёжности косвенно отражают правила классификационных обществ. Но системы национальных ледовых классификаций существенно отличаются. Их унификация встречает трудности. Это препятствует объективному сравнению ледовых качеств объектов, спроектированных и построенных в разных странах. В данной работе предпринята попытка решения такой задачи в отношении ледового пояса морских объектов на примере российских ледовых категорий. В основу положены нормативные требования Российского морского регистра на момент постройки. Возможные для конкретных объектов проектные запасы не учитывались. Рассмотрено два сценария отказа – по условиям износа и по остаточным деформациям. Допускаемые нормы износов и деформаций приняты в рамках российской практики. Исследования показали, что уровни надёжности объектов разных ледовых категорий и размеров могут значительно отличаться даже в рамках единой методологии и национальной классификации. Результаты работы могут использоваться для сравнения конкретных объектов при условии дополнительного учета проектных запасов. Методика исследования может быть распространена на другие национальные классификации, а также на унифицированные требования международной классификации полярных классов

Ключевые слова: судно ледового плавания, корпус судна, бортовая обшивка, ледовый пояс, деформация обшивки

CLASSIFICATION AND RELIABILITY MONITORING OF THE ICE STRAKE OF OFFSHORE MARINE STRUCTURES

Kulesh Victor Anatolievich

Professor, Dr. Sci. Tech.
Professor of Far Eastern Federal University
8, Sukhanova st., 690950, Vladivostok, Russia
tel.: 8-9089-686-038; e-mail: vkulesh@mail.ru

Ogai Sergey Alexeevich

Associate professor, Cand. Sci. Tech.
Rector
Maritime state university named Admiral Nevelskoi

50 – а, Verkhneportovaya st., 690059, Vladivostok, Russia
tel.: (423) 241–49–68; e-mail: ogay@msun.ru

Voyloshnikov Michael Vladilenovich

Professor, Dr. Sci. Tech.
chief research scientist
Maritime state university named Admiral Nevelskoi
50 – а, Verkhneportovaya st., 690059, Vladivostok, Russia
tel.: 8-914-705-6029; e-mail: michael.vladlen@gmail.com

Abstract

The problem of monitoring of changing of technical condition and reliability of of marine facilities in the conditions of interaction with the ice is up to date. Studies in this area are limited. Existing standards of reliability indirectly reflect the rules of classification societies. But the systems of national ice classifications differ significantly. Their unification encounters difficulties. This impedes an objective comparison of ice performance of objects, designed and built in different countries. In this paper we attempt to solve this problem in relation to the ice strike of marine objects for the example of classification of Russian ice categories. It is based on the regulatory requirements of the Russian Maritime Register at the time of construction. Possible for specific design objects reserves are not taken into account. Two scenarios of failure are considered - under the terms of wear and permanent deformation. Allowable wear rate and strain are taken under Russian practice. Studies have shown that the levels of reliability of objects of different sizes and categories of ice can vary greatly, even within single methodology and the national classification. The results can be used to compare specific sites provided additional reserves of project taking into account. Methods of study can be extended to the other national classifications, as well as uniform requirements of the international classification of polar classes.

Key words: ship for icy sea, hull of ship, side shell, ice strike, shell deformation

1. Общие сведения о классификациях

Российская система ледовой классификации является одной из самых прогрессивных и признанных в мире [1, 2, 3]. Это результат обобщения более чем 100-летнего опыта эксплуатации судов в арктических и субарктических морях.

По разным причинам доля объектов морской иностранной техники в условиях российских морей и шельфа постоянно возрастает. Это создает некоторые проблемы, связанные с надёжностью и экологической безопасностью. На рис.1 показаны деформационные повреждения ледового пояса небольшого иностранного судна, имеющего ледовые усиления как внутренние, так и наружные. Повреждения получены в условиях Охотского моря.

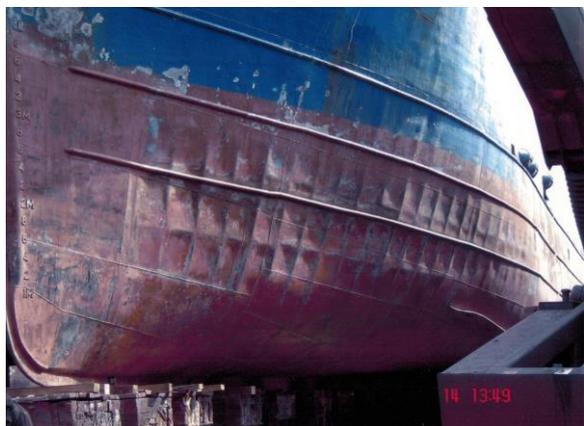


Рис. 1. Характерные деформационные повреждения обшивки ледового пояса судна

Для мобильных (самоходных) объектов проблема надежности может решаться путем эксплуатационных ограничений [7]. Более острой эта проблема является для стационарных объектов. На рис.2 показаны разрушения в районе ледового пояса основания морской буровой платформы. Устранение таких повреждений в условиях открытого моря связано с рисками и огромными затратами.



Рис. 2. Тяжёлые разрушения в районе ледового пояса морской буровой платформы

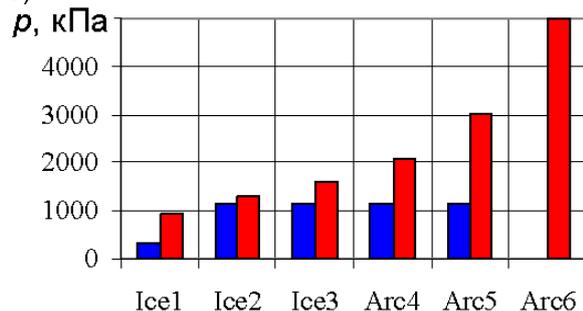
Системы ледовых классификаций активных объектов используют ледовые категории и в значительной мере имеют завершённый вид в отличие от пассивных объектов.

В таблице для примера представлены наиболее полные по количеству российские ле-

довые категории. Ниже даны условно соответствующие ледовые категории Германского Ллойда (Germanischer Lloyd - GL) и Международной ассоциации классификационных обществ (International Association of Classification Societies – IACS).

Заметим, что ледовая классификация ГЛ не вполне самостоятельная. В части низких категорий она использует Финско-Шведскую классификацию (Finnish – Swedish Ice class Rules) [4]. Для высоких ледовых категорий заимствованы уровни Канадских категорий. Классификация IACS [5] охватывает только арктические категории.

а)



б)

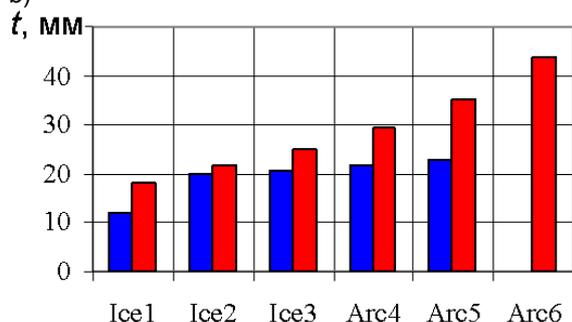


Рис. 3. Сравнения параметров для Российских и условно соответствующих Финско-Шведских ледовых категорий: а) расчетные ледовые давления; б) толщины ледового пояса (водоизмещение 10000 тонн, шпация набора 0,6 м)

Прямое сравнение расчетных ледовых давлений для соответствующих категорий дано на рис.3а. Видно существенное отличие, которое нарастает с уровнем категории.

Любая система классификации является условной. Тем не менее, ледовые категории со-

Общество	Ледовые категории								
	RMRS	Ice1	Ice2	Ice3	Arc4	Arc5	Arc6	Arc7	Arc8
GL	E	E1	E2	E3	E4	Arc1	Arc2	Arc3	Arc4
IACS	--	--	--	PC6	PC5	PC4	PC3	PC2	PC1

Представление о величинах расчетных давлений по формуле (1) в зависимости от ледовых категорий даёт рис.4а. Здесь и далее результаты представлены для двух случаев водоизмещений – 10.000 и 100.000 тонн.

ответствуют определенному уровню условий эксплуатации и ледовых качеств объектов. Правила РМРС дополнительно предполагают, что конкретизация условий безопасной эксплуатации во льдах в зависимости от категории, особенности конструкции, ледовой обстановки и ледокольного обеспечения должна отражаться в ледовых паспортах или аналогичных документах.

Регламентируемые правилами районы специальных усилений связаны с разными сценариями и условиями взаимодействия корпуса со льдом.

Для носового района характерно ударное разрушение льда при наибольших давлениях на корпус. Для среднего района очевидна необходимость учета сжатия корпуса в ледовом плену. Для кормового района важен учет маневров и режим заднего хода. В основном требования в разных районах корпуса связывают в рамках одной ледовой категории. Поэтому ниже анализ сведен к носовому району.

2. Параметры нагрузок и скорости износа

Правила РМРС регламентируют три параметра ледовых нагрузок:

- интенсивность ледовой нагрузки (максимальное давление);
- высоту (поперечный размер) зоны контакта;
- длину (продольный размер) зоны контакта.

Последний из указанных параметров значительно превышает размеры шпации и при поперечной системе набора практически не влияет на требования к толщине обшивки. Поэтому далее он не рассматривается. Кроме того, правила РМРС не рекомендуют продольную систему набора в районе ледового пояса.

Расчетные давления для носового района определяются по формуле

$$p_{AI} = 2500a_1v_m(\Delta/1000)^{1/6}, \quad \text{кПа}, \quad (1)$$

где a_1 - коэффициент ледовой категории от 0,36 до 7,9; v_m - максимальное значение коэффициента формы; Δ - водоизмещение.

Высота распределения ледовой нагрузки зависит от коэффициента ледовой категории C_1 в диапазоне от 0,38 до 0,64, водоизмещения в форме k_Δ и обводов

$$b_A = C_1 k_\Delta u_m, \quad (2)$$

где $k_\Delta = (\Delta/1000)^{1/3} \leq 3,5$; u_m - максимальное значение коэффициента формы.

Эксплуатация во льдах связана с повышенными скоростями износа. Их нормирование [3] отражено на рис.5 и имеет недостатки. Первый – нет влияния водоизмещения, второй – неизменный уровень для 4-х высших категорий, кроме ледоколов.

Более адекватную картину обеспечивает использование результатов исследований [6], где показана связь скоростей износа и ледовых давлений. Эти зависимости также отражены на рис.5.

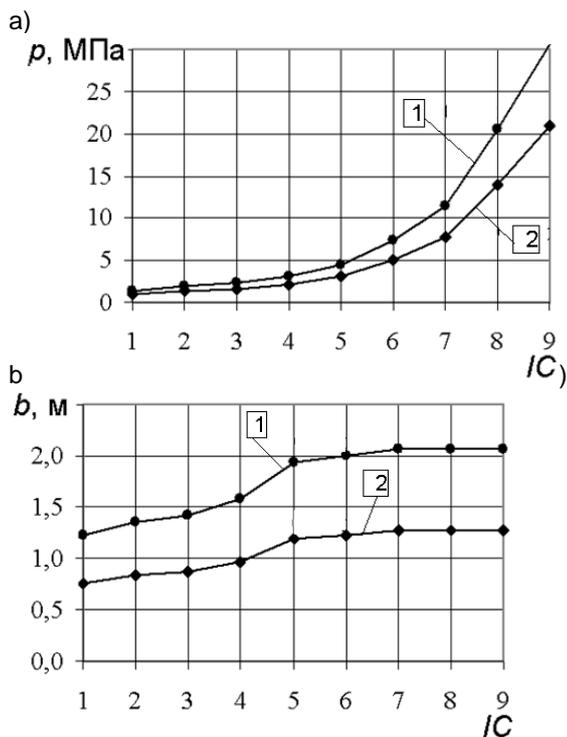


Рис. 4. Характеристики ледовых нагрузок для значений водоизмещения судна: 1 – 100000 т; 2 – 10000 т в зависимости от ледовой категории судна IC :

- а) максимальные давления;
- б) поперечные размеры зоны контакта

Очевидно, что разные сценарии износа будут оказывать большое влияние на оценку надежности, и это учтено в дальнейшем. Ледоколы далее не рассматриваются.

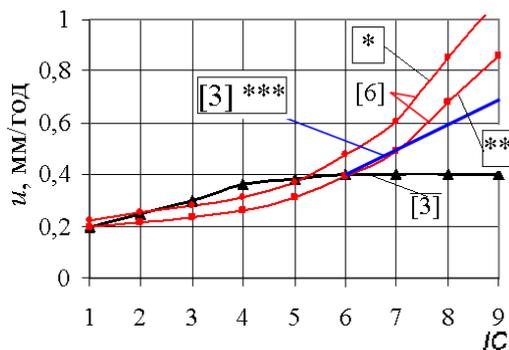


Рис.5. Интенсивность износа корпуса по нормативу [3] и на основе применения исследований [6] для значений водоизмещения судна: * – 100000 т; ** – 10000 т в зависимости от ледовой категории судна IC; [3] *** – нормативные значения интенсивности износа для ледокола

3. Нормативные толщины ледового пояса

Нормативные значения толщин ледового пояса определялись по формуле Правил РМРС при следующих условиях:

- интенсивность расчетных давлений согласно рис.4а;
- поперечные размеры зон контакта согласно рис.4б;
- скорости износа нормативные [3] согласно рис.5;
- нормативные сроки эксплуатации 24 года;
- размер меньшей стороны пластин 400 мм (система набора поперечная);
- напряжения текучести стали 300 МПа.

Результаты расчётов представлены на рис.6. В целом они адекватно отражают сложившийся опыт проектирования и постройки судов. Исключение составляют две высшие ледовые категории. Сведения о постройке таких судов, а также об опыте эксплуатации отсутствуют.

Полученные нормативные (требуемые РМРС) толщины позволяют выполнить мониторинг изменения технического состояния при заданных сценариях износа.

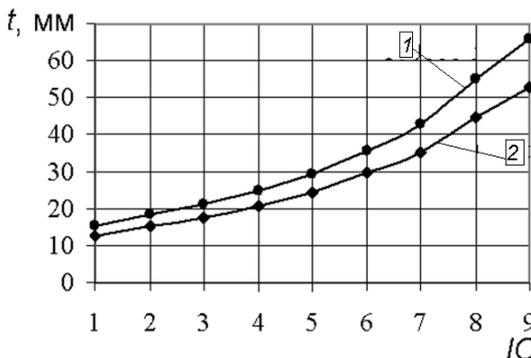


Рис. 6. Требуемые нормативные толщины обшивки ледового пояса для значений водоизмещения судна: 1 – 100000 т; 2 – 10000 т в зависимости от ледовой категории судна IC

4. Мониторинг технического состояния

Мониторинг изменения технического состояния выполнен по методике [2].

В качестве индикаторов изменения технического состояния приняты прогрессирующие во времени дефекты:

- величина коррозионного износа листов обшивки;
- величина остаточных прогибов пластин обшивки (гофрировка, см.рис.1).

Указанные индикаторы являются основными в практике дефектации корпусов и назначения мест ремонта. На рис.7 представлены результаты расчетов роста износов во времени при сценарии, основанном на нормативных скоростях износа. Недостатки нормирования скоростей износа в части высоких ледовых категорий были отмечены выше.

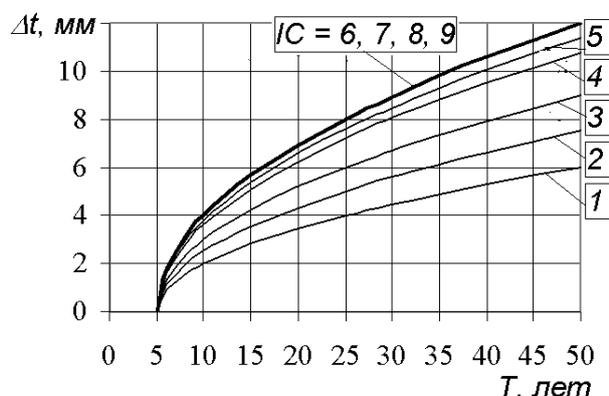


Рис. 7. Прогноз [3] нормативной интенсивности износа Δt в зависимости от ледовой категории судна $IC=1, 2, 3 \dots 9$ и от возраста судна T

На рис.8 представлены результаты расчетов величин остаточных прогибов при сценарии, соответствующем нормативным [3] скоростям износа. Как видно, интенсивный рост прогибов для всех ледовых категорий начинается практически в одном возрасте близком к нормативному сроку - 24 года. Это признак того, что методика [2] принципиально согласована и удовлетворительно отражает методологические основы Правил РМРС.

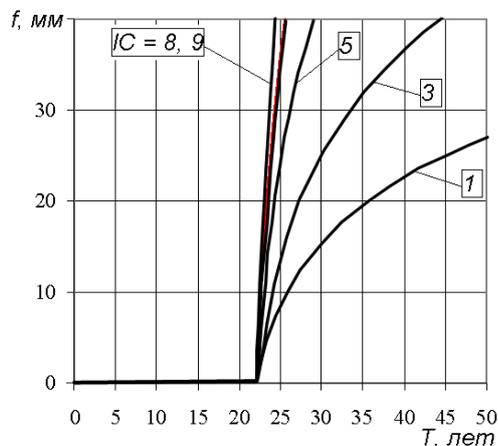


Рис. 8. Прогноз [3] остаточных прогибов f в зависимости от ледовой категории судна IC и возраста судна T (для варианта водоизмещения 10000 тонн)

Однако, при сценарии износа отличным от нормативного картина резко меняется, рис.9. В данном случае расчеты представлены на основе скоростей износа непосредственно связанных с ледовыми давлениями по работе [6].

Как видно, интенсивный рост прогибов для разных ледовых категорий может начинаться в разном возрасте от 8 до 33 лет.

5. Критерии отказов и долговечность

При оценке надёжности важно определить критерии отказов для параметров прогрессирующих дефектов. На основе таких критериев можно получить сравнительные оценки долговечности объектов. Очевидно, что физические отказы с нарушением сплошности - сквозные проржавления, трещины и разрывы не будут показательными. В условиях отсутствия грубых ошибок проектирования, классификации и нормальной эксплуатации объектов более приемлемы нормативные отказы.

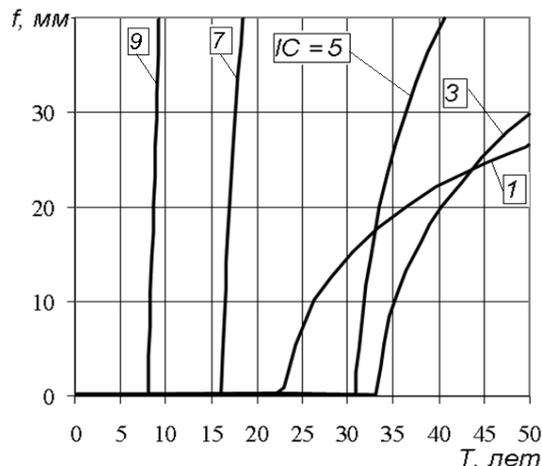


Рис. 9. Прогноз остаточных прогибов f в зависимости от ледовой категории судна IC и возраста судна T с учетом [6] результатов оценки интенсивности износа (для варианта водоизмещения 10000 тонн)

Нормативные отказы регламентируются классификационными обществами и определяют требования о ремонте или замене конструкций с дефектами, превысившими установленный уровень. Унифицированных международных требований не существует. Поэтому они имеют национальный характер и могут отличаться, как и требования к проектным параметрам. В качестве критериев отказов приняты:

- остаточные толщины меньше 75% от требования на момент постройки;
- остаточные прогибы больше 5% от ширины пластин.

Такие значения в принципе соответствуют российской практике. При ширине пластин об-

шивки в 400 мм ремонт потребуется при остаточных прогибах более 20 мм.

Следует отметить, что задача сравнения надёжности и ледовых качеств объектов естественно связана с различиями национальных норм на проектирование. Однако такое сравнение не будет корректным, если к сравниваемым объектам применить разные национальные критерии нормативных отказов. Поэтому с первым критерием при сравнениях реальных объектов могут возникнуть проблемы, если его связывать с разными национальными требованиями.

Процедура определения срока эксплуатации к достижению нормативного отказа – долговечности по условию ремонта - очевидна при наличии графиков прогноза типа представленных на рис.7 и рис.8.

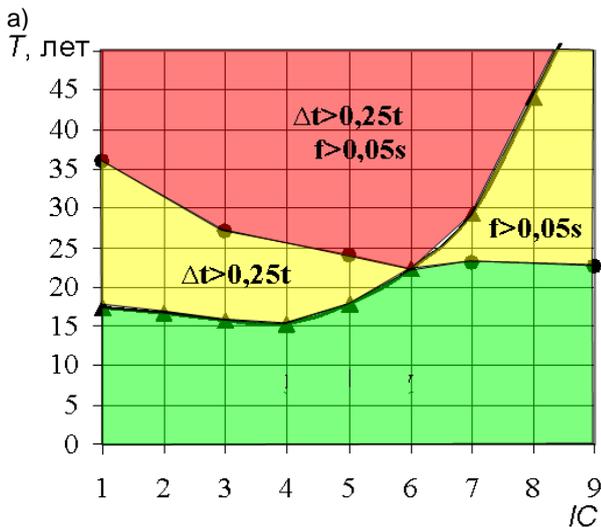
6. Анализ результатов

Сводные результаты расчетов в виде диаграмм долговечности представлены на рис.10 для водоизмещения 10000 т и на рис.11 для водоизмещения 100000 т.

Границы зон соответствуют принятым критериям отказов.

Зоны надёжности (периоды эксплуатации без отказов) существенно отличаются для разных ледовых категорий - от 8 до 25 лет. В рамках единой национальной классификации и методологии такое положение не является удачным.

Сценарии износов оказывают существенное влияние на долговечность. При скоростях износа [3] оценки долговечности по условию износа с увеличением категории и размеров становятся чрезмерно оптимистичными (более 50 лет).



b)

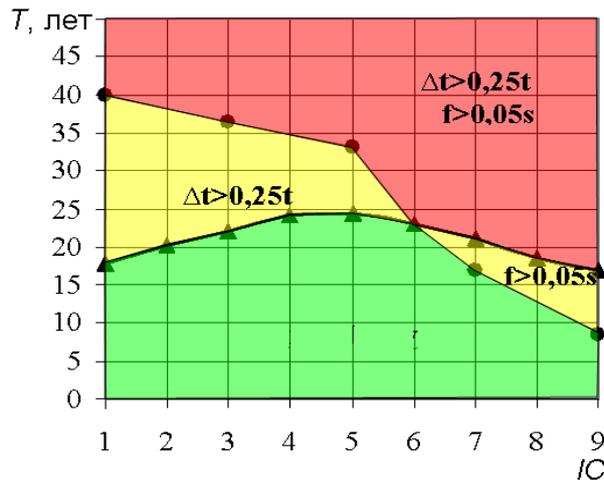
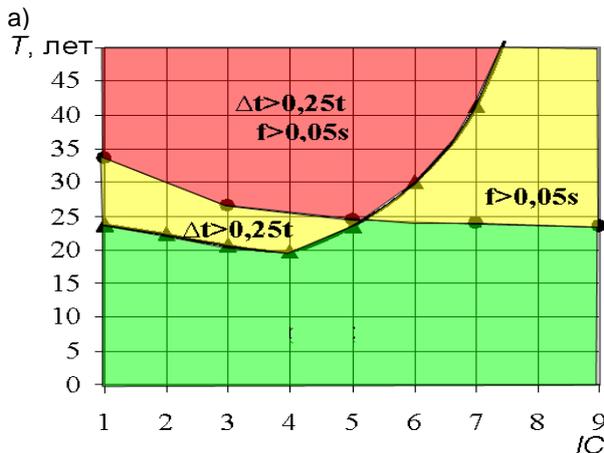


Рис. 10. Диаграммы долговечности до нормативных отказов корпусов судов водоизмещением 10000 т различных ледовых категорий IC с учетом моделей износа согласно результатам исследований

- [6] (b), условные обозначения:
- - износ и прогиб безопасны;
- - опасный износ $\Delta t \geq 0,25t$ или прогиб $f \geq 0,05s$;
- - опасный износ и прогиб

В области категорий ниже 5 уровня долговечность определяется критерием износа. Для категорий выше 6 уровня долговечность определяется критерием прогибов. Формально сценарий одновременного отказа по двум критериям можно считать оптимальным. Но отказ по критерию прогибов представляется более серьезным по последствиям.

Приведенные результаты показывают некоторые недостатки нормативных требований. Но они могут быть использованы для совершенствования и развития. Пути развития возможны как в части требований на проектирование, так и в области нормирования дефектов, предупреждения аварийных ситуаций



b)

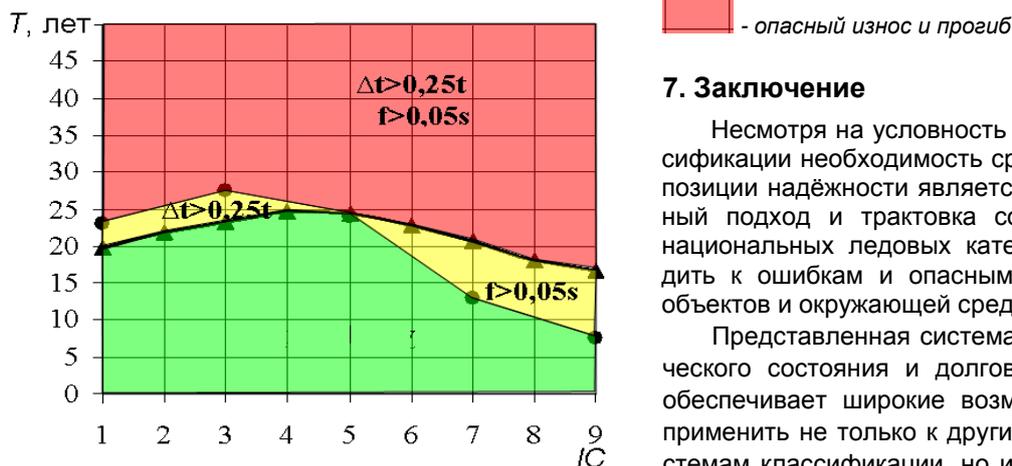


Рис. 11. Диаграммы долговечности до нормативных отказов корпусов судов водоизмещением 100000 т различных ледовых категорий IC с учетом моделей износа согласно результатам исследований

1 [6] (b), условные обозначения:

- износ и прогиб безопасны;

- опасный износ $\Delta t \geq 0,25t$ или прогиб $f \geq 0,05s$;

- опасный износ и прогиб

7. Заключение

Несмотря на условность любых систем классификации необходимость сравнений объектов с позиции надёжности является важной. Формальный подход и трактовка соответствий разных национальных ледовых категорий могут приводить к ошибкам и опасным последствиям для объектов и окружающей среды.

Представленная система мониторинга технического состояния и долговечности до отказов обеспечивает широкие возможности. Её можно применить не только к другим национальным системам классификации, но и к унифицированной международной. Однако, наиболее эффективной она может быть в отношении реальных объектов с учетом уровня проекта и заложенных запасов.

Литература

1. Апполонов Е.М., Нестеров А.Б., Тимофеев О.Я. Обеспечение ледовой прочности и безопасной эксплуатации судов в российских арктических и замерзающих морях на основе комплексной системы формирования принципиальных инженерных решений // Труды Центрального научно-исследовательского института имени академика А.Н. Крылова. выпуск 39(323). Санкт-Петербург, 2008, -с.69-89.
2. Kulesh V., Ogay S., Voyloshnikov M. Monitoring of the processes of accumulation of defects of steel structures over time of ships operations // Proceedings of the 24 International Offshore and Polar Engineering. Vol. 4. Busan. Korea, 2014. - P. 529-536.
3. Rules for the Classification and Construction of Sea-Going Ships. Russian Maritime Register of Shipping. St. Petersburg, 2014.
4. Finnish - Swedish Ice Class Rules. Finnish Maritime Administration. 2002.
5. Unified Requirements for Polar Ships. International Association of Classification Societies. 2006.
6. Kulesh V., Vinogradova N. Standardization of Corrosion Wear of Shell Plating for Ice Ships Operations // Proceedings of the International Northern Sea Route Symposium. Tokyo. Japan. 1995. - P. 425-430.
7. Kulesh V., Ogay S., Voyloshnikov M. Safety of Ships Navigation in Ice and Operational Effectiveness // Proceedings of the Twenty-third International Offshore and Polar Engineering. Vol. 1. Anchorage, Alaska, USA, 2013. - P. 1227-1234.

References

1. Appolonov E.M., Nesterov A.B., Timofeev O.YA. Obespechenie ledovoj prochnosti i bezopasnoj ehkspluatatsii sudov v rossijskih arkticheskikh i zamerzayushchih moryah na osnove kompleksnoj sistemy formirovaniya principial'nyh inzhenernyh reshenij Trudy Central'nogo nauchno-issledovatel'skogo instituta imeni akademika A.N. Krylova. vypusk 39(323). Sankt-Peterburg, 2008, -s.69-89.
2. Kulesh V., Ogay S., Voyloshnikov M. Monitoring of the processes of accumulation of defects of steel structures over time of ships operations // Proceedings of the 24 International Offshore and Polar Engineering. Vol. 4. Busan. Korea, 2014. - P. 529-536.
3. Rules for the Classification and Construction of Sea-Going Ships. Russian Maritime Register of Shipping. St. Petersburg, 2014.
4. Finnish - Swedish Ice Class Rules. Finnish Maritime Administration. 2002.
5. Unified Requirements for Polar Ships. International Association of Classification Societies. 2006.

-
6. Kulesh V., Vinogradova N. Standardization of Corrosion Wear of Shell Plating for Ice Ships Operations // Proceedings of the International Northern Sea Route Symposium. Tokyo. Japan. 1995. - P. 425-430.
 7. Kulesh V., Ogay S., Voyloshnikov M. Safety of Ships Navigation in Ice and Operational Effectiveness // Proceedings of the Twenty-third International Offshore and Polar Engineering. Vol. 1. Anchorage, Alaska, USA, 2013. - P. 1227-1234.

УДК 629.12.001.24:681.32

ОСОБЕННОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК НА РАННИХ СТАДИЯХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МНОГОЦЕЛЕВОГО СУДНА ЛЕДОВОГО ПЛАВАНИЯ

Огай Сергей Алексеевич

кандидат технических наук, доцент
ректор

Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского
690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, д.50 – а
тел.: (423) 241–49–68; e-mail: ogay@msun.ru

Аннотация

Особенности определения характеристик на ранних стадиях проектирования многоцелевого судна ледового плавания свойственны судам инновационного назначения, не охваченным серийным производством. Оптимизация проектных характеристик многоцелевого судна ледового плавания выполняется на основе использования математических моделей и автоматизации вариантных расчетов. Для сокращения размерности при оптимизации проектных характеристик многоцелевого судна ледового плавания могут использоваться уравнения баланса, устанавливающие соответствия между характеристиками судна. Уравнение баланса водоизмещения характеризует не отдельное качество, например, то или иное физическое свойство судна из числа его мореходных качеств, обычно исследуемых для определения элементов судна, а зависимость между водоизмещением и его суммой имеет вероятностный характер.

Ключевые слова: судно ледового плавания, многоцелевое судно, характеристики судна, элементы судна, уравнение баланса, системный подход

THE FEATURES OF DETERMINATION OF THE CHARACTERISTICS AND PARTICULARS AT THE INITIAL STEP OF DESIGN OF MULTIPURPOSE SHIP FOR NAVIGATION IN ICY SEA

Ogai Sergey Alexeevich

Associate professor, Cand. Sci. Tech.
Rector

Maritime state university named Admiral Nevelskoi
50 – a, Verkhneportovaya st., 690059, Vladivostok, Russia
tel.: (423) 241–49–68; e-mail: ogay@msun.ru

Abstract

The features of determination of the characteristics and particulars at the initial step of designing of multi-purpose ship for navigation in icy sea characterize the innovative vessels not mastered by batch production. The optimization of project characteristics of multipurpose ship for navigation in icy sea is being done by the use of mathematical models and automation of variant calculations. In order to reduce the dimension in the optimization of the design characteristics of multipurpose ship for navigation in icy sea can be used the balance equation, matches the characteristics of the vessel. The displacement balance equation describes not the separate property, for example, one or another physical property of ship among its seaworthiness properties, usually studied to determine the particulars of ship, and relation between displacement and the sum of its parts has a probabilistic nature.

Key words: multipurpose ship; ice-navigating ship; displacement equation; project optimization; systemic approach; constraints; optimization dimension; stability of project characteristic; successive approximations

1. Особенности определения проектных характеристик многоцелевого судна ледового плавания

Процесс предварительного проектирования многоцелевого судна ледового плавания имеет особенности, характерные для судов инноваци-

онного назначения, не охваченных серийным производством.

Упомянутые особенности связаны с тем, что методологически затруднительно определить проектные характеристики и элементы, используя только данные прототипов. Только данных прото-

типов недостаточно для проектирования судов, планируемых в постройку единично или малыми сериями. То есть, для определения характеристик и элементов при проектировании судов этих типов требуется применение современных методов проектной оптимизации, в меньшей степени зависящих от необходимости использования данных прототипов. Оптимизация проектных характеристик многоцелевого судна ледового плавания выполняется на основе использования математических моделей и автоматизации вариантных расчетов. Поэтому предметом служит создание принципов построения указанных моделей для проектной оптимизации.

Структура математической модели для проектной оптимизации судна, в общем, является последовательностью зависимостей экономического критерия от исходных данных, определяемых на основе системного подхода как функциональные ограничения, от варьируемых в процессе итераций переменных – искомым проектным характеристикам судна, а также от условно постоянных значений параметров, которые при проектной оптимизации являются элементами судна, – характеристиками подсистем.

Оптимизация проектных характеристик методологически служит основой проектирования судна, а дополнительным преимуществом автоматизации проектирования являются возможности совмещения с моделями автоматизации судостроительного производства, а также, возможности автоматического архивирования, накопления результатов и их использования в других процессах при создании судна.

Функции планируемых к постройке и строящихся судов, в том числе, многоцелевых судов ледового плавания, имеют инновационный характер, что оказывает влияние на последовательность проектирования, принимая во внимание планируемое разнообразие функций создаваемых судов по Стратегии и по федеральным программам. Требуется пояснить.

Серийное судостроение в противоположность постройке судов по федеральным программам является альтернативой, направленной на удовлетворение рыночного спроса, что характерно для рыночной либеральной экономики. Например, постройка судов на верфях в Республике Корея, Японии и в Китае направлена на удовлетворение рыночного спроса, который служит основным фактором серийного судостроения.

То есть, для серийного судостроения рыночный спрос выступает более важным фактором, чем федеральные судостроительные программы, а суда, строящиеся и предлагаемые инвесторам выбираются среди номенклатуры серийно освоенных вариантов. При этом укомплектование серийно строящихся судов также производится стандартным оборудованием, которое выбирается в соответствии с характеристиками и функцией судна, также, используются типовые материалы и методы постройки.

В соответствии с системным подходом проектирование судна, планируемого в серийную постройку с ориентацией на рыночный спрос, обычно выполняется в направлении «от общего к частному». В этой последовательности определяются ограничения, прежде всего, финансовое ограничение, соответствующее стоимостной оценке комплекса активов инвестора. Затем по критерию эффективности путем перебора вариантов в рамках ограничений определяются оптимальные характеристики судна.

Элементы проектируемого судна, прежде всего, размерения и их соотношения, соответствующие оптимальным характеристикам, в меньшей степени, чем характеристики, влияют на показатели эффективности, и, соответственно, в меньшей степени зависят от ограничений, используемых при определении оптимальных характеристик судов, планируемых в серийную постройку.

Таким образом, если в рамках «внутренней задачи» элементы проектируемого судна определяются традиционными подходами с использованием данных аналогов, то это допущение при определении элементов не влечет большой погрешности при решении «внешней задачи».

Элементы оборудования, которые составляют номенклатуру серийной продукции, для проектируемых судов могут предварительно определяться по аналогам.

Нужно отметить, что в понятиях системного подхода при определении оптимальных характеристик судна, планируемого в серийную постройку, заказчик (инвестор) характеризуется собственной экономической состоятельностью и профилем промышленной деятельности по освоению морских ресурсов. Другими словами, при создании серийного судна инвестор это не конкретное лицо, а методологическое понятие, характеризуемое двумя названными показателями: промышленным профилем и финансовой состоятельностью.

В сущности, при проектировании планируется постройка серий судов, которые покрывают «линейку» рыночного спроса, например, в смысле предложения постройки разных вариантов судов определенного назначения, соответствующих различным финансовым возможностям инвесторов.

Нужно отметить, что свойство оптимальности проектных характеристик связано с серийностью судна, поскольку устойчивые оптимальные характеристики воспроизводятся, и, таким образом, создается серия судов.

Последовательность определения проектных характеристик судна «от общего к частному» или иная последовательность соответствует принципам системного подхода, лежащим в основе проектирования судна, связанным с определением проектных ограничений, то есть исходных данных для проектирования, а также, совокупности пере-

менных – определяемых характеристик проектируемого судна, и множества элементов.

Для сокращения размерности при оптимизации проектных характеристик многоцелевого судна ледового плавания могут использоваться уравнения баланса, устанавливающие соответствия между характеристиками судна. Форма уравнений баланса меняется по мере продвижения проекта.

На ранних стадиях проектирования уравнение баланса представляет функциональную взаимосвязь между характеристиками и содержит независимое слагаемое, например, сумму независимых составляющих уравнения баланса водоизмещения. Эта сумма на ранних этапах проектирования судна обычно соответствует дедвейту, хотя для инновационных судов в состав независимых слагаемых уравнения баланса водоизмещения может входить, также, масса специального устройства разрабатываемого в соответствии с функцией судна по техническому заданию. В практических задачах независимое слагаемое в уравнении может быть представлено числом или итогом таблицы (списка) независимых составляющих уравнения баланса.

Уравнение баланса трансформируется к сумме (списку) числовых значений по мере продвижения проекта на более поздних стадиях, поскольку принимаемые конструктивные решения по каждому из охватываемых уравнением элементов означают перенос этих элементов в число независимых слагаемых уравнения баланса.

Таким образом, уравнения баланса, являвшиеся на ранних этапах проектирования функциями от независимых слагаемых, в итоге, на этапе технического проекта, представлены списками значений составляющих элементов.

В частности, уравнение баланса водоизмещения судна, которое на начальных этапах проектирования является функцией от дедвейта в сумме с другими независимыми слагаемыми нагрузками, на заключительном этапе представлено таблицей составляющих нагрузки.

2. Вероятностный характер баланса водоизмещения многоцелевого судна ледового плавания в модели оптимизации проектных характеристик

Вероятностные качества судна как комплексной системы проявляются в различных формах, в том числе, в форме уравнений баланса, используемых на разных стадиях проектирования судна, устанавливающих зависимость водоизмещения от отдельных компонентов весовой нагрузки судна, например, от дедвейта или от грузоподъемности.

Соотношение водоизмещения многоцелевого судна ледового плавания и суммарной массы независимых слагаемых нагрузки является результатом совокупного влияния на эту зависимость многих факторов – зависимых компонентов водо-

измещения. Таким образом, нет отдельных физических качеств, которые предопределяли бы соотношение между водоизмещением и суммой независимых слагаемых нагрузки. То есть, уравнение баланса водоизмещения характеризует не отдельное качество, например, то или иное физическое свойство судна из числа его мореходных качеств, обычно исследуемых для определения элементов судна, а зависимость между водоизмещением и его суммой имеет вероятностный характер.

В историческом плане можно отметить, что до интуитивного или осознанного применения системного подхода для проектирования вероятностные качества судна учитывались и использовались при проектировании. Поскольку рациональность проектных характеристик судна не выступает результатом суждения с точки зрения только строительной механики или других отдельных концепций, объединяемых в теории проектирования судна на основе системного подхода, то важным является также накопление и систематизация успешных случайных решений, допустим, определяемых по методу «проб и ошибок». При этом, вероятно, можно определить оптимальные характеристики судна путем накопления опыта и положительных результатов. Тем не менее, процесс определения проектных характеристик судна существенно более эффективен при использовании современных концепций и методов, объединяемых на основе системного подхода.

Можно считать, что конструкция судов, в общем, не менялась десятилетиями и веками в историческом прошлом. То есть, строились преимущественно сходные в целом традиционные суда, отличавшиеся деталями и элементами. Подход к определению характеристик судна на основе накопления опыта служит примером использования вероятностных качеств судна как комплексной системы, что дополняет пример использования при проектировании судна его вероятностных свойств в форме уравнения баланса водоизмещения как совокупного влияния многих факторов на соотношение водоизмещения и суммы независимых слагаемых массы. Этим не исчерпываются примеры проявления вероятностных качеств проектируемого судна, к которым также можно отнести определенные свойства критериев оптимальности проекта судна и свойства экономических показателей, обобщаемых критерием оптимальности.

Развитие комплексной автоматизации процессов постройки судна определяет уровень современного судостроения и устанавливает необходимые требования автоматизации проектирования, что связано с созданием и использованием цифровых и программных средств накопления данных и систематизации вариантов проектов, например, в форме файлов, программ (исполняемых файлов), сетей, баз данных (то есть архивов с автоматизацией поиска и обработки). Это

может открывать новые технические возможности использования вероятностных свойств при проектировании судна как комплексной системы.

То есть по мере автоматизации проектирования судна и более широкого использования вариантных расчетов можно обратить внимание на метод «проб и ошибок», соответствующий использованию при проектировании вероятностных качеств судна, причем, на основе современных цифровых технологий.

Зависимости между характеристиками многоцелевых судов ледового плавания обобщены формулами и представлены на графиках. Эти формулы и кривые, а также зависимости между элементами судов и между элементами и характеристиками строятся на основе обобщения данных современных судов и их проектов.

Полученные зависимости характеристик и элементов отражают их соотношения для эффективного, надежного и мореходного судна, безопасного в эксплуатации, прочного и долговечного в той мере, в которой эти качества свойственны использованному аналогу. Причем, указанные соотношения характеристик и элементов относятся не к судну, а к его подсистемам, т.е. к отдельным качествам целостного судна. Эти соотношения можно при проектной оптимизации задавать, используя данные аналогов, что не вступает в системное противоречие с предметом оптимизации, которым является определение проектных характеристик, лучших по принятому критерию, при использовании ограничений, задаваемых как характеристики более общей системы, частью которой судно выступает при проектировании.

При оптимизации проектных характеристик многоцелевого судна ледового плавания взаимосвязь между характеристиками и элементами означает, что при выборе оптимальных значений характеристик в процессе вариантных оценок остаются неизменными данные, то есть ограничения оптимизации служащие характеристиками более общей системы, чем проектируемое судно, и элементы, а также соотношения между элементами. Либо при оптимизации и вариантных расчетах остаются неизменными соотношения между элементами и характеристиками судна, но элементы судна, другими словами, характеристики его подсистем, могут в этом случае меняться только «в привязке» к характеристикам, т.е. элементы не являются независимыми при оптимизации характеристик судна.

Среди характеристик многоцелевого судна ледового плавания, относя водоизмещение D и дедвейт DW к их числу, обычно только одна из них является независимой. Вторая из этих характеристик судна и его элементы на каждой итерации могут определяться проектным расчетом в зависимости от варьируемой независимой характеристики.

Независимых характеристик в общем случае несколько, их число обычно соответствует коли-

честву используемых уравнений баланса в составе модели оптимизации судна.

Использование полученных уравнений баланса водоизмещения многоцелевого судна ледового плавания дает возможность на ранних стадиях проектирования сократить размерность оптимизационной задачи. При проектной оптимизации независимость характеристик судна означает, что при их варьировании с целью определения оптимальных значений зависимые характеристики не варьируются, а могут изменяться только в связи с варьированием независимых характеристик.

Для построения зависимостей между переменной характеристикой многоцелевого судна ледового плавания, варьируемой при проектной оптимизации судна, и другими характеристиками и элементами может использоваться уравнение баланса водоизмещения, а также иные соотношения, определяемые, в частности, с использованием данных аналогов.

3. Уравнение баланса водоизмещения многоцелевого судна ледового плавания

Если с использованием методов оптимизации по экономическому критерию определена та или иная проектная характеристика многоцелевого судна ледового плавания, то зависимую характеристику можно определить, используя уравнение баланса водоизмещения [1, 2]

$$D = DP + DW = \sum_n P(D^{A_n}, X) + DW, \quad (1)$$

$$\text{или } D - \sum_n P(D^{A_n}, X) - DW = 0,$$

где D – полное водоизмещение судна (наименование «Водоизмещение», используемое без дополнительного определения, означает полное водоизмещение); DW – дедвейт по грузовую ватерлинию, включая массу груза, топлива, балласта, экипажа, судовых запасов и других переменных составляющих, которые при проектировании многоцелевого судна ледового плавания не зависят от водоизмещения D ; DP – водоизмещение порожнем, $DP = \sum_n P(D^{A_n}, X)$; $P(D^{A_n}, X)$ – сла-

гаемые водоизмещения порожнем, включая массу корпуса, массу оборудования, систем и устройств, двигателя и силовой установки, механизмов и оборудования машинного отделения, запас водоизмещения и другие слагаемые нагрузки масс, зависящие от водоизмещения D и от характеристик X (т.е. от множества или вектора характеристик) многоцелевого судна ледового плавания.

Используя данные современных ледоколов с дизельными и газотурбинными силовыми установками и электрической передачей на движители, а также учитывая практическое сходство значений (рис. 1) для различных форм уравнения массы в функции от водоизмещения, можно для

многоцелевого судна ледового плавания рекомендовать следующие общие формы уравнения массы, определяемые на основе обобщений данных

$$D = 0,000002 \times D^2 + 0,526 \times D + 626 + DW; \quad (2)$$

$$0,474 \times D - 0,000002 \times D^2 - 626 - DW = 0;$$

$$DP = 0,000002 \times D^2 + 0,526 \times D + 626, \tau$$

$$D = 0,584 \times D + 240 + DW; \quad (3)$$

$$0,416 \times D - 240 - DW = 0;$$

$$DP = 0,584 \times D + 240, \tau$$

$$D = D^{0,946} + DW; \quad (4)$$

$$D - D^{0,946} - DW = 0; \quad DP = D^{0,946}, \tau$$

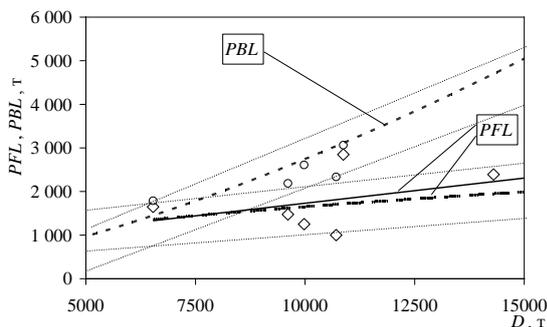


Рис. 1. Зависимости спецификационного запаса топлива PFL и массы балластной воды PBL от водоизмещения многоцелевого судна ледового плавания в грузу

Практическую пользу для использования в составе оптимизационной модели с целью сокращения размерности задачи имеют полученные соотношения между элементами многоцелевого судна ледового плавания, а также, между элементами и характеристиками.

Зависимость чистой регистровой вместимости NRT от длины L между перпендикулярами многоцелевого судна ледового плавания имеет вид

$$NRT = 0,0112 \times L^{2,71}. \quad (5)$$

Зависимость спецификационного запаса топлива PFL от водоизмещения в грузу D многоцелевого судна ледового плавания имеет вид (рис. 1)

$$PFL = 0,116 \times D + 575 \quad (6)$$

$$\text{или } PFL = 23,2 \times D^{0,463}, \tau$$

Зависимость массы водяного балласта PBL (спецификационного, рис. 1) от водоизмещения в грузу D многоцелевого судна ледового плавания имеет вид

$$PBL = 0,0027 \times D^{1,5}, \tau \quad (7)$$

Ниже приводятся зависимости между характеристиками и элементами многоцелевого судна

ледового плавания, полученные по результатам обработки данных аналогов – новых судов ледового плавания или проектов.

Зависимость водоизмещения в грузу D (рис. 2) от длины L между перпендикулярами многоцелевого судна ледового плавания

$$D = 0,768 \times L^{2,118}, \tau \quad (8)$$

Зависимость дедвейта DW (рис. 5) по грузовой ватерлинию от длины L между перпендикулярами многоцелевого судна ледового плавания

$$DW = 0,10 \times L^{2,36}, \tau \quad (9)$$

Зависимости валовой регистровой вместимости GRT и чистой регистровой вместимости NRT от длины L между перпендикулярами многоцелевого судна ледового плавания имеют вид (рис. 3)

$$GRT = 0,038 \times L^{2,71}, \quad NRT = 0,0112 \times L^{2,71} \quad (10)$$

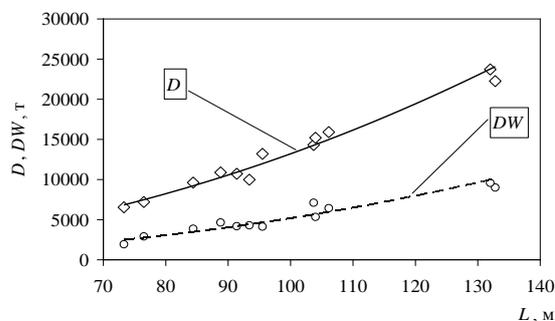


Рис. 2. Зависимости водоизмещения в грузу D и дедвейта DW от длины L многоцелевого судна ледового плавания между перпендикулярами

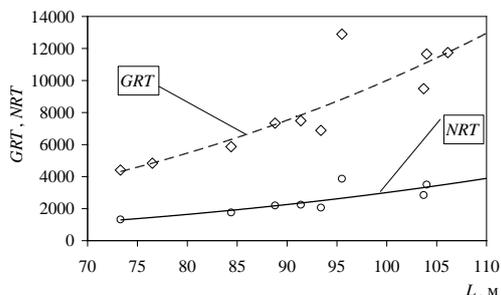


Рис. 3. Зависимости валовой регистровой вместимости GRT и чистой регистровой вместимости NRT от длины L между перпендикулярами многоцелевого судна ледового плавания

4. Совместное определение элементов с учетом иерархии характеристик судна ледового плавания

Ширина B многоцелевого судна ледового плавания (рис. 4) в зависимости от длины L между перпендикулярами

$$B = 0,185 \times L + 5,25, \text{ м} \quad (11)$$

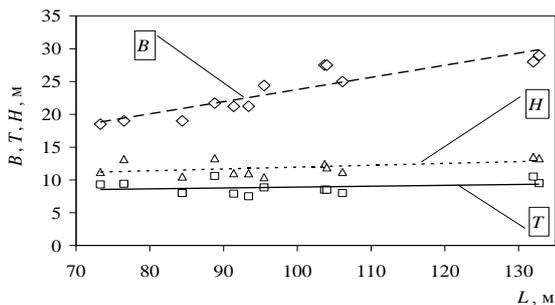


Рис. 4. Зависимости ширины B , осадки в грузу T и высоты борта H от длины L между перпендикулярами многоцелевого судна ледового плавания

Осадка T многоцелевого судна ледового плавания в зависимости от длины L между перпендикулярами

$$T = 0,0134 \times L + 7,55, \text{ м} \quad (12)$$

Высота борта H многоцелевого судна ледового плавания в зависимости от длины L между перпендикулярами

$$H = 0,0282 \times L + 9,13, \text{ м} \quad (13)$$

Отношение длины судна к ширине L/B (рис. 57) многоцелевого судна ледового плавания в зависимости от длины L между перпендикулярами

$$L/B = 0,0043 \times L + 3,72. \quad (14)$$

Отношение ширины судна к осадке B/T многоцелевого судна ледового плавания в зависимости от длины L между перпендикулярами

$$B/T = 0,0161 \times L + 1,083. \quad (15)$$

Отношение высоты борта к осадке H/T многоцелевого судна ледового плавания в зависимости от длины L между перпендикулярами

$$H/T = 0,0011 \times L + 1,235. \quad (16)$$

Зависимость коэффициента общей полноты δ многоцелевого судна ледового плавания от длины L между перпендикулярами имеет вид

$$\delta = 0,0007 \times L + 0,541. \quad (17)$$

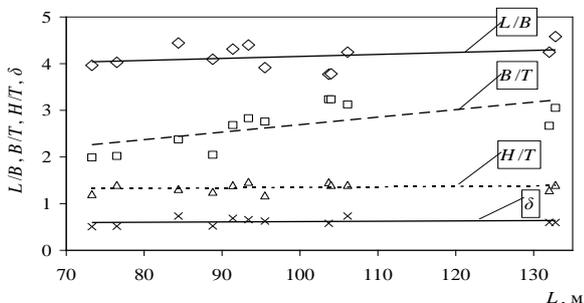


Рис. 5. Зависимости: отношения длины к ширине (L/B), ширины к осадке в грузу (B/T), высоты борта к осадке (H/T), коэффициента общей полноты δ от

длины L между перпендикулярами многоцелевого судна ледового плавания

Отношение длины между перпендикулярами многоцелевого судна ледового плавания к габаритной длине по результатам статистических обобщений составляет приблизительно 0,89.

Зависимость суммарной мощности судовых источников энергии NP (главных двигателей и вспомогательных генераторов, рис. 6) от водоизмещения в грузу D многоцелевого судна ледового плавания

$$NP = 29,0 \times D^{0,70} \quad (18)$$

или $NP = 1,21 \times D + 6420, \text{ кВт}$

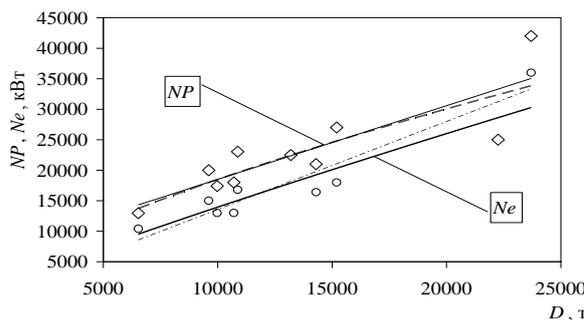


Рис. 6. Зависимости: эффективной мощности Ne и суммарной мощности NP судовых источников энергии от водоизмещения в грузу D многоцелевого судна ледового плавания

Эксплуатационная (спецификационная) скорость v_s относительно устойчива и варьируется в более узком диапазоне по сравнению с интервалам варьирования других характеристик и элементов многоцелевого судна ледового плавания, в частности, по сравнению с интервалом изменчивости водоизмещения D многоцелевого судна ледового плавания. Следует отметить, что интервал изменчивости (интервал варьирования) водоизмещения D многоцелевого судна ледового плавания существенно шире интервала варьирования эксплуатационной скорости v_s , который по анализу данных аналогов составляет от 15 до 17 узлов.

Аналогичным свойством параметрической устойчивости оставаться в узком диапазоне значений при варьировании других характеристик и элементов многоцелевого судна ледового плавания обладают пропорции этих элементов, определяемые по формулам (12 – 17).

Поскольку эксплуатационная скорость v_s и пропорции элементов многоцелевого судна ледового плавания остаются в более узких интервалах, чем характеристики судна и элементы по абсолютной величине, появляется возможность на ранних стадиях проектирования сократить формулу адмиралтейских коэффициентов для оценки эффективной мощности Ne , используя только характеристику водоизмещения D , учитывая, что скорость v_s при варьировании других

проектных характеристик остается довольно устойчивой характеристикой в узком интервале варьирования.

Зависимость эффективной (пропульсивной) мощности силовой установки многоцелевого судна ледового плавания Ne (рис. 7) от водоизмещения в грузу D имеет вид

$$Ne = 3,565 \times D^{0,90}, \text{ кВт} \quad (19)$$

Зависимость адмиралтейского коэффициента C_A от водоизмещения в грузу D многоцелевого судна ледового плавания можно представить как

$$C_A = 0,007 \times D + 23,1, ((\tau^{2/3} \times \text{узл.}^{2,5}) / \text{кВт}) \quad (20)$$

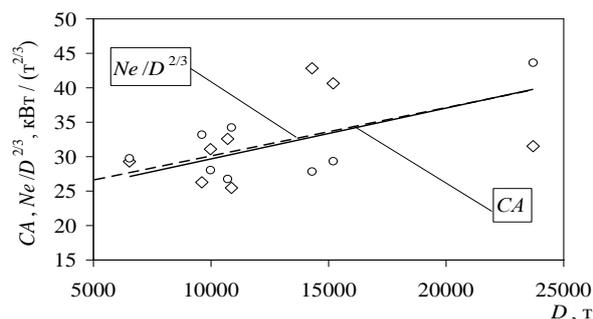


Рис. 7. Зависимости: отношения эффективной мощности Ne к водоизмещению многоцелевого судна ледового плавания в грузу D в степени $\frac{2}{3}$ и адмиралтейского коэффициента C_A от водоизмещения D

Эффективная мощность Ne двигателей многоцелевого судна ледового плавания в зависимости от водоизмещения в грузу D и от эксплуатационной скорости v_s по формуле адмиралтейских коэффициентов определяется как

$$Ne = \frac{D^{2/3} \times v_s^{2,5}}{C_A} = \frac{D^{2/3} \times v_s^{2,5}}{0,007 \times D + 23,1}, \text{ кВт} \quad (21)$$

Зависимость отношения эффективной мощности Ne к водоизмещению многоцелевого судна ледового плавания в грузу D в степени $\frac{2}{3}$ (т.е. к $D^{2/3}$) при эксплуатационной скорости 15 узлов имеет вид

$$\frac{Ne}{D^{2/3}} = 0,0007 \times D + 22,3, (\text{кВт} / \text{т}^{2/3}) \quad (22)$$

Для оценки суточного расхода топлива на ходу в зависимости от эффективной мощности Ne для оптимизационной модели может быть рекомендована экспертная формула

$$q_1 = 0,008 \times Ne^{0,95}, \text{ т/сутки} \quad (23)$$

Зависимость суммарной мощности судовых источников энергии NP (рис. 8) от суммарной эффективной (пропульсивной) мощности Ne имеет вид

$$NP = 1,09 \times Ne + 3760 \quad (24)$$

или $NP = 2,79 \times Ne^{0,923}, \text{ кВт}$

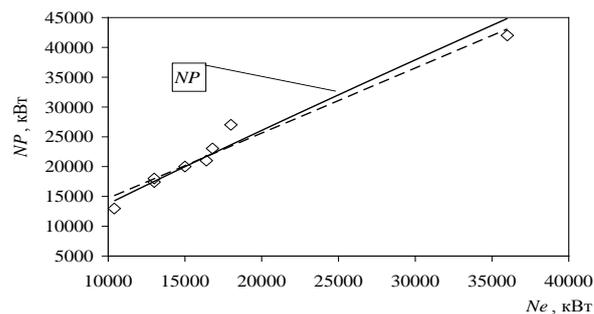


Рис. 8. Зависимость суммарной мощности NP судовых источников энергии многоцелевого судна ледового плавания от эффективной мощности Ne

В частном случае при определении проектных характеристик многоцелевого судна ледового плавания на основе методов проектной оптимизации и варьирования комбинаций характеристик с использованием алгоритма последовательных приближений предварительная оценка характеристик и элементов с применением приведенных выше зависимостей может служить начальным приближением.

5. Заключение

Особенности проектирования судов инновационного назначения, в частности, многоцелевых судов ледового плавания, связаны с тем, что методологически затруднительно определить проектные характеристики и элементы, используя только данные прототипов. Оптимизация проектных характеристик таких судов выполняется на основе использования математических моделей и автоматизации вариантных расчетов.

Структура математической модели судна для проектной оптимизации, в общем, является последовательностью зависимостей экономического критерия от исходных данных, определяемых на основе системного подхода как функциональные ограничения, от варьируемых в процессе итераций переменных – искомым проектным характеристикам судна, а также от условно постоянных значений параметров, которые при проектной оптимизации являются элементами, – характеристиками подсистем судна.

На ранних стадиях проектирования уравнение баланса представляет функциональную взаимосвязь между характеристиками и содержит независимое слагаемое, например, сумму независимых составляющих уравнения баланса водоизмещения. Уравнение баланса по мере продвижения проекта трансформируется списку числовых значений на более поздних стадиях.

Соотношение водоизмещения многоцелевого судна ледового плавания и суммарной массы независимых слагаемых нагрузки является результатом совокупного влияния на эту зависимость

многих факторов и имеет вероятностный характер.

Полученные зависимости характеристик и элементов отражают их соотношения для эффективного, надежного и мореходного судна, безопасного в эксплуатации, прочного и долговечного.

Функциональные отличия многоцелевого судна ледового плавания от ледокольного судна соответствуют независимому элементу нагрузки

при оценке водоизмещения с использованием уравнения баланса.

Поскольку пропорции элементов многоцелевого судна ледового плавания при оптимизации и циклическом варьировании остаются в более узких интервалах, чем характеристики судна и элементы по абсолютной величине, то появляется возможность сократить размерность оптимизационной задачи, используя данное свойство.

Литература

1. Ашик В.В. Проектирование судов: Учебник. – 2-е изд. перераб. и доп. – Л.: Судостроение, 1985.- 320 с., ил.
2. Бронников А.В. Проектирование судов: Учебник. – 2-е изд. перераб. и доп. – Л.: Судостроение, 1991.- 320 с., ил., (ISBN 5-7355-0191-7)
3. Войлошников М.В. Модели оценки судов, активов морских предприятий и ресурсов океана : Учеб. пособие / М.В. Войлошников. – М.: Общероссийская общественная организация «Российское общество оценщиков», 2010. – 361 с.: ил.– (Энциклопедия оценки, ISBN 978-5-93027-002-0)
4. Гайкович А.И. Основы теории проектирования сложных технических систем. – СПб.: НИЦ «МОРИНТЕХ», 2001. – 432 с., (ISBN 5-93887-005-4)
5. Пашин В.М. Оптимизация судов. – Л.: Судостроение, 1983 .

References

1. Ashik V.V. Proektirovanie sudov: Uchebnik. – 2-e izd. pererab. i dop. – L.: Sudostroenie, 1985.- 320 s., il.
2. Bronnikov A.V. Proektirovanie sudov: Uchebnik. – 2-e izd. pererab. i dop. – L.: Sudostroenie, 1991.- 320 s., il., (ISBN 5-7355-0191-7)
3. Vojloshnikov M.V. Modeli ocenki sudov, aktivov morskikh predpriyatij i resursov okeana : Ucheb. posobie / M.V. Vojloshnikov. – M.: Obshcherossiyskaya obshchestvennaya organizaciya «Ros-sijskoe obshchestvo ocenshchikov», 2010. – 361 s.: il.– (Ehnciklopediya ocenki, ISBN 978-5-93027-002-0)
4. Gajkovich A.I. Osnovy teorii proektirovaniya slozhnyh tekhnicheskikh sistem. – SPb.: NIC «MO-RINTEKH», 2001. – 432 s., (ISBN 5-93887-005-4)
5. Pashin V.M. Optimizaciya sudov. – L.: Sudostroenie, 1983 .

Теория корабля и строительная механика

УДК 629.12.001.2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОЩАДИ ИСТЕЧЕНИЯ ВОЗДУХА ИЗ ВОЗДУХООПОРНОЙ ГУСЕНИЦЫ

Азовцев Анатолий Иванович

доктор технических наук, профессор
начальник кафедры Теории и устройства судна
Морской государственной университет им. адм. Г.И. Невельского
690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, д.50 – а
тел.: (423) 230–12–39

Москаленко Олег Владимирович

старший научный сотрудник
Морской государственной университет им. адм. Г.И. Невельского
690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, д.50 – а
тел.: (423) 230–12–39; e –mail: moskalenkoov@msun.ru

Аннотация

В работе изложен способ определения площади истечения воздуха из воздухоопорной гусеницы мореходного амфибийного вездехода. Неопределенность этого параметра в теоретических и проектных разработках вездеходов предложено преодолевать накоплением опыта косвенных замеров на моделях, макетах и натуральных образцах. На примере использования воздухонагнетателя, планируемого для использования на крупномасштабной модели, разработаны зависимости для определения площади истечения, полученные при моделировании внутригусеничного объема эластичной пневмооболочкой, в которой площадь истечения моделируется прямоугольным отверстием. Для замера частоты вращения использован цифровой тахометр с широким диапазоном измеряемых частот. Впервые в практике обеспечения необходимого давления в воздушной подушке воздухоопорной гусеницы применен высокооборотный осевой нагнетатель с приводом от электродвигателя постоянного тока от малогабаритного аккумулятора. Показания дифференциального жидкостного манометра фиксировались визуально. Эксперимент подтвердил применимость таких нагнетателей и обеспечил определение площади истечения по замерам его частоты вращения при известном давлении.

Ключевые слова: мореходные вездеходы, воздухоопорные гусеницы, истечение воздуха, площадь истечения, воздухонагнетатель, моделирование истечения, замеры оборотов, измерение давления, графики оценки площади истечения

DETERMINATION OF THE AREA OF AIR EXPIRATION FROM THE COMPRESSED-AIR SUPPORTED TRACK

Azovtsev Anatoliy Ivanovich

Professor, Dr. Sci. Tech.
Head of naval architecture department
Maritime state university named Admiral Nevelskoi
50 – a, Verkhneportovaya st., 690059, Vladivostok, Russia
tel.: (423) 230–12–39

Moskalenko Oleg Vladimirovich

Senior research scientist
Maritime state university named Admiral Nevelskoi
50 – a, Verkhneportovaya st., 690059, Vladivostok, Russia
tel:(423) 230–12–39; e –mail: moskalenkoov@msun.ru

Abstract

The article deals with the way of determination of the air expiration area from a compressed-air supported track of a seaworthy all-terrain vehicle. It offers to overcome the uncertainty of this parameter

in theoretical and design development of all-terrain vehicles by accumulation of experience of indirect measurements on models, layouts and natural samples. The development of schedules for determining the air expiration area received when modeling intra track volume by an elastic pneumocover in which the area of expiration is modelled by a rectangular opening, is shown on the example of using air supercharger planned to be used on a large-scale model. The digital tachometer with a wide range of measured frequencies is used for measurement of frequency of rotation. The authors used a high-speed axial supercharger with the drive of an electric motor of direct current from a small-sized battery for the first time in ensuring necessary pressure in air bag of a compressed air supported track. Registration of the differential liquid column manometer was fixed visually. The experiment confirmed applicability of superchargers of that kind and provided determination of the area of expiration on measurements of its frequency of rotation with a known pressure.

Key words: seaworthy all-terrain vehicles, compressed-air supported tracks, air expiration, area of expiration, air supercharger, expiration modeling, measurement of turns, measurement of pressure, schedules of expiration area assessment

1. Введение

Для повышения эффективности комплексного освоения шельфа и побережья Арктики и Дальнего Востока разрабатываются мореходные вездеходы на новом принципе движения – на воздухоопорных гусеницах. Прогнозируемые преимущества предлагаемого транспорта и транспортно-технологических систем с его применением дали основание Минпромторгу России обеспечить эскизное проектирование и разработку облика типоразмерного ряда вездеходов, что опубликовано в [1] и [2].

В воздушной подушке в нижней полости воздухоопорной гусеницы поддерживается необходимое давление постоянно работающим воздухонагнетателем, восполняющим утечки воздуха через зазоры между бортовыми кромками гусеничной ленты и стенками бортовых ограждений. Малая ширина этих зазоров, но большая протяженность составляют значительную площадь истечения из гусеницы, и, соответственно, значительные потери энергии на поддержание давления, что необходимо учитывать в теоретических исследованиях и проектных обоснованиях. Применение скользящих уплотнений на кромках гусеничной ленты снижает расход воздуха. Площадь зазоров при различных вариантах скользящих уплотнений и без них является важным параметром в оценках энергозатрат на поддержание давления воздуха, но в теоретических и проектных решениях она остается неопределенной. Эту неопределенность предложено преодолевать накоплением опыта косвенных замеров на моделях, макетах и натурных образцах.

2. Схема воздухоопорной гусеницы

Схема воздухоопорной гусеницы показана на рис.1. На носовой и кормовой барабаны большого диаметра заведена широкая эластичная гусеничная лента с некоторым избытком длины.

Между днищем понтона и нижней ветвью гусеничной ленты создается воздушная подушка, выполняющая роль эластичной подвески и снижающая нагрузку на подшипники барабанов. Бортовые кромки гусеницы с малым зазором движутся параллельно вертикальным стенкам бортовых скегов. Истечение воздуха через этот зазор по-

полняется постоянной работой воздухонагнетателя, поддерживающего необходимое давление в воздушной подушке.

Ширина зазора, соответственно, и площадь истечения в проектных и теоретических разработках назначаются компромиссно для обеспечения свободного прохождения ленты между скегами и возможно меньшего истечения воздуха. На ходу несимметричные нагрузки от пневмоплит изменяют ширину зазоров. Эксплуатационные изменения площади истечения являются предметом настоящего исследования.

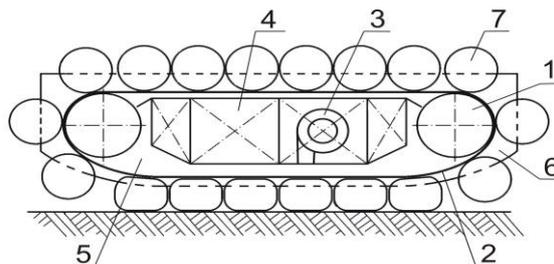


Рис. 1. Совмещенная схема воздухоопорной гусеницы и скега: 1-барабан; 2-гусеничная лента; 3-воздухонагнетатель; 4-понтон; 5-воздушная подушка; 6-бортовые скеги; 7-пневмоплиты.

3. Теоретические основы оценки площади истечения на основе косвенных замеров

Расход воздуха Q_u через отверстие площадью S_u из емкости, в которой поддерживается постоянное давление P_u определяется по

$$Q_u = \mu S_u \sqrt{\frac{2P_u}{\rho}},$$

где μ – коэффициент расхода;

ρ – плотность воздуха.

При изменении частоты вращения воздухонагнетателя n_n его расход Q_n может быть определен по известной паспортной производительности Q_n при паспортных оборотах n_n

$$Q_u = \frac{Q_n}{n_n} n_n$$

Из условия равенства расхода воздуха Q_u из воздушной подушки и производительности нагнетателя Q_n площадь истечения из воздушной подушки определяется из

$$S_u = \frac{Q_n \sqrt{\rho}}{n_n \mu} \cdot \frac{n_n}{\sqrt{2P_u}},$$

где $\frac{Q_n \sqrt{\rho}}{n_n \mu}$ - константа.

Измерения частоты n_n вращения нагнетателя и избыточного давления воздуха в воздушной подушке P_u с точностью до константы позволяют оценивать площадь истечения S_u по этим косвенным замерам.



Рис. 2. Фотография установки для экспериментального определения площади истечения: 1- эластичная емкость; 2-нагнетатель; 3-регулируемая заслонка

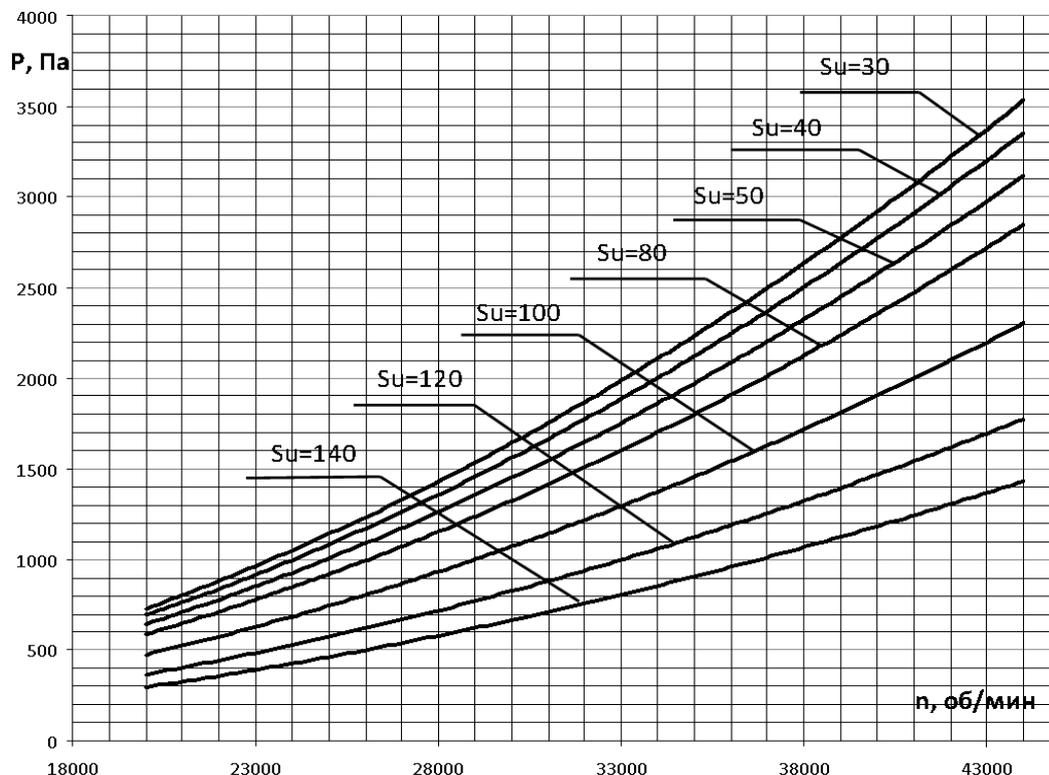


Рис. 3. Графики зависимостей давления от оборотов: S_u – площадь истечения воздуха, см².

4. Экспериментальная установка для определения площади истечения

Для модели транспортного средства на воздухоопорных гусеницах в качестве воздухонагнетателя планируется применить осевой высокооборотный нагнетатель марки DSP90mm alloy fan.

На рис. 2 представлена фотография установки для определения экспериментальной зависимости площади истечения от давления в подушке и частоты вращения нагнетателя. Цифровой тахометр для нагнетателя фиксировал частоту вращения от 22000 об/мин до 45000 об/мин.

Воздух от нагнетателя подается в эластичную емкость, моделирующую воздушную подушку, истечение воздуха из которой происходит из отверстия регулируемой площади от 30 см² до 140 см². При этом давление в воздушной подушке заме-

ряется жидкостным манометром в диапазоне от 300 до 3500 Па. Результаты измерений представлены на графиках рис. 3.

Заключение

Графические зависимости, представленные на рис. 3, обеспечивают определение площади истечения на проектируемой модели по замерам частоты вращения нагнетателя и давления в воздушной подушке. Эксперимент убедительно подтвердил возможность применения на моделях высокооборотных осевых нагнетателей для поддержания давления в воздушной подушке в широком диапазоне задаваемых давлений при приемлемых для моделей площадях истечения.

Литература

1. Азовцев А.И., Огай С.А., Москаленко О.В.. Прорыв в области внедорожного амфибийного транспорта // Наука и транспорт. Морской и речной транспорт «Транспорт Российской Федерации», 2011. С. 48 –50.
2. Азовцев А.И., Огай С.А., Москаленко О.В.. Разработка типоразмерного ряда мореходных вездеходов на воздухоопорных гусеницах для комплексного освоения побережья и замерзающего шельфа // Морские интеллектуальные технологии. Специальный выпуск №1 2013 – Санкт-Петербург, 2013, С.34-37.

References

1. Azovcev A.I., Ogaj S.A., Moskalenko O.V.. Proryv v oblasti vnedorozhnogo amfibijnogo transporta // Nauka i transport. Morskoy i rechnoj transport «Transport Rossijskoj Federacii», 2011. S. 48 –50.
2. Azovcev A.I., Ogaj S.A., Moskalenko O.V.. Razrabotka tiporazmernogo ryada morekhodnyh vездеходов na vozduhoopornyh gusenichah dlya kompleksnogo osvoeniya poberezh'ya i zamerzayushchego shelf'a // Morskie intellektual'nye tekhnologii. Special'nyj vypusk №1 2013 – Sankt-Peterburg, 2013, S.34-37.

УДК 629.12

АКТУАЛЬНОСТЬ И БЕЗОПАСНОСТЬ ГРУЗОВЫХ ОПЕРАЦИЙ ПРИ ПОСАДКЕ СУДОВ НА ГРУНТ

Кулеш Виктор Анатольевич

доктор технических наук, профессор
профессор Дальневосточного федерального университета
690950, Владивосток, ул. Суханова, 8
тел. 8-9089-686-038; e-mail: vkulesh@mail.ru

Петров Владимир Алексеевич

кандидат технических наук, доцент
доцент Морского государственного университета им. адм. Г.И. Невельского
690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, д.50 – а
тел.: (432) 230-12-57 доб.56-17
e-mail: petrov@msun.ru

Аннотация

В мировой и отечественной практике грузовые операции в отдельных случаях производятся при частичной или полной посадке судна на грунт. Развитие транспортной инфраструктуры является одной из приоритетных задач освоения Арктики и Дальнего Востока. Однако низкая освоенность побережья Арктики и Дальнего Востока вынуждает в условиях отсутствия портов выполнять грузовые операции возле мест освоения или традиционной деятельности в условиях необорудованного берега. Типовые повреждения корпусов и винто-рулевых комплексов становятся причиной вывода из эксплуатации судов для ремонта. Имеют место и случаи гибели поврежденного при снятии с грунта судна и экипажа в последующих штормовых условиях. Отсутствие нормативов обеспечения безопасности при грузовых операциях на мелководье в условиях касания грунта делает весьма расплывчатой правовую базу проведения таких операций. Ставится задача проведения научно-исследовательских работ, которые должны быть приняты за основу разработки нормативно-правовой, технической, производственно-технологической документации и программы специализированной подготовки кадров для работы на мелководье.

Ключевые слова: необорудованный берег, разгрузка судна, посадка на грунт, освидетельствование судна

CLASSIFICATION AND RELIABILITY MONITORING OF THE ICE STRIKE OF OFFSHORE MARINE STRUCTURES

Kulesh Victor Anatolievich

Professor, Dr. Sci. Tech.
Professor of Far Eastern Federal University
8, Sukhanova st., 690950, Vladivostok, Russia
tel.: 8-9089-686-038; e-mail: vkulesh@mail.ru

Petrov Vladimir Alekseevich

Cand. Sci. Tech., Associate professor
Associate professor of Maritime state university named Admiral Nevelskoi
50 – a, Verkhneportovaya st., 690059, Vladivostok, Russia
tel.: (432) 230-12-57 add. 56-17; e-mail: petrov@msun.ru

Abstract

In the world and domestic practice the cargo operations in scattered instances are carried out with the partly or completely setting down of the vessel aground. Development of transport infrastructure is a priority for the development of the Arctic and the Far East. However, the low development of the Arctic coast and the Far East in the absence of ports forces to perform cargo operations near the places of development or traditional

activities under unequipped shore. Typical damages to the hull and propeller-rudder systems are the cause of the decommissioning of ships for repair. There have been losses and damages when ships are removed from the ground and the crews are evacuated in the next storm conditions. The lack of legislation in the safety practice of the cargo operations in the shoal waters in grounding condition provides the fairly widespread lack of the legal base of the operations above. The performance of the scientific-research works problem is specified for the basis of the development of the legal framework, technical and manufacturing-technology documentation and specialization program for personnel training for the work in shoal waters.

Key words: cargo operation safety, unimproved port facilities, NAABSA, AAOSA

1. Введение

Перспективы социально-экономического развития прибрежных районов Дальнего Востока и Крайнего Севера в значительной степени обусловлены влиянием геополитических и экономических факторов развития промышленности и морской деятельности на Дальневосточном и Арктическом региональном направлении национальной политики Российской Федерации.

Морской доктриной задан общий вектор развития деятельности, обозначены цели, принципы и задачи на перспективу до 2020 г., покрывающие практически весь спектр функциональных и региональных направлений.

К основным задачам национальной морской политики, реализуемым на арктическом побережье, относятся: исследование и освоение Арктики; разведка и разработка запасов биоресурсов и минерального сырья; создание судов ледового класса для морских перевозок; развитие арктического судоходства; развитие транспортной системы, в том числе Северного морского пути; создание условий для базирования составляющих стратегического потенциала.

Приоритеты социально-экономического развития арктического и субарктического побережья органично встраиваются в систему целей, реализуемых средствами Стратегии развития морской деятельности Российской Федерации до 2020 года (морской стратегии).

Огромным сырьевым потенциалом сегодня обладают месторождения, расположенные на дальневосточном и арктическом побережье, а также в транзитной и мелководной зоне (например, действующие предприятия и перспективные проекты в Дальневосточном регионе горнодобывающей компании Polymetal – рис.1). Все технологии и оборудование, а также опыт, необходимые для обеспечения эффективного, безопасного и экономически выгодного освоения данных территорий, имеются. Вместе с тем, для проведения эффективной и долговременной морской деятельности на дальневосточном и арктическом побережье следует учесть существующие проблемы.

Для обеспечения разработок месторождений и развития инфраструктуры требуется доставка крупногабаритной техники (рис.2), чаще на необорудованный берег. Добытые ресурсы подлежат грузообработке в аналогичных условиях и доставке в порты на обрабатывающие предприятия.

Развитие инфраструктуры сдерживается и сложной ледовой обстановкой (рис.3), ограничивающей навигационный период и существенно повышающей риски.



Рис.1 Действующие предприятия корпорации POLYMETAL (цифры) и перспективные проекты в ДВ регионе (А, В, С)

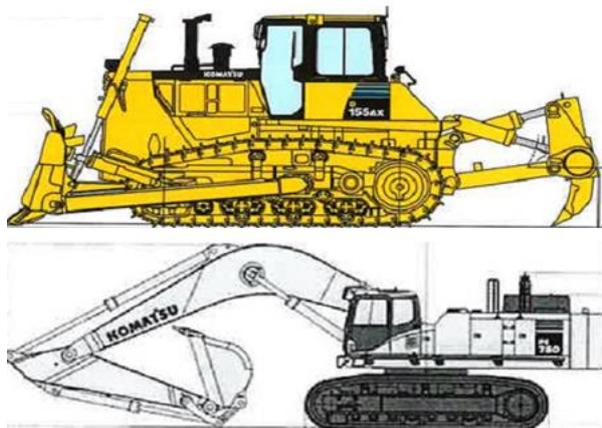


Рис.2 Образцы тяжелой техники (до 80т) для развития и безопасности ДВ региона

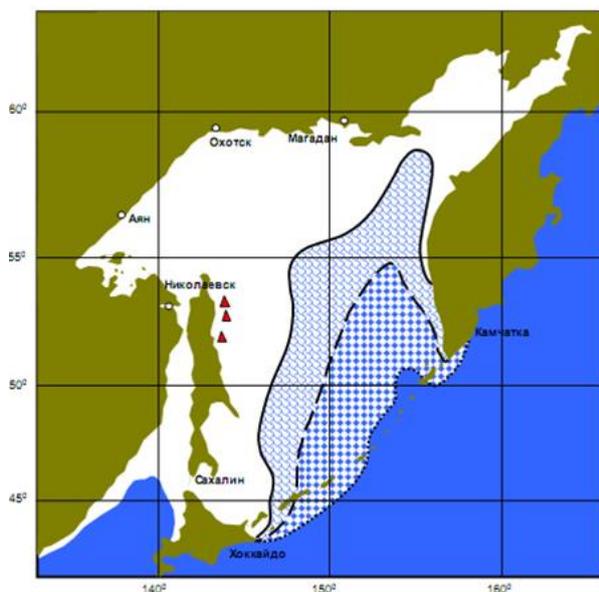


Рис.3 Ледовая обстановка Охотского моря сокращает сроки навигаций

2. Постановка задачи

В мировой и отечественной практике грузовые операции в отдельных случаях производятся при частичной или полной посадке судна на грунт (рис.4, 5). Такая необходимость возникает на мелководье при отливе и/или при проведении грузовых операций на необорудованном берегу. Перепады уровней в отдельных районах Охотского моря доходят до 13 м.

В настоящее время развитие транспортной инфраструктуры вновь является одной из приоритетных задач освоения Арктики и Дальнего Востока. Однако низкая освоенность побережья Арктики и Дальнего Востока вынуждает в условиях отсутствия портов выполнять грузовые операции возле мест освоения или традиционной деятельности в условиях необорудованного берега.

При богатом и в целом положительном опыте таких грузовых операций накоплено множество случаев повреждений корпусов судов, особенно при выполнении схода на воду загруженного судна до его полного всплытия сталкиванием бульдозерами и стягиванием якорями или судами. Такие повреждения становятся причиной вывода из эксплуатации судов для ремонта

Имеют место и случаи гибели поврежденного при снятии с грунта судна и экипажа в штормовых условиях.

Одним из таких примеров является гибель т/х "Амурская" 28 октября 2012 г. после погрузки в портопункте Киран (Хабаровский край). Одной из основных причин названо поступление воды в сухие отсеки т/х "Амурская" из-за нарушения герметичности подводной части корпуса судна в результате скрытых повреждений, которые могли произойти при подтягивании судна к берегу, нахождению судна на грунте с грузом и съемке судна с грунта при погрузке на необорудованном побережье методом "осушения".



Рис.4 Начальный этап осушения судна у побережья Охотского моря



Рис.5 Процедура грузовых операций в состоянии осушения судна

Так же известны случаи присасывания судна на илистых грунтах и последующего затопления при приливе. Особую проблему представляют массовые повреждения днища ударами о грунт приборным волнением.

Ответственность за инциденты и аварии обычно возлагается на капитана судна и капитана портопункта. Традиционность и положитель-

ный опыт грузовых операций на мелководье не могут быть использованы для оправдания, поскольку полностью отсутствует правовая основа, техническая и технологическая проработка грузовых операций при осушке судна на мелководье

Отсутствие нормативов обеспечения безопасности при грузовых операциях на мелководье в условиях касания грунта делает весьма расплывчатой правовую базу проведения таких операций. Составление чартер-партии, которая предполагает наличие таких условий, должно включать одобренные BIMCO (The Baltic and International Maritime Council) условия NAABSA (not always afloat but safely aground – не всегда на плаву, но безопасно на грунте), или AAOSA (always afloat or safely aground - всегда на плаву, или безопасно на грунте).

Отсутствие нормативов понятия safe aground (безопасно на грунте) приводит к тому, что некоторые классификационные общества требуют обязательного докования или водолазного осмотра после каждого касания грунта.

Поскольку Правила РМРС рассматривают касание корпусом судна грунта как инцидент, а не особый эксплуатационный случай, то на их основе тоже необходимо требовать обязательного водолазного осмотра после каждого касания грунта. Это весьма дорогостоящая операция и в условиях необорудованного берега чаще не выполняема.

Особые эксплуатационные случаи в процессе проектирования судна прорабатываются в соответствии с Правилами РМРС. Выполнение этих Правил утверждается Регистром и при необходимости фиксируется особыми отметками в классе судна, давая правовую основу на базе всесторонней технической проработки, разработки технологий и инструкций по обеспечению эффективности и безопасности судна, экипажа, груза, окружающей среды.

В мировой практике накоплен обширный опыт осушения судов на грунте. В условиях большой плотности населения задача часто решается в специальных дамбовых ковшах, (рис.6), где суда периодически всплывают и контактируют с грунтом в условиях ограниченного волнения.



Рис.6 Групповое осушение судов в специальных дамбовых ковшах (Китай)

В условиях необорудованного берега понятие safe aground (безопасно на грунте) традиционно является предметом торга между фрахтователя-

ми, судовладельцами и страховщиками, особенно в части оплаты водолазного осмотра судна после касания грунта [1].

Эта неопределенность в нормативной и правовой базе приводит к тому, что судоводители (часто по негласному пожеланию судовладельцев) пытаются не фиксировать сам факт проведения грузовых операций при касании грунта в судовом журнале и/или других официальных документах, что препятствует созданию статистической базы для расследования аварийных случаев. К сожалению, такие аварийные случаи чаще становятся известными при наличии человеческих жертв, а во всех прочих случаях имеют место попытки отнести повлекшие их причины к другим обстоятельствам разного рода, не связанным с касанием и перемещением корпуса судна относительно грунта.

Одним из эффективных способов решения проблемы является создание специализированных судов, которые могут непосредственно даже не касаться грунта корпусом (рис.7).

Существующий отечественный опыт постройки десантных кораблей безусловно полезен, но чаще их признаки – ограниченная осадка и усиленное плоское днище для прямых контактов с грунтом. Ресурс таких судов существенно ограничен редкостью десантных операций и не может распространяться на коммерческий флот.



Рис.7 Специальное судно для грузовых операций с осушением (Тайланд)

С учётом сказанного, необходимым условием безопасности транспортных судов при грузовых операциях на мелководье с посадкой на грунт является проведение комплекса научно-исследовательских работ, которые должны быть приняты за основу разработки нормативно-правовой, технической, производственно-технологической документации, и программы специализированной подготовки кадров для работы на мелководье.

На рис.8: d – осадка судна на плаву; d_1 – осадка судна на грунте; $d-d_1$ – разность осадок, приводящая к избыточному давлению на грунт.

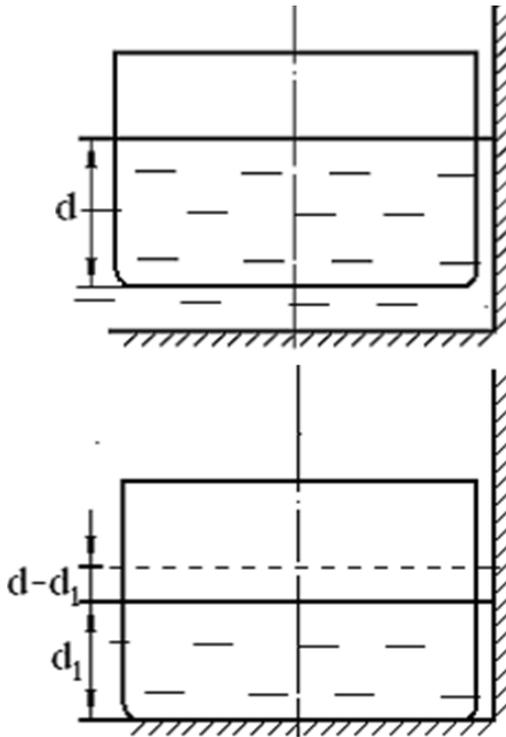


Рис.8 Судно у причала

На рис.9: d – осадка судна на плаву; d_1 – осадка судна на грунте при отливе; $d-d_1$ – разность осадок, приводящая к избыточному давлению на грунт.

Прежде всего, желательно разделить суда, конструкция корпуса которых соответствует предварительно разработанным специальным требованиям «Правил классификации и постройки морских судов» Российского морского регистра судоходства [2], и все прочие суда.

Случаи грузовых операций можно классифицировать по следующим признакам:

- посадка на грунт чисто из-за отлива практически без качки и смещения корпуса по дну (рис.8);
- необходимость затягивания корпуса на мелководье и/или стягивания корпуса с помощью станковых якорей и/или бульдозеров (рис.9);
- возможность воздействия на корпус прибойного волнения и присасывания корпуса судна на илистых грунтах.

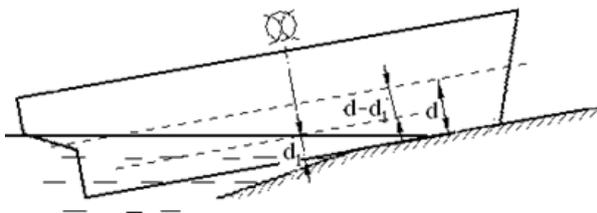


Рис.9 Судно на необорудованном берегу

Здесь нужна специальная методика расчета изгибающих моментов и перерезывающих сил при частичном касании грунта, а также местной прочности корпусных конструкций при взаимодействии с грунтом.

Схема, иллюстрирующая основные научно-технические задачи прочности в части взаимодействия судов с грунтом представлена на рис.10.

Для решения указанных задач особое значение имеют экспериментальные исследования условий снятия с грунта на моделях судов с различным конструктивным оформлением и формой днища.

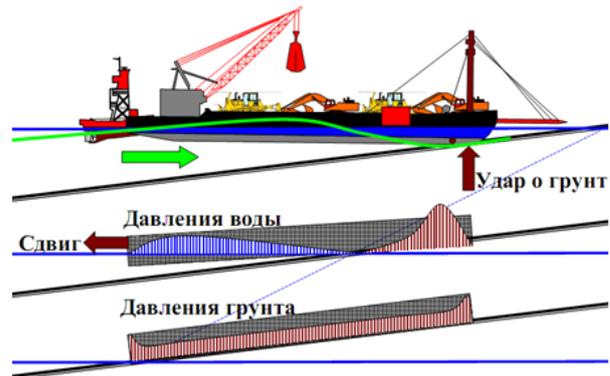


Рис.10 Схема нагрузок для основных задач обеспечения прочности при осушении судов

Дополнительных исследований требуют вопросы ударного взаимодействия корпуса с грунтом. На выходе здесь важны условия для проверки местной прочности, как днища, так и палубы с поддерживающими связями при условии размещения на ней тяжеловесных и локальных грузов.

Входными параметрами для таких исследований являются условия качки судов в прибойном волнении с учетом различных состояний загрузки, крена и дифферента. Дополнительно должна производиться проверка остойчивости судов на таком волнении.

Особое значение имеют параметры свойств грунта в местах осушений. Для их определения нужны полевые испытания, методика и условия их проведения. Сами места осушения должны предварительно готовиться в соответствии с условиями и систематически освидетельствоваться на предмет их соблюдения.

Также большое значение имеют вопросы эффективной защиты винто-рулевого комплекса судна на мелководье, вопросы автономности энергообеспечения судовых устройств и систем при состоянии судна на грунте.

Дополнительно должны быть оговорены условия пожарной безопасности и положения по технике безопасности экипажа в процессе осушения, схода на берег и проведения грузовых операций.

В настоящее время достигнуто соглашение с Российским морским регистром судоходства о

начале совместной работы по комплексу перечисленных вопросов.

Основное внимание должно быть нацелено на разработку условий и требований, выполнение которых может быть основанием для формулировки классификационных признаков приспособленности судов к описанным выше условиям работы.

Дополнительно должны быть оговорены условия освидетельствований и периоды между доками для специализированных судов.

Особенностью начального этапа работ является то, что формулировка нормативно-технических требований в принципе не может решить весь комплекс задач их выполнения при проектировании специальной техники. Для этого нужен более широкий и сравнительно дорогой спектр научно-технических исследований, в которых могут быть заинтересованы как государственные структуры и ведомства, так и региональный бизнес, включая коммерческие грузовые перевозки.

Следует отметить, что Регистр не принимает непосредственного участия в процедурах осушения и проведения грузовых операций на необорудованный берег. Поэтому нормативно-

правовые и организационно-технологические вопросы остаются вне сферы его деятельности. Однако, полагается, что кроме классификационных признаков и условий освидетельствований, Регистр может регламентировать ряд эксплуатационных (бортовых) документов, определяющих ограничения на условия проведения операций осушения в целях безопасности людей, судов и грузов.

3. Заключение

Результатом данного этапа научно-исследовательских работ могут быть как требования к специализированной морской технике, так и рекомендации по составлению технологических карт грузовых операций при частичной или полной посадке судна на грунт, включая протоколы чек-листов в соответствии с требованиями МКУБ.

В случае заинтересованности они могут быть продолжены с целью оптимизации конструктивных решений, повышения конкурентоспособности и безопасности специализированных судов.

Литература

1. BIMCO Recommended Wording for NAABSA / BIMCO Special Circular No.6 – 21 December 2011, Bagsvaerd, Denmark, p.1-3.
2. Правила классификации и постройки морских судов, том 1 / Российский морской регистр судоходства, СПб., 2014, 554 с.

References

1. BIMCO Recommended Wording for NAABSA / BIMCO Special Circular No.6 – 21 December 2011, Bagsvaerd, Denmark, p.1-3.
2. Pravila klassifikacii i postrojki morskih sudov, tom 1 Rossijskij morskogo registr sudo-hodstva, SPb., 2014, 554 s.

Технология судостроения, судоремонта и организация судостроительного производства

УДК 539.232 + 620.197.2+ 620.193.27

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ СУДОВОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ИЗ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ С РАНЕЕ НАНЕСЕННЫМ ТЕРМИЧЕСКИМ ПОКРЫТИЕМ

Минаев Александр Николаевич

доктор технических наук, профессор
профессор Дальневосточного федерального университета
690950, Владивосток, ул. Суханова, 8
тел.: 8-914-324-87-11; e-mail: aminaev@mail.ru

Надараиа Константинэ Вахтангович

аспирант Дальневосточного федерального университета
690950, Владивосток, ул. Суханова, 8
тел.: 8 (964) 438-48-41; e-mail: nadaraiakv@mail.ru

Портнова Олеся Сергеевна

аспирант Дальневосточного федерального университета
690950, Владивосток, ул. Суханова, 8
тел.: 8-924-123-91-06; e-mail: olesya.portnova@mail.ru

Гнеденков Сергей Васильевич

доктор химических наук, профессор
заместитель директора
Институт химии Дальневосточного отделения Российской академии наук
690022, Владивосток, пр-т 100-летия Владивостока, 159
тел.: 8-914-703-77-91; e-mail: svg21@hotmail.com

Егоркин Владимир Сергеевич

кандидат химических наук
старший научный сотрудник
Институт химии Дальневосточного отделения Российской академии наук
690022, Владивосток, пр-т 100-летия Владивостока, 159
тел.: 8-902-556-20-27; e-mail: egorkin@ich.dvo.ru

Машталяр Дмитрий Валерьевич

кандидат технических наук
старший научный сотрудник
Институт химии Дальневосточного отделения Российской академии наук
690022, Владивосток, пр-т 100-летия Владивостока, 159
тел.: 8-908-440-47-88; e-mail: madiva@inbox.ru

Синебрюхов Сергей Леонидович

доктор химических наук, доцент
заведующий лабораторией
Институт химии Дальневосточного отделения Российской академии наук
690022, Владивосток, пр-т 100-летия Владивостока, 159;
тел.: 8-914-707-51-13; e-mail: sls@ich.dvo.ru

Аннотация

В работе представлен режим формирования защитных покрытий методом плазменного электролитического оксидирования (ПЭО) на бывших в эксплуатации деталях и изделиях из титановых сплавов с термическим оксидным (ТО) слоем на поверхности. Дана количественная оценка электрохимических и трибологических свойств формируемых покрытий. Данные электрохимических исследований свидетельствуют о восстановлении и улучшении защитных характеристик покрытий после ПЭО для образцов с различным состоянием поверхности. Электрохимические и

трибологические свойства сформированных покрытий оценивались количественно. Потенциодинамический поляризационный метод показывает, что дальнейшим изменением теплового покрытия методом ПЭО можно повысить значение сопротивления поляризации и уменьшить токи коррозии на порядок. Это, в свою очередь, снижает возможность гальванической коррозии при контакте титана в коррозионно-агрессивной среде. Анализ данных трибологических исследований показали различия интенсивности накопления износа покрытий в соответствии с методом формирования поверхностных слоев. Предложенный метод электролитического окисления в плазме подходит для восстановления защитных свойств изделий, подвергнутых термическому окислению, в том числе восстанавливаемых использованных деталей.

Ключевые слова: титановые сплавы, плазменное электролитическое окисление, защитные покрытия, термическое окисление, коррозия, износ, судовые энергетические установки, морская техника

RESTORE OF THE DETAILS OF THE SHIP POWER PLANTS MADE FROM TITANIUM ALLOYS PREVIOUSLY APPLIED THERMAL COATING

Minaev Alexander Nikolaevich

Professor, Dr. Sci. Tech.
Professor of Far Eastern Federal University
8, Sukhanova st., 690950, Vladivostok, Russia
tel.: 8-914-324-87-11; e-mail: aminaev@mail.ru

Nadaraia Konstantine Vakhtangovich

Postgraduate student of Far Eastern Federal University
8, Sukhanova st., 690950, Vladivostok, Russia
tel.: 8 (964) 438-48-41; e-mail: nadaraiakv@mail.ru

Portnova Olesya Sergeevna

Postgraduate student of Far Eastern Federal University
8, Sukhanova st., 690950, Vladivostok, Russia
tel.: 8-924-123-91-06; e-mail: olesya.portnova@mail.ru

Gnedenkov Sergey Vasil'evich

Professor, Dr. Sci. Chemistry
Deputy director
Institute of Chemistry of Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences
159, Prospect 100-Letiya Vladivostoka, 690022, Vladivostok, Russia
tel.: 8-914-703-77-91; e-mail: svg21@hotmail.com

Egorin Vladimir Sergeevich

Cand. Sci. Chemistry
Senior research scientist
Institute of Chemistry of Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences
159, Prospect 100-Letiya Vladivostoka, 690022, Vladivostok, Russia
tel.: 8-902-556-20-27; e-mail: egorin@ich.dvo.ru

Mashtalyar Dmitry Valeryevich

Cand. Sci. Tech.
Senior research scientist
Institute of Chemistry of Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences
159, Prospect 100-Letiya Vladivostoka, 690022, Vladivostok, Russia
tel.: 8-908-440-47-88; e-mail: madiva@inbox.ru

Sinebryukhov Sergey Leonidovich

Associate professor, Dr. Sci. Chemistry
Director of laboratory
Institute of Chemistry of Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences
159, Prospect 100-Letiya Vladivostoka, 690022, Vladivostok, Russia
tel.: 8-914-707-51-13; e-mail: sls@ich.dvo.ru

Abstract

The paper presents the mode of formation of protective coatings by plasma electrolytic oxidation (PEO) for the used parts and products made of titanium alloys with a thermal oxide (TO) layer on the

surface. A quantitative evaluation of electrochemical and tribological properties of the coatings formed. These electrochemical studies suggest restoring and improving the protective characteristics of the PEO coatings after samples with different surface conditions. Electrochemical and tribological properties of the formed coatings were quantified evaluated. Potentiodynamic polarization method showed that further modification of the thermal coating by PEO method can increase the value of polarization resistance, and reduce corrosion currents for order of magnitude. That, in turn, reduces the possibility of galvanic corrosion during the contact of titanium in corrosion-aggressive environment. Data analysis of tribological studies revealed differences in wear behavior of the coatings according to the method of forming the surface layers. The proposed approach of plasma electrolytic oxidation is suitable to restore the protective properties of products subjected to thermal oxidation, including the used ones.

Key words: titanium alloys, plasma electrolytic oxidation, protective coatings, thermal oxidation, corrosion, wear, ship power plants, marine engineering

1. Введение

Термическое оксидирование (ТО) деталей и изделий судостроения, машиностроения и атомной энергетики является одним из широко используемых методов создания защитных покрытий на поверхности титановых сплавов [1, 2, 3]. В результате ТО оксидная плёнка получается плотной, превосходно связанной с основой. Такой метод позволяет получать износостойкие покрытия на деталях узлов трения [4], антизадирные покрытия для крепежных изделий [5, 6], антикоррозионные покрытия на деталях, эксплуатируемых в морской воде [7, 8]. Тем не менее, ТО имеет ряд существенных недостатков. Метод энергоёмок, длителен, трудоёмок, имеет высокий процент дефектности и брака, а также отсутствует возможность повторного оксидирования и восстановления покрытия на деталях, бывших в эксплуатации [9, 10]. Повторное ТО невозможно из-за критического снижения коррозионно-механической прочности изделий после первоначального оксидирования. Проникновение кислорода в металл, находящийся под термически полученным оксидом на поверхности, приводит к охрупчиванию изделия в целом [11]. Замена изделий с утратившим защитные свойства в процессе эксплуатации покрытием на новые требует больших материальных затрат. Указанные недостатки ТО, а также возрастающие требования к качеству поверхностного слоя свидетельствуют об актуальности исследований, направленных на поиск альтернативных способов создания и восстановления защитных свойств покрытий. Одним из наиболее эффективных методов формирования защитных покрытий на поверхности изделий, арматуры и механизмов, выполненных из титановых сплавов, является плазменное электролитическое оксидирование (ПЭО) [12-14]. Поверхностные слои, полученные методом ПЭО, обладают рядом практически значимых характеристик: высокая коррозионная стойкость [15, 16], твердость и износостойкость [17] в сочетании с хорошей адгезией к подложке, а также низкими требованиями к предварительной подготовке поверхности. Все вышеперечисленные особенности ПЭО делают его наиболее вероятной альтернативой термическому окислению [9]. Основной задачей данного исследования являлась разработка способа восстановления защитных характери-

стик покрытий на бывших в эксплуатации изделиях из титановых сплавов с использованием плазменного электролитического оксидирования.

2. Материалы и методики

2.1. Образцы и методы анализа

В качестве образцов были использованы прямоугольные пластины размером 30 мм × 15 мм × 1 мм из технически чистого титана марки ВТ1-0. Перед оксидированием для стандартизации поверхности образцы подвергали механической обработке шлифовальной бумагой различной зернистости (600, 800, 1200), промывали дистиллированной водой и обезжиривали спиртом.

Предварительно на образцы было нанесено покрытие методом ТО (покрытие № 1) согласно руководящему документу [10]. ТО-покрытия были сформированы при низкотемпературном оксидировании – выдержка в печи при 800 °С в течение 1 ч с последующим медленным охлаждением образцов в печи до 300 °С, далее – на воздухе до комнатной температуры.

Для моделирования потери покрытием защитных свойств в результате износа, на ТО-покрытие был нанесен дефект. Истирание производилось на трибометре Revetest-RST (CSM Instruments, Швейцария) при использовании в качестве контртела корундового шара диаметром 5 мм при постоянных линейной скорости 50 мм/с и нагрузке 10 Н. Диаметр трека составлял 5 мм.

Плазменное электролитическое оксидирование образцов с ТО-покрытием после нанесения дефекта осуществлялось в фосфатном электролите ($\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$, $c = 20$ г/л), согласно ранее разработанным способам и принципам оксидирования титановых сплавов [12].

Толщину покрытий измеряли на вихретоковом толщиномере ВТ-201 (Россия) в пяти различных точках на поверхности.

Фазовый состав поверхностных слоев определяли на рентгеновском дифрактометре D8 Advance (Bruker, Германия) (Cu K_α -излучение). При съемке использовалась классическая фокусировка по геометрии Брегга-Брентано в интервале углов по 2 θ от 10 ° до 80 °, с шагом сканирования 0,02 ° и временем экспозиции 1 с в каждой точке. Относительное содержание фаз в по-

крытии оценивали по отношению интенсивностей самых сильных линий. При выполнении рентгенофазового анализа была использована программа поиска EVA с банком данных PDF-2 для порошковых образцов.

Электрохимические параметры исследуемых покрытий изучали методами потенциодинамической поляризации с использованием электрохимической системы VersaSTAT MC (VMC-4) (Solartron Analytical, Великобритания). Измерения проводили в трехэлектродной ячейке при комнатной температуре в 3 % растворе NaCl. В качестве противозэлектрода использовали покрытую платиной ниобиевую сетку, в качестве электрода сравнения – каломельный электрод (потенциал относительно нормального водородного электрода +0.280 В). Рабочая площадь образца составляла 1 см². Потенциодинамические измерения проводили со скоростью развертки 0.17 мВ/с от напряжения -0.25 В до 3 В.

Оценка износостойкости полученных покрытий по схеме «шар-диск» была исследована на трибометре Revetest-RST (CSM Instruments, Швейцария). Испытания проводились при использовании корундового шара диаметром 10 мм при постоянных линейной скорости 50 мм/с и нагрузке 10 Н с последующим определением глубины следа и вычислением степени износа поверхностных слоев. Диаметр трека составлял 10 мм.

Все приведенные результаты были статистически обработаны, величина погрешности не превышала 5 %.

2.2. Процесс плазменного электролитического оксидирования

Для решения поставленной задачи были использованы принципы направленного формирования ПЭО-покрытий с заранее заданными свойствами [12, 18-19]. Плазменное электролитическое оксидирование образцов с ТО-покрытием на поверхности проводили в фосфатном электролите в комбинированном монополярном режиме, сочетающем две последовательные потенциодинамические фазы. В первой части режима происходил подъем напряжения до значения 500 В со скоростью $v = 5.25$ В/с с целью создания на границе раздела фаз электролит/оксидная пленка плазменных микроразрядов, необходимых для формирования ПЭО-слоя. Возникновение микро-разрядов на поверхности с предварительно нанесенным термическим оксидом затруднено при меньших значениях напряжения. Далее следовала фаза с плавным снижением напряжения до значений 300 В со скоростью 0.22 В/с. Постепенное снижение напряжения приводило к умеренной интенсивности плазменных микро-разрядов на поверхности образца, что способствовало равномерному росту ПЭО-покрытия. Использование данного режима ПЭО приводит к уменьшению количества и размера пор в формируемом покрытии. Данные изменения тока и напряжения

в процессе оксидирования покрытий представлены на рис. 1.

3. Результаты и обсуждение

3.1. Состав, внешний вид и толщина покрытий

Согласно данным рентгенофазового анализа ТО-покрытие состоит из диоксида титана в модификации рутил, а покрытие после ТО и ПЭО содержит диоксид титана в двух модификациях: анатаз и рутил.

Внешний вид ТО-покрытия до и после нанесения дефекта представлен на рис. 2 и 3, соответственно. В результате обработки ТО-покрытия с дефектом методом плазменного электролитического оксидирования (рис. 4), визуально можно отметить восстановление защитного поверхностного слоя.

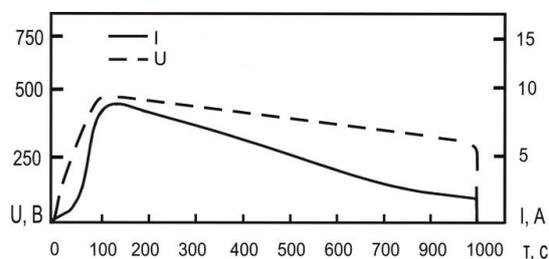


Рис. 1. Зависимость тока, I , и напряжения, U , от времени длительности процесса, t , плазменного электролитического оксидирования титанового образца с ТО-покрытием

В месте нанесения дефекта происходит образование покрытия серого цвета с развитой морфологией, характерной для ПЭО-слоев [12].

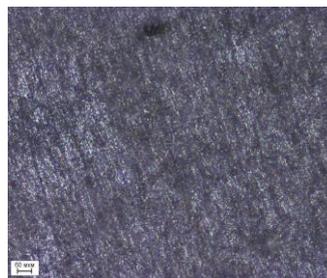


Рис. 2. Оптическое изображение ТО-покрытия до нанесения дефекта (покрытие № 1)

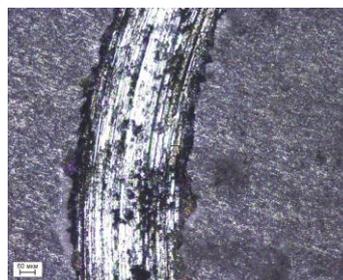


Рис. 3. Оптическое изображение ТО-покрытия после нанесения дефекта

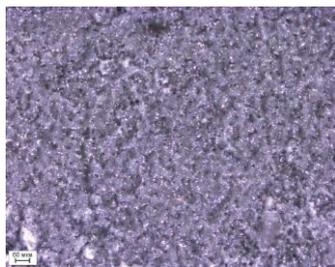


Рис. 4. Оптическое изображение ПЭО-покрытия (покрытие № 2)

В таблице 1 представлены данные о толщине поверхностного слоя для образца с покрытием, полученным ТО и ПЭО. Однородность покрытия и отсутствие следов предварительно нанесенного дефекта, косвенно свидетельствуют о восстановлении целостности защитного слоя.

Таблица 1
Толщина покрытий на исследуемых образцах

N/N	Вид покрытия	Толщина, мкм
1	покрытие № 1	20±2
2	покрытие № 2	34±2

3.2. Электрохимические свойства покрытий

Согласно анализу данных, полученных методом потенциодинамической поляризации и представленных на рис. 5, ТО-покрытие (покрытие № 1) незначительно увеличивает поляризационное сопротивление R_p и не существенно снижает ток коррозии I_c (табл. 2) по сравнению с образцом без покрытия. При нанесении дефекта на поверхность ТО-покрытия происходит заметное снижение антикоррозионных характеристик защитного слоя (рис. 5, табл. 2), связанное с нарушением его сплошности. При этом значения поляризационного сопротивления R_p и тока коррозии I_c приближаются к значениям данных характеристик у образца без покрытия (табл. 2). Последующая модификация покрытия методом ПЭО (покрытие № 2) позволяет увеличить значения R_p и снизить I_c на порядок, что должно, в свою очередь, существенно затруднять протекание гальванической коррозии при контакте титана в коррозионной среде с другими металлами. Таким образом, переработка термически полученного оксида на поверхности титана методом ПЭО не только восстанавливает, но и существенно повышает антикоррозионные свойства формируемого слоя.

3.2. Трибологические параметры формируемых покрытий

Анализ данных трибологических испытаний исследуемых образцов (рис. 6) выявил некоторые отличия в поведении износа покрытий, полученных различными способами. У обоих покрытий на

начальной стадии испытаний наблюдается подъем значений коэффициента трения до 0.80-0.85.

Для покрытия № 2 достижение максимальных значений коэффициента трения происходит быстрее (за 10 оборотов), чем для покрытия № 1, где эта стадия продолжается около 1000 оборотов. Далее наступает стадия, на которой происходит снижение коэффициента трения до значений около 0.70 и 0.55 для покрытия № 1 и для покрытия № 2, соответственно.

Различие в значениях, а также в динамике снижения коэффициента трения в процессе износа для исследуемых покрытий определяется морфологическими особенностями изучаемых слоев и их фазовым составом.

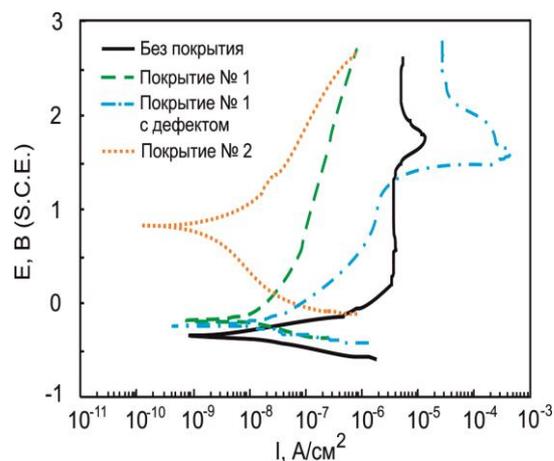


Рис. 5. Поляризационные кривые образцов с различными видами поверхностной обработки

Таблица 2
Коррозионные характеристики образцов с различными видами поверхностной обработки

N/N	Вид покрытия	E_c , В	I_c , А/см ²	R_p , Ом×см ²
1	без покрытия	-0.34	7.0×10^{-9}	3.7×10^6
2	покрытие № 1	-0.17	6.7×10^{-9}	3.9×10^6
3	покрытие № 1 с дефектом	-0.22	7.8×10^{-9}	2.7×10^6
4	покрытие № 2	0.59	4.4×10^{-10}	5.9×10^7

Таблица 3
Износ образцов с различными видами поверхностной обработки

N/N	Вид покрытия	Износ, мм ³ /(Н·м)
1	покрытие № 1	2.9×10^{-4}
2	покрытие № 2	1.0×10^{-3}

Износ покрытий (табл. 3) рассчитывался, используя нормировку потери объема образца при испытании $\Delta V_{обр}$ на величины пробега N и приложенной нагрузки P : $I = \frac{\Delta V_{обр}}{N \times P}$ Объем потери материала в результате трения образца опре-

деляли по формуле: $\Delta V_{обр} = S \times l$, где l – длина и S – площадь сечения бороздки износа.

4. Заключение

Результаты проведенных экспериментальных исследований по улучшению защитных свойств покрытий, первоначально полученных термическим оксидированием на сплаве титана, показали, что метод плазменного электролитического оксидирования позволяет повысить антикоррозионные свойства и снизить износостойкость формируемых слоев в сравнении с уровнем значений характеристик, свойственных для ТО-покрытий.

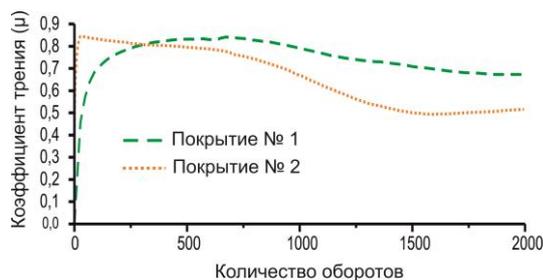


Рис. 6. Зависимость коэффициента трения от количества оборотов для образцов с различными видами поверхностной обработки

На основе проведенных экспериментальных исследований, разработан способ, пригодный для восстановления защитных свойств изделий, подверженных термическому оксидированию, включая изделия, бывшие в эксплуатации (что связано с потерей защитных свойств ТО-покрытия). Данный способ предложен в качестве ступени технологического процесса, реализуемого на промышленном предприятии ОАО «Дальневосточный завод «Звезда» в рамках Постановления Правительства от 9 апреля 2010 года № 218 по проекту «Модернизация производства на основе разработанных инновационных технологий нанесения защитных покрытий для элементов морской техники и обеспечение экологической безопасности производства».

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Министерства науки и образования РФ (контракт № 02.G25.31.0035-225 от 12.02.2013).

Литература

1. Лазарев, Э.М., Корнилова, З.И., Федорчук, Н.М. Окисление титановых сплавов // М.: Наука, 1985- 69 с.
2. Bloyce A. Wear protection of titanium alloys. Surface Performance of Titanium, Proceedings of Symposium. 1997. P. 155-169.
3. Шаталов В.К., Фатиев И.С., Михайлов В.И., Грошев А. Л. Антифрикционные наплавки на титановые сплавы // Наука и образование. 2012. № 5. С. 424-433.
4. Клабуков А.Г., Зуев А.М. Повышение износостойкости титановых сплавов оксидированием // Известия вузов (Сер. Машиностроение). 1974. № 3. С. 120-124.
5. Анитов И.С., Максимова А.Г., Щербакова З.В. Термическое и анодное оксидирование как методы повышения поверхностных свойств титана и его сплавов // Химико-термическая обработка сталей и сплавов. Л.: Дом техники. 1961. С. 3-16.
6. Мороз Л.С., Чечулин Б.Б., Полин И.В. и др. Титан и его сплавы // Л.: Судпромгиз. 1960. т. 1. 516 с.
7. Чечулин Б.В., Ушков С.С., Розуваева М.Н., Гольдфайн В.Н. Титановые сплавы в машиностроении // Л.: Металлургия, 1977. 248 с.
8. Равин А.А. Экспериментальные исследования коррозии судовых трубопроводов в морской воде // Морские интеллектуальные технологии. 2012. № 1. С. 25-28.
9. Гордиенко П.С., Тырин В.И., Гудовцева В.О. и др. Восстановление защитных свойств покрытий на сплавах титана методом микродугового оксидирования // Тез. докл. Всесоюзн. конф. «Проблемы коррозии и защиты сплавов и конструкций в морской воде», 18-20 сентября 1991. Владивосток. 1991. С. 120.
10. РД5Р.95066-90 Термическое оксидирование (антифрикционное и защитное) деталей из сплавов типа ПТ-3В. Типовой технологический процесс (посл. Изм. № 1 от 29.12.1998).
11. Lavrushin G.A., Gnedenkov S.V., Gordienko P.S., Sinebryukhov S.L. Cyclic strength of titanium alloys, anodized under micro-arc conditions, in sea water. Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces. 2002. Vol. 38. N. 4. P. 363–365.
12. Гнеденков С.В. Синебрюхов С.Л. Сергиенко В.И. Композиционные многофункциональные покрытия на металлах и сплавах, формируемые плазменным электролитическим оксидированием // Владивосток: Дальнаука, 2013. 460 с.
13. Minaev A.N., Gnedenkov S.V., Sinebryukhov S.L., et al. Functional plasma electrolytic oxidation coatings for offshore structures. Proceedings of the Twenty-fourth (2014) International Ocean and Polar Engineering Conference, Busan, Korea, June 15-20. 2014. P. 418-422.

14. Stojadinović S., Vasilić R., Petković M., et al. Characterization of the plasma electrolytic oxidation of titanium in sodium metasilicate. *Applied Surface Science*. 2013. Vol. 265. P. 226-233.
15. Gnedenkov S.V., Sinebryukhov S.L., Mashtalyar D.V., et al. Features of the corrosion processes development at the magnesium alloys surface. *Surface & Coatings Technology*. 2013. Vol. 225. P. 112-118.
16. Минаев А.Н., Гнеденков А.С. Гнеденков С.В. и др. Многофункциональные защитные покрытия для судового энергетического оборудования // *Морские интеллектуальные технологии*. 2013. № 1 (спецвыпуск). С. 49-55.
17. Aliasghari S., Skeldon P., Thompson G.E. Plasma electrolytic oxidation of titanium in a phosphate/silicate electrolyte and tribological performance of the coatings. *Applied Surface Science*. 2014. Vol. 316. P. 463-476.
18. Хрисанфова О.А., Волкова Л.М., Гнеденков С.В. и др. Синтез пленок химических соединений на титане в условиях микроплазменных разрядов // *Журнал неорганической химии*. 1995. Т. 40. № 4. С. 558-562.
19. Гнеденков С.В., Хрисанфова О.А., Завидная А.Г. Плазменное электролитическое окисление металлов и сплавов в тартратсодержащих растворах // *Владивосток: Дальнаука*. 2008. 165 с.

References

1. Lazarev, E.H.M., Kornilova, Z.I., Fedorchuk, N.M. *Okislenie titanovykh splavov* M.: Nauka, 1985. 69 s.
2. Bloyce A. Wear protection of titanium alloys. *Surface Performance of Titanium, Proceedings of Symposium*. 1997. P. 155-169.
3. SHatalov V.K., Fatiev I.S., Mihajlov V.I., Groshev A. L. Antifrikcionnye naplavki na titanovye splavy Nauka i obrazovanie. 2012. № 5. S. 424-433.
4. Klabukov A.G., Zuev A.M. Povyshenie iznosostojkosti titanovykh splavov oksidirovaniem // *Izvestiya vuzov (Ser. Mashinostroenie)*. 1974. № 3. S. 120-124.
5. Anitov I.S., Maksimova A.G., SHCHerbakova Z.V. Termicheskoe i anodnoe oksidirovanie kak metody po-vysheniya poverhnostnykh svojstv titana i ego splavov Himiko-termicheskaya obrabotka staley i splavov. L.: Dom tekhniki. 1961. S. 3-16.
6. Moroz L.S., CHEchulin B.B., Polin I.V. i dr. Titan i ego splavy L.: Sudpromgiz. 1960. t. 1. 516 s.
7. CHEchulin B.V., Ushkov S.S., Rozuvaeva M.N., Gol'dfajn V.N. Titanovye splavy v mashinostroenii // L.: Metallurgiya, 1977. 248 s.
8. Ravin A.A. EHksperimental'nye issledovaniya korrozii sudovykh truboprovodov v morskoy vode // *Morskie intellektual'nye tekhnologii*. 2012. № 1. S. 25-28.
9. Gordienko P.S., Tyrin V.I., Gudovceva V.O. i dr. Vosstanovlenie zashchitnykh svojstv pokrytij na splavah titana metodom mikrodogovogo oksidirovaniya Tez. dokl. Vsesoyuzn. konf. «Problemy korrozii i zashchity splavov i konstrukcij v morskoy vode», 18-20 sentyabrya 1991. Vladivostok. 1991. S. 120.
10. RD5R.95066-90 Termicheskoe oksidirovanie (antifrikcionnoe i zashchitnoe) detalej iz splavov ti-pa PT-3V. Tipovoj tekhnologicheskij process (posl. Izm. № 1 ot 29.12.1998).
11. Lavrushin G.A., Gnedenkov S.V., Gordienko P.S., Sinebryukhov S.L. Cyclic strength of titanium alloys, anodized under micro-arc conditions, in sea water. *Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces*. 2002. Vol. 38. N. 4. P. 363-365.
12. Gnedenkov S.V. Sinebryuhov S.L. Sergienko V.I. Kompozicionnye mnogofunkcional'nye pokrytiya na metallah i splavah, formiruemye plazmennym ehlektroliticheskim oksidirovaniem Vladivostok: Dal'nauka, 2013. 460 s.
13. Minaev A.N., Gnedenkov S.V., Sinebryukhov S.L., et al. Functional plasma electrolytic oxidation coatings for offshore structures. *Proceedings of the Twenty-fourth (2014) International Ocean and Polar Engineering Conference, Busan, Korea, June 15-20. 2014. P. 418-422.*
14. Stojadinović S., Vasilić R., Petković M., et al. Characterization of the plasma electrolytic oxidation of titanium in sodium metasilicate. *Applied Surface Science*. 2013. Vol. 265. P. 226-233.
15. Gnedenkov S.V., Sinebryukhov S.L., Mashtalyar D.V., et al. Features of the corrosion processes development at the magnesium alloys surface. *Surface & Coatings Technology*. 2013. Vol. 225. P. 112-118.
16. Minaev A.N., Gnedenkov A.S. Gnedenkov S.V. i dr. Mnogofunkcional'nye zashchitnye pokrytiya dlya sudovogo ehnergeticheskogo oborudovaniya Morskie intellektual'nye tekhnologii. 2013. № 1 (spec-vypusk). S. 49-55.

-
17. Aliasghari S., Skeldon P., Thompson G.E. Plasma electrolytic oxidation of titanium in a phosphate/silicate electrolyte and tribological performance of the coatings. *Applied Surface Science*. 2014. Vol. 316. P. 463-476.
 18. Hrisanfova O.A., Volkova L.M., Gnedenkova S.V. i dr. Sintez plenok himicheskikh soedinenij na ti-tane v usloviyah mikroplazmennyykh razryadov. *Zhurnal neorganicheskoy khimii*. 1995. T. 40. № 4. S. 558-562.
 19. Gnedenkova S.V., Hrisanfova O.A., Zavidnaya A.G. Plazmennoe ehlektroliticheskoe oksidirovanie metallov i splavov v tartratsoderzhashchih rastvorah. Vladivostok: Dal'nauka. 2008. 165 s.

Судовые энергетические установки и их элементы (главные и вспомогательные)

УДК 621.892.096

АНАЛИЗ КИНЕТИЧЕСКИХ КРИВЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ КОРРЕЛЯЦИИ ДАННЫХ ТРИБОМОНИТОРИНГА СУДОВЫХ ДИЗЕЛЕЙ

Даничкин Виталий Николаевич

кандидат технических наук, доцент
доцент Морского государственного университета им. адм. Г.И. Невельского
690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, д.50 – а
тел.: (423) 251-52-26; e-mail: Danichkin@msun.ru

Голенищев Андрей Владимирович

старший научный сотрудник
Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского
690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, д.50 – а
тел.: (423) 251-52-26

Аннотация

В работе выполнен корреляционный анализ данных трибомониторинга деталей цилиндропоршневой группы (ЦПГ) судовых кривокопфных дизелей. Показано, что тесная корреляционная взаимосвязь между концентрацией продуктов износа в отработанном цилиндровом масле (ОЦМ) и наработкой деталей возникает тогда, когда вырабатывается их ресурс. Выявлено, что определяющей деталью, оказывающей влияние на результаты трибомониторинга, является техническое состояние поршневых колец. Разработана методика скользящей интервальной оценки коэффициентов корреляции, позволяющая исследовать тренды взаимозависимости концентрации продуктов износа в ОЦМ и наработкой деталей ЦПГ судовых кривокопфных дизелей. Показано, что техническое состояние поршневых колец в первую очередь определяет содержание продуктов износа в пробах масла подпоршневых полостей. Даны практические рекомендации по распознаванию технического состояния деталей ЦПГ судовых кривокопфных дизелей.

Ключевые слова: судовые кривокопфные дизели, трибомониторинг, изнашивание, отработанное цилиндрическое масло, диагностика, ресурс

ANALYSIS OF THE KINETIC CURVES OF COEFFICIENT OF CORRELATION DATA TRIBOMETER MARINE DIESEL ENGINES

Danichkin Vitali Nikolaevich

Associate professor, Cand. Sci. Tech.
Associate professor of Maritime state university named Admiral Nevelskoi
50 – a, Verkhneportovaya st., 690059, Vladivostok, Russia
tel.: (423) 251-52-26; e-mail: Danichkin@msun.ru

Golenishev Andrei Vladimirovich

Senior research scientist
Maritime state university named Admiral Nevelskoi
50 – a, Verkhneportovaya st., 690059, Vladivostok, Russia
tel.: (423) 251-52-26

Abstract

In the work we performed correlation analysis of data tribometer parts of the cylinder group (CPG) marine crosshead diesel engines. It is shown that a close correlation between the concentration of wear debris in drain cylinder oil (GCMS) and mean time between parts occurs when produced their resource. It is revealed that the defining detail that influence the results of tribometer, is the technical condition of

the piston rings. The developed method of the moving interval estimates of correlation coefficients allowing to study the trends of interdependence concentration of wear debris in GCMS and work details CPG marine crosshead diesel engines. It is shown that the technical condition of piston rings primarily determines the content of wear in samples of GCMS. Practical recommendations on the recognition of their technical condition details CPG marine crosshead diesel engines.

Key words: marine crosshead diesel engines, tribometer, wear, drain cylinder oil, diagnostics, resource

1. Введение

Трибодиагностика и трибомониторинг приобретает все более важное значение для обеспечения долговечной и безопасной эксплуатации судовых дизелей. Проба масла, взятая из работающего двигателя, несет в себе комплексную информацию о состоянии его трибосопряжений. Суть метода заключается в том, что при работе механизма в его систему смазки поступают продукты износа, тождественные по химическому составу конструкционным материалам деталей трения и, следовательно, несущие определенную информацию об интенсивности их изнашивания. Определив в смазочном масле концентрацию характерных химических элементов, входящих в состав трущихся сопряжений, можно осуществить оценку интенсивности изнашивания узлов и деталей двигателя [1].

Подача масла на зеркало цилиндровой втулки судовых крейцкопфных малооборотных дизелей (МОД) осуществляется исключительно с помощью лубрикаторных систем смазки, а отработанное цилиндрическое масло (ОЦМ) затем накапливается в подпоршневых полостях. Масло в этой системе одноразового использования. Попадая через специальные устройства на зеркало цилиндровой втулки после выполнения своих функций – смазывания деталей цилиндро-поршневой группы (ЦПГ) и нейтрализации кислых продуктов сгорания топлива, оно стекает в подпоршневые полости и в дальнейшем утилизируется.

Находящиеся в ОЦМ металлы – продукты износа деталей дизеля являются в задаче трибомониторинга и трибодиагностики диагностическими параметрами, которые отражают состояние структурных параметров дизеля, а именно величины зазоров в его трибосопряжениях и условия их смазывания.

Обобщая данные о применяемых для изготовления деталей ЦПГ крейцкопфных МОД конструкционных материалах, следует отметить, что у цилиндрических втулок их спектр наиболее широк.

В отечественной промышленности (Брянский машиностроительный завод) для изготовления цилиндрических втулок применяется чугун PVA, иностранными фирмами – чугун Compacted Vermicular (CV) и чугун Tarkalloy. Анализируя химический состав этих типов чугуна, можно сделать вывод, что он практически одинаков. Разница заключается в структуре металла, которая оказывает влияние на износостойкость цилиндрических втулок.

Основным элементом-индикатором износа цилиндрических втулок, поршней и поршневых колец

является железо. Наибольшая доля железа как продуктов износа перечисленных деталей падает на втулки, головки поршней и поршневые кольца. Следовательно, концентрация железа в ОЦМ будет являться обобщенным параметром оценки износа перечисленных деталей ЦПГ [2]. Используя методологию теории статистических решений [2] можно определить количественное значение величины концентрации железа в ОЦМ, соответствующего переходу объекта диагностирования – деталей ЦПГ судового крейцкопфного МОД из области исправного состояния в область неисправного состояния.

Прогнозирование остаточного ресурса деталей ЦПГ крейцкопфных МОД является логическим продолжением задачи оценки их технического состояния по результатам трибомониторинга, поскольку именно по результатам прогноза может приниматься решение о виде и периодичности технического обслуживания. Традиционно установившийся износ трущихся деталей дизеля оценивают как функцию от времени их работы [3]. Исследуем возможности трибомониторинга для прогнозирования остаточного ресурса деталей ЦПГ крейцкопфных МОД. Для этого необходимо оценить статистическую взаимосвязь между концентрацией продуктов износа в ОЦМ и наработкой деталей ЦПГ крейцкопфного дизеля.

2. Материалы и методы

В различных приложениях статистического анализа многомерных величин одну из ключевых позиций занимают задачи корреляционного анализа [4]. В процессе решения этих задач выявляется наличие и характер взаимосвязи величин и взаимозависимости величин при устранении влияния совокупности других или зависимости одной случайной величины от группы величин, вычисляются оценки коэффициентов и матриц парной, частной и множественной корреляции, проверяются различные статистические гипотезы относительно параметров многомерного распределения и коэффициентов корреляции. На основании результатов корреляционного анализа может делаться вывод о наличии и характере функциональной зависимости или о предпочтительности для описания исследуемого объекта регрессионной модели того или иного вида.

В испытательную лабораторию «Химмотология» с судов Дальневосточного бассейна регу-

лярно сдавались пробы ОЦМ из подпоршневых полостей крещцопфных МОД. Обязательным требованием было указание наработки всех деталей, а также наработки цилиндра после мотористки. Эти требования не всегда и не во всем соблюдались, тем не менее, была получена значительная экспериментальная выборка. Из неё были выбраны результаты только для двигателей 6ДКРН74/160 ($P_e = 8530$ кВт, $n = 140$ мин⁻¹), так как по ним выборка оказалась наиболее репрезентативной и включала в себя 348 анализа с полной информацией о наработке деталей.

Корреляционный анализ полученных экспериментальных данных предполагал статистическую их обработку с целью определения парных (частных) коэффициентов корреляции для характеристики тесноты зависимости между двумя переменными соответственно на фоне действия всех остальных показателей.

Исследовалась корреляционная зависимость между следующими переменными:

- концентрации Fe c^{Fe} в ОЦМ и наработкой цилиндра после мотористки $\tau_{ЦМ}$ с учетом времени работы втулки $\tau_{ЦВ}$;

- c^{Fe} в ОЦМ и $\tau_{ЦВ}$ с учетом $\tau_{ЦМ}$;

- c^{Fe} в ОЦМ и наработкой поршня τ_n с учетом $\tau_{ЦМ}$.

Расчет парных коэффициентов корреляции R_{xy} вели по формуле Пирсона [4]

$$R_{xy} = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 \sum (y_i - \bar{y})^2}},$$

где x_i и \bar{x} – соответственно текущая и средняя наработка исследуемой детали ЦПГ; y_i и \bar{y} – соответственно текущее и среднее содержание Fe в пробе ОЦМ.

В процессе корреляционного анализа гипотетическая связь между содержанием продуктов износа в ОЦМ и наработкой деталей оказалась слабо выраженной. Частные коэффициенты корреляции для отмеченных выше связей имели следующие значения:

$R_{ЦМ}^2 = 0,089$, где R^2 – квадрат коэффициента корреляции между c^{Fe} и $\tau_{ЦМ}$;

$R_{ЦВ}^2 = -0,032$, где R^2 – квадрат коэффициента корреляции между c^{Fe} и $\tau_{ЦВ}$;

$R_n^2 = -0,012$, где R^2 – квадрат коэффициента корреляции между c^{Fe} и τ_n .

Традиционно считается, что при $R < 0,5$ корреляционная связь слабо выражена, а в окрестностях нуля полностью отсутствует [2].

Однако анализ априорной информации [5] показывает, что при достижении предельных зазоров в трущихся сопряжениях и потере упругости поршневых колец наблюдается резкое увеличение концентрации продуктов износа в ОЦМ. Поэтому для детального исследования корреляционных связей между наработкой деталей ЦПГ и c^{Fe} в ОЦМ была разработана спе-

циальная методика скользящей интервальной оценки коэффициентов корреляции с целью выявления трендов между данными параметрами. Рассчитывались не просто частные коэффициенты корреляции, но и строились кинетические кривые по наработке деталей.

Метод скользящей интервальной оценки коэффициентов корреляции предусматривал разбиение всего диапазона наработки каждой детали на равные интервалы $\Delta\tau$. В качестве шага была выбрана традиционная в судовой практике интервальная оценка за 1 тыс. ч работы. Совместная генеральная совокупность пар наблюдений последовательно видоизменялась. Каждый раз из всего массива наблюдений формировалась новая ковариационная матрица, размер которой определялся вектором τ^i . Его вычисление осуществлялось для каждой детали ЦПГ индивидуально. Ниже дано выражение для расчета скользящего интервала наблюдений применительно к цилиндровой втулке (ЦВ)

$$\tau_{ЦВ}^i = \tau_{ЦВ}^{\max} - \sum_{i=1}^n \Delta\tau_i,$$

где $\tau_{ЦВ}^i$ – текущее значения вектора наработки ЦВ;

$\tau_{ЦВ}^{\max}$ – максимальная наработка ЦВ в массиве наблюдений; n – число интервалов, определяемое отношением $\tau_{ЦВ}^{\max} / \Delta\tau$. Для остальных деталей: головки поршня и комплекта поршневых колец, расчет скользящего интервала наблюдений осуществлялся аналогичным образом.

3. Результаты

Результаты расчетов скользящих интервальных коэффициентов корреляции представлены на рис. 1 – 3.

Анализ данных показывает, что тесная корреляционная взаимосвязь между концентрацией продуктов износа в ОЦМ и наработкой деталей возникает тогда, когда вырабатывается их ресурс. Причем определяющим здесь является состояние поршневых колец (ПК). При их хорошем техническом состоянии, даже если втулка и поршень имеют предельную наработку, корреляция между содержанием Fe в пробах масла подпоршневых полостей и ресурсными показателями деталей ЦПГ не наблюдается.

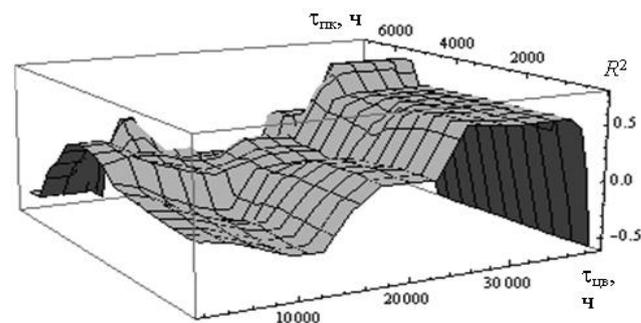


Рис. 1. Кинетические кривые коэффициентов корреляции

ляции времени работы цилиндра после моточистки и наработки цилиндровой втулки

Однако как только уплотняющий эффект поршневых колец снижается, появляется тесная корреляционная взаимосвязь между скоростью поступления в ОЦМ Fe и наработкой деталей. Она оказывается тем выше, чем больше наработка соответствующих деталей. Это хорошо иллюстрируют кинетические кривые коэффициентов корреляции. Так $R_{цв}^2$ имеет при наработке цилиндра после моточистки от 0 до 6 тыс. ч имеет очень низкие или даже отрицательные значения (рис. 2).

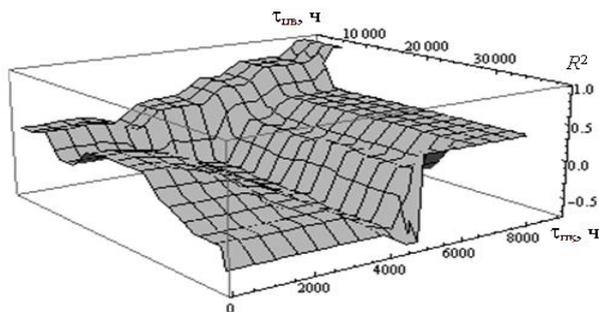


Рис. 2. Кинетические кривые коэффициентов корреляции наработки цилиндровой втулки и времени работы цилиндра после моточистки

Однако после выработки ресурса ПК (ориентировочно 6–7 тыс. ч) значение $R_{цв}^2$ резко возрастает до величины 0,5–0,6, указывая на наличие сильной корреляционной связи между c^{Fe} и $\tau_{цв}$. Аналогичную картину мы наблюдаем и для $R_{п}^2$ (рис. 3).

4. Обсуждение

Из изложенного выше следует, что результаты трибомониторинга деталей ЦПГ крейцкопфных МОД позволяют однозначно распознать техническое состояние объекта диагностирования. При достижении зазоров в парах трения, близких к предельным, корреляционная связь между c^{Fe} в ОЦМ и наработкой деталей резко возрастает.

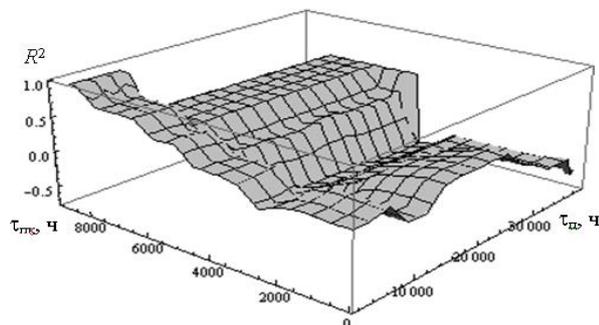


Рис. 3. Кинетические кривые коэффициентов корреляции наработки головки поршня и времени работы

цилиндра после моточистки

Однако использовать данные трибомониторинга для прогнозирования остаточного ресурса деталей ЦПГ не представляется возможным, так как в течение всего периода установившегося износа триад трения корреляционная взаимосвязь между c^{Fe} в ОЦМ и наработкой деталей отсутствует. Это объясняется тем, что в это время работы дизеля и нормального протекания процессов изнашивания в деталях ЦПГ скорость поступления Fe в ОЦМ остается практически неизменной. Здесь влияние на интенсивность изнашивания оказывают другие эксплуатационные факторы.

Кроме того, можно сделать заключение о том, что именно техническое состояние поршневых колец в первую очередь определяет содержание продуктов износа в пробах масла подпоршневых полостей. Высокое значение упругости поршневого кольца обеспечивает хорошее уплотнение камеры сгорания, препятствуя прорыву продуктов сгорания. Это обеспечивает хорошее удержание пленки масла на зеркале ЦВ и создает требуемый жидкостной режим трения.

5. Выводы

1. Выполнена статистическая обработка результатов трибомониторинга ЦПГ главных крейцкопфных двигателей модели 6ДКРН74/160. Получены описательная статистика выборки экспериментальных данных. Осуществлено распознавание технического состояния деталей ЦПГ дизелей 6ДКРН74/160 в пространстве диагностических признаков как функция от наработки деталей.

2. Выявлено, что техническое состояние поршневых колец определяет интенсивность поступления продуктов износа в ОЦМ. Даже при величине износа цилиндрических втулок и головок поршней близкого к предельному значению, если износ поршневых колец минимальный не достигается предельной концентрации содержания железа в ОЦМ.

3. Разработана методика скользящей интервальной оценки коэффициентов корреляции, позволяющая исследовать тренды взаимозависимости концентрации продуктов износа в ОЦМ и наработкой деталей ЦПГ крейцкопфных МОД. Выполненная оценка показала, что данные трибомониторинга в общем случае не позволяют прогнозировать остаточный ресурс триад трения, но с высоким уровнем достоверности распознают возникающие в трущихся деталях дефекты и отказы.

Литература

1. Кича, Г.П. Ресурсосберегающее маслоиспользование в судовых дизелях / Г.П. Кича, Б.Н. Перминов, А.В. Надежкин. – Владивосток: Изд-во Мор. гос. ун-та, 2011. – 372 с.
2. Надежкин, А.В. Обеспечение безопасной эксплуатации судовых крейцкопфных дизелей по ре-

- зультатам трибомониторинга / А.В. Надежкин. – Двигателестроение, 2011. – № 1. – С. 29–32.
3. Погодаев, Л.И. Структурно-энергетические модели надежности материалов и деталей машин /Л.И. Погодаев, В.Н. Кузьмин. – СПб: Академия транспорта Российской Федерации, 2006. – 608 с.
 4. Айвазян С.А., Мхитарян В.С. Прикладная статистика. Основы эконометрики (в 2-х т.).– М.: Юнити-Дана (проект TESIS), 2001. – Т. «1, 2».– 1088 с.
 5. Надежкин, А.В. Трибодиагностика цилиндро-поршневой группы крейцкопфного дизеля / А.В. Надежкин, В.Н. Даничкин // Актуальные проблемы развития и эксплуатации поршневых двигателей в транспортном комплексе Азиатско-Тихоокеанского региона: матер. межд. науч.-техн. конф. «Двигатели 2008». – Хабаровск: ТОГУ, 2008. – С. 308–312.

References

1. Kicha, G.P. Resursosberegayushchee masloispol'-zovanie v sudovyh dizelyah G.P. Kicha, B.N. Perminov, A.V. Nadezhkin. – Vladivostok: Izd-vo Mor. gos. un-ta, 2011. – 372 s.
2. Nadezhkin, A.V. Obespechenie bezopasnoj ehkspluatscii sudovyh krejckopfnyh dizelej po rezul'ta-tam tribomonitoringa A.V. Nadezhkin. – Dvigatelistroenie, 2011. – № 1. – S. 29–32.
3. Pogodaev, L.I. Strukturno-ehnergeticheskie modeli nadezhnosti materialov i detalej mashin /L.I. Pogodaev, V.N. Kuz'min. – SPb: Akademiya transporta Rossijskoj Federacii, 2006. – 608 s.
4. Ajvazyan S.A., Mhitaryan V.S. Prikladnaya statistika. Osnovy ehkonometriki (v 2-h t.).– M,: YUniti-Dana (proekt TESIS), 2001. – Т. «1, 2».– 1088 s.
5. Nadezhkin, A.V. Tribodiagnostika cilindro-porshnevoj gruppy krejckopfnogo dizelya / A.V. Nadezhkin, V.N. Danichkin Aktual'nye problemy razvitiya i ehkspluatscii porshnevyyh dvigatelej v transportnom komplekse Aziatsko-Tihookeanskogo regiona: mater. mezhd. nauch.-tekhn. konf. «Dviga-teli 2008». – Habarovsk: TOGU, 2008. – S. 308–312.

УДК 621.43.013:629.3

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА РЕГЕНЕРАЦИИ САМООЧИЩАЮЩИХСЯ ФИЛЬТРОВ, ФУНКЦИОНИРУЮЩИХ В СИСТЕМАХ СМАЗКИ СУДОВЫХ ДИЗЕЛЕЙ

Кича Геннадий Петрович

доктор технических наук, профессор
начальник кафедры Судовых двигателей внутреннего сгорания
Морской государственной университет им. адм. Г.И. Невельского
690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, д.50 – а
тел.: (423) 251-52-26; e-mail: kicha@msun.ru

Бойко Сергей Петрович

аспирант кафедры Судовых двигателей внутреннего сгорания
Морской государственной университет им. адм. Г.И. Невельского
690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, д.50 – а
тел.: (423) 251-52-26

Аннотация

Осуществлена идентификация процесса противоточной регенерации самоочищающихся фильтров при их использовании в системах смазки судовых дизелей. Создана модель процесса регенерации, позволяющая рассчитывать эффективность и периодичность обслуживания самоочищающегося фильтра в зависимости от интенсивности и продолжительности воздействия на осадок промывного потока, спецификации и регенерируемости фильтровальных материалов, особенностей конструкции фильтрующих элементов, блокировки пор отложениями, адгезионной активности отложений и их степени уплотнения. Обоснованы основные факторы, влияющие на коэффициент регенерации самоочищающихся фильтров. Показаны пути интенсификации удаления отложений с фильтрующих элементов при автоматизированной промывке этих маслоочистителей обратным потоком фильтруемой жидкости. Представлены зависимости для расчета коэффициента регенерации и прогнозирования срока работы фильтра между химическими чистками. Обработка результатов экспериментального моделирования дает возможность сформулировать практические рекомендации при разработке механизмов машинного отделения судна.

Ключевые слова: судовой дизель, смазка дизеля, система смазки, самоочищающийся фильтр

EXPERIMENTAL SIMULATION OF EFFECTIVE VALUE OF REGENERATIVE PROCESS IN SELF-CLEANING FILTERS OPERATING IN LUBRICANT SYSTEMS OF MARINE DIESEL ENGINES

Kicha Gennadij Petrovich

Professor, Dr. Sci. Tech.
Head of Ships internal combustion engines department
Maritime state university named Admiral Nevelskoi
50 – a, Verkhneportovaya st., 690059, Vladivostok, Russia
tel.: (423) 251-52-26; e-mail: kicha@msun.ru

Bojko Sergej Petrovich

Postgraduate student of Ships internal combustion engines department
Maritime state university named Admiral Nevelskoi
50 – a, Verkhneportovaya st., 690059, Vladivostok, Russia
tel.: (423) 251-52-26

Abstract

Identification of process of countercurrent flow in self-cleaning filters at their exploitation of greasing of marine diesel engines is carried out. A model of regeneration process has been developed which can calculate the effectiveness and maintenance interval of self-cleaning filter depending on the intensity and duration of washing flow effect on the residue, specification and recoverability of filtering materials,

structural features of filtering elements, pores blocking by deposits, adhesion activity of deposits and its packing degree. The fundamental factors are proved which effected coefficient of regeneration. The intensification pathways of removal of deposits from filtering elements are shown during automated washing of these oil cleaners with back streaming of filtered liquid. Dependences for calculation of coefficient of regeneration and forecasting of term of operation of the filters between chemical cleanings are presented. Processing of the results of experimental modeling makes it possible to formulate practical recommendations in the development of mechanisms for ship engine room.

Key words: self-cleaning filter, regeneration filter, purification of lube oil, diesel lube oil, lubricant system

В последние годы для эффективной полнопоточной очистки моторного масла (ММ) в мощных судовых дизелях широкое распространение получили самоочищающиеся фильтры (СОФ). Особенность функционирования этих маслоочистителей состоит в том, что восстановление их рабочих характеристик осуществляется периодической автоматизированной промывкой фильтрующих элементов (ФЭ) обратным потоком фильтруемой жидкости.

Эффективность этого процесса, называемого регенерацией, слабо изучена. Настала необходимость его исследования с позиций выявления факторов, влияющих на эффективность регенерации ФЭ. Необходима идентификация удаления отложений с ФЭ.

Цель проводимого экспериментального моделирования состояла в исследовании закономерностей процесса регенерации СОФ. Основные факторы, влияющие на этот процесс, были выявлены путем наблюдения и контроля за работой фильтров разного типа в судовых форсированных дизелях при очистке ММ широкого уровня эксплуатационных свойств.

Основным фактором, влияющим на эффективность противоточной регенерации СОФ и обуславливающим длительность его работы до химической чистки, является скорость промывного потока v_p . Как выявил отсеивающий эксперимент, на эффективность регенерации фильтра влияет не только v_p , но и вязкость промывной жидкости. При этом оказалось, что процесс регенерации неразрывно связан с процессом фильтрования, так как скорость v_f и вязкость фильтруемой среды основного потока воздействуют на закупорку пор фильтровальной сетки (ФС). В качестве первого фактора, формирующего накопление и смыв отложений на ФЭ соответственно при фильтровании и регенерации, выбран показатель Re_p/Re_f , равный отношению критериев Рейнольдса в этих процессах. В качестве определяющего размера при расчете критериев принят средний размер пор фильтровального материала (ФМ). Скорость (условная) промывного и фильтровального потоков определялась через отношение Q_f и Q_p их к поверхности ФЭ.

Кроме v_p , существенное влияние на процесс регенерации оказывает продолжительность промывки τ_p в каждом цикле регенерации. Так как коэффициент регенерации предопределен условиями фильтрования, то в качестве фактора, ха-

рактеризующего длительность воздействия промывного потока на отложения, принят показатель

$$\bar{\tau}_p = \frac{\tau_f c \varphi_f}{\tau_p}, \quad (1)$$

где τ_f , τ_p – продолжительность регенерации и фильтрования в каждом цикле очистки, с; c – концентрация загрязнителя в фильтруемом масле, %; φ_f – полнота его отсева, отн. ед.

Адгезионные и реологические свойства отложений на ФЭ в значительной мере зависят от их состава, наличия в них асфальтосмолистых и поверхностно активных веществ. В эксперименте использовались гомогенизированные отложения, накапливаемые в центробежных сепараторах (ЦС) при очистке ММ групп Б₂ – Д₂ (ГОСТ 17475.1-85). Предлагаемый показатель Φ_p характеризует удаляемость отложений при противоточной промывке ФЭ в стандартизированном цикле «фильтрование – регенерация» модельной установки СОФ, определяемый по отношению перепада давлений на ней при начале фильтрования и после регенерации [1].

В значительной мере на закупорку пор ФМ и эффективность промывного процесса СОФ влияет характеристика его поровой структуры и дисперсность загрязнителя. В качестве фактора, учитывающего формирование Φ_p при разной номинальной тонкости отсева $\Delta_{0,95}$ ФС и среднем размере m_d дисперсной фазы загрязнителя принято соотношение $\Delta_{0,95}/m_d$.

Критерий эффективности $K_\Phi = K_n m / d_y T_0 \varepsilon_\Delta$

тканых ФС зависит от коэффициентов проницаемости K_n , формы пор ε_Δ и пористости m фильтровального материала. Величина K_Φ формируется также диаметром d_y точной нити и шагом T_0 проволоки основы [1, 2].

Коэффициент живого сечения $f_{\Phi\Delta}$ опорного каркаса ФЭ характеризуется отношением площади отверстий (проходных каналов) к общей поверхности элемента. От его значений зависит не только гидравлические, но и регенерационные показатели элемента.

Для представления функции отклика (коэффициента регенерации) в форме показательного полинома (позинома) выше рассмотренные факторы кодировались по формуле

$$x_i = \frac{2(\ln x_i - \ln x_{i\max})}{\ln x_{i\max} - \ln x_{i\min}} + 1, \quad (2)$$

где x_i – кодовое значение i -го фактора; x_i – натуральное текущее его значение.

На основании априорной информации были выбраны уровни варьирования факторов. Значения натуральных уровней факторов и кодовых их значений представлены в табл. 1.

Эксперимент проводился на модельной установке СОФ, имитирующих работу самоочищающихся фильтров типа СРФ и СОФД [2, 3] с непрерывным и периодическим режимом противоточной регенерации. Очистке (фильтрованию) подвергалось ММ, подогретое до температуры, обеспечивающей его вязкость 40–50 сСт. Масло загрязнялось гомогенизированными продуктами его старения в виде отложений ЦС, взятых из систем смазки эксплуатируемых на судах дизелей. Автоматизированную промывку (регенерацию) загрязненных ФЭ осуществляли чистым маслом.

С целью ускорения испытаний и интенсивной блокировки пор ФМ отложениями в естественный загрязнитель вводилась кварцевая пыль с удельной поверхностью 0,56 м²/г. Доля этой добавки составляла 10 %. Концентрация нерастворимых примесей в фильтруемом СОФ масле составляла 1–12 %. На каждой комбинации с различным сочетанием факторов осуществлялось не менее 10 циклов фильтрования и регенерации. Перепад давлений масла на ФЭ модельной установки в начале первого цикла фильтрования составлял 20±0,1 кПа. Регенерация осуществлялась автоматически при достижении перепада давлений 120±0,1 кПа.

Методика ускоренных испытаний СОФ на модельной установке предусматривала накопление и контроль на ее ФЭ остаточных загрязнений, не удаляемых при противоточной регенерации. Остаточные явления при искусственном загрязнении характерны для 3 тыс. ч работы фильтра в судовых условиях его эксплуатации в составе комбинированного маслоочистительного комплекса ДВС [1].

Таблица 1

Основные факторы при исследовании процесса регенерации СОФ

Фактор	Обозначение	Уровень		
		-1	0	+1
Гидродинамический режим регенерации	$\frac{Re_p}{Re_\phi}$	1	3,87	15
Продолжительность процесса «фильтрование – регенерация»	$\bar{\tau}_p$	10 ⁻³	0,0447	2
Удаляемость (адгезионная активность) загрязнителя	Φ_p	0,2	0,447	1
Степень дисперсности загрязнителя	$\frac{\Delta_{0,95}}{m_d}$	10	24,5	60

Критерий эффективности ФС	K_ϕ	0,2	0,447	1
Коэффициент «живого сечения» ФЭ	$f_{\phi\bar{\epsilon}}$	0,3	0,520	0,9

Суммарный коэффициент регенерации $\phi_{p\Sigma}$ СОФ для этого периода работы маслоочистителя (10 циклов) определялся через отношение разницы перепадов давлений на фильтре до и после последнего цикла регенерации к разнице перепадов на первом цикле фильтрования

$$\phi_{p\Sigma} = \frac{\Delta p_p - \Delta p_{\phi\Sigma}}{\Delta p_p - \Delta p_{\phi 0}}, \quad (3)$$

где $\Delta p_{\phi 0}$, Δp_p – перепад давлений на фильтре в первом цикле (в начале фильтрования и при включении в действие механизма регенерации); $\Delta p_{\phi\Sigma}$ – перепад давлений на ФЭ после последнего цикла регенерации.

Если допустить, что на каждом цикле самоочистки коэффициент регенерации ϕ_p постоянен, то его среднюю величину через суммарное значение $\phi_{p\Sigma}$ за n регенерацией можно рассчитать по выражению

$$\phi_p = \phi_{p\Sigma}^{1/n}. \quad (4)$$

Непосредственное определение ϕ_p на каждом цикле регенерации из-за его значений, близких к 1, затруднительно и возможно с большой погрешностью. Остаточные явления на фильтре из-за частично неудаляемых при его регенерации отложений на ФЭ вызывают рост перепада давлений. Поэтому к концу этапа испытаний перепад давления на фильтре после последней его регенерации составляет

$$\Delta p_{\phi\Sigma} = \Delta p_p (1 - \phi_{p\Sigma}) + \Delta p_{\phi 0} \phi_{p\Sigma}. \quad (5)$$

Если допустимое повышение перепада давление на фильтре, прошедшем регенерацию, принять равным $\Delta p_{\phi d}$, то число $n_{x,ч}$ циклов «фильтрование – регенерация», при достижении которых необходима химическая чистка ФЭ, определится соотношением

$$n_{x,ч} = \frac{\ln \phi_{p d}}{\ln \phi_p} = \frac{\ln \left(\frac{\Delta p_p - \Delta p_{\phi d}}{\Delta p_p - \Delta p_{\phi 0}} \right)}{\ln \phi_p}, \quad (6)$$

где $\phi_{p d}$ – допустимый суммарный коэффициент регенерации СОФ, характерный для рассматриваемых конструкций и условий ускоренных испытаний автоматизированного маслоочистителя.

Распространение результатов лабораторных испытаний на судовые условия работы СОФ при очистке ММ в дизелях позволяет рассчитать период необслуживаемой работы автоматизированного фильтра по формуле

$$T_{x,ч} = 3000 \mu_{\text{СОФ}} \frac{\ln \phi_{p d}}{\ln \phi_{p\Sigma}}, \quad (7)$$

где $T_{x,ч}$ – периодичность работы маслоочистителя между освидетельствованиями и химическими чистками; $\mu_{СОФ} = 0,7-1,5$ – коэффициент масштабирования результатов моделирования на условия работы СОФ на судах в смазочных системах ДВС.

Анализ процесса регенерации СОФ по результатам наблюдений за эффективностью их работы в эксплуатации на судах показал, что достаточной для практических целей он может быть описан линейной моделью [1]. Для определения коэффициентов полинома был поставлен эксперимент (табл. 2) по плану 2^{6-3} , заданный генерирующими соотношениями: $x_4 = x_1x_2$, $x_5 = x_2x_3$, $x_6 = x_1x_2x_3$. Сообщающим определяющим контрастом было $1 = x_1x_2x_4 = x_2x_3x_5 = x_1x_2x_3x_6$.

С целью повышения точности аппроксимации зависимости $\varphi_{p\Sigma}(X_i)$ по экспериментальным данным ввели новую функцию отклика α_p , численные значения которой при моделировании изменялись в более широком диапазоне. Связь ее с коэффициентом регенерации подтверждена специальными испытаниями [1] и может быть аппроксимирована следующей функцией

$$\varphi_{p\Sigma} = 1 - \exp(-\alpha_{p\Sigma}). \quad (8)$$

Эксперимент осуществлялся при фиксировании функции отклика $\alpha_{p\Sigma}$ по выражению

$$\alpha_{p\Sigma} = -\ln(1 - \varphi_{p\Sigma}). \quad (9)$$

Предлагаемая матрица планирования и результаты опытов с оценкой экспериментального значения $\alpha_{p\Sigma}$ для каждого варианта сочетания факторов позволили по методике [4] получить значение b_i . При представлении факторов в кодированном выражении по формуле (2) уравнение регрессии для оценки y по показателю $\ln\alpha_{p\Sigma}$ имеет следующий вид

$$y = 0,2417 + 0,3114x_1 + 0,2817x_2 + 0,161x_3 + 0,0989x_4 - 0,2736x_5 - 0,2329x_6. \quad (10)$$

Статистическая проверка коэффициентов регрессии показала, что при 5 %-ном уровне значимости все коэффициенты весомы, так как их значения по абсолютной величине оказались больше доверительного интервала, определенного по пяти параллельным опытам в центре плана. Определенная по этим испытаниям дисперсия воспроизводимости s_y^2 равна 0,00253. При числе степеней свободы $f_1 = 4$ и 5 %-ном уровне значимости $t_\tau = 2,57$. Следовательно, доверительный интервал коэффициентов Δb_i соответствует

$$\begin{aligned} \Delta b_i &= \pm t_\tau s\{b_i\} = \pm 2,57 \sqrt{\frac{s_y^2}{N}} = \\ &= \pm 2,57 \sqrt{\frac{0,00253}{8}} = \pm 0,046. \end{aligned}$$

Дисперсию адекватности определяли через сумму квадратов отклонений экспериментальных и расчетных значений $\ln\alpha_p$ (см. табл. 2) по формуле

$$s_{ад}^2 = \frac{s_R}{N - (k + 1)} = \frac{0,056}{8 - (6 + 1)} = 0,056.$$

Адекватность уравнения (10) проверяли по критерию Фишера [4]:

$$F_p = \frac{s_{ад}^2}{s_y^2} = \frac{0,056}{0,00258} = 21,1.$$

Так $F_p < F_\tau = 224,6$, то при 5 %-ном уровне значимости и числах степеней свободы $f_1 = 4$ и $f_2 = 1$ линейная модель адекватна. Следовательно, зависимость α_p от исследуемых факторов процесса регенерирования СОФ с достаточной точностью можно идентифицировать уравнением (10).

Для перехода от кодированных значений факторов к натуральным в уравнении (10) представляем значение факторов в соответствии с выражением (2). После его преобразования и последующего потенцирования на основе связи (8) находим зависимость коэффициента регенерации от исследуемых факторов рассматриваемого процесса

$$\varphi_{p\Sigma} = 1 - \exp \left[-3 \frac{\left(\frac{Re_p}{Re_\phi} \right)^{0,23} \Phi_p^{0,35} K_\phi^{0,2} f_{\Phi\Delta}^{0,18}}{\bar{\tau}_p^{0,072} \left(\frac{\Delta_{0,95}}{m_d} \right)^{0,26}} \right]. \quad (11)$$

Иллюстрация зависимости $\varphi_{p\Sigma}(x_i)$ приведена на рис. 1 при трех уровнях рассматриваемых факторов в кодированном виде и изменении каждого из них в диапазоне варьирования. Наибольшее значение $\varphi_{p\Sigma}$ равнялось 0,9, наименьшее 0,4 соответственно при благоприятных и неблагоприятных сочетаниях факторов.

Из рис. 1, а также по коэффициентам b_i уравнения (10) видно, что наибольшее влияние на эффективность регенерации оказывает фактор Re_p/Re_ϕ , наименьшее $f_{\Phi\Delta}$.

Причем с повышением показателей $\bar{\tau}_p$ и $\Delta_{0,95}/m_d$ эффективность регенерации падает, что указывает на важность ограничения продолжительности фильтрования в каждом рабочем цикле СОФ и доказывает значимость соотношения $\Delta_{0,95}/m_d$ в блокировке (закупорке) пор ФМ. По влиянию на процесс регенерации они занимают соответственно второе и третье место в ранге рассматриваемых факторов.

Гидродинамический режим и продолжительность цикла регенерации ФЭ, обеспечивающие заданные техническими условиями СОФ показатели его работы, выбираются по равенству

$$Re_p \bar{\tau}_p^{0,3} = 0,2 Re_\phi \left(\tau_\phi \alpha_{\varphi_\phi} \right)^{0,3} \Phi_p^{-1,5} \left(\frac{\Delta_{0,95}}{m_d} \right)^{1,1} K_\phi^{-0,9} f_{\Phi\Delta}^{-0,8}. \quad (12)$$

Для тяжелых условий функционирования СОФ при $\Phi_p < 0,4$ предпочтительны системы с периодическим режимом работы регенерирующего устройства с интенсивностью $Re_p/Re_\phi > 10$. При отфильтровывании крупнодисперсной фазы загрязнений, легко удаляемых промывкой ($\Phi_p > 0,7$), рационально использовать СОФ, работающие в непрерывном режиме регенерации ФЭ с параметрами $Re_p/Re_\phi > 2$.

Моделирование процесса регенерации дает возможность на стадии проектирования СОФ разработать регенерирующееся устройство, позволяющее эффективно функционировать очистителю в самых тяжелых условиях маслоиспользования на судах. Полученные закономерности по процессу регенерации с некоторыми допущениями можно использовать и при оценке эффективности фильтров в системах топливоподготовки.

Таблица 2

Матрица планирования и результаты эксперимента по оценке эффективности регенерации СОФ

№ п/п	-	$\frac{Re_p}{Re_\phi}$ X_1	Φ_p X_2	K_ϕ X_3	$f_{\phi\alpha}$ X_4	$\frac{\tau_\phi C\phi_\phi}{\tau_p}$ X_5	$\frac{\Delta_{0,95}}{m_d}$ X_6	α_p	$\ln \alpha_p$	$\hat{\alpha}_p$	$\ln \hat{\alpha}_p$
1	+	-	-	-	+	+		0,69	-0,3711	0,6350	-0,4541
2	+	+	-	-	-	+	+	0,56	-0,5798	0,6096	-0,4949
3	+	-	+	-	-	-	+	1,08	0,0770	0,9928	-0,0072
4	+	+	+	-	+	-	-	3,30	1,1939	3,5941	1,2793
5	+	-	-	+	+	-	+	0,87	-0,1393	0,9504	-0,0508
6	+	+	-	+	-	-	-	2,52	0,9243	2,3166	0,8401
7	+	-	+	+	-	+	-	1,16	0,1484	1,2628	0,2333
8	+	+	+	+	+	+	+	1,96	0,6729	1,8005	0,5881
	b_0	b_1	b_2	b_3	b_4	b_5	b_6	$S_R = \sum_{j=1}^8 (\ln \alpha_{pi} - \ln \hat{\alpha}_{pj})^2 = 0,056$			
b_i	0,2417	0,3114	0,2817	0,1610	0,0989	-0,2736	-0,2329				

Исследование регенерации позволили предложить следующие пути гидродинамической интенсификации этого процесса (рис. 2). Наибольший эффект дает промывка ФЭ двухфазным потоком с применением специальных эмульсий с мощными жидкостями.

Турбулизация промывного потока рациональна почти во всех конструкциях СОФ, так как позволяет в качестве мощней использовать фильтруемую жидкость, что устраняет необходимость решать проблему их смешиваемости и упрощает схему регенерации.

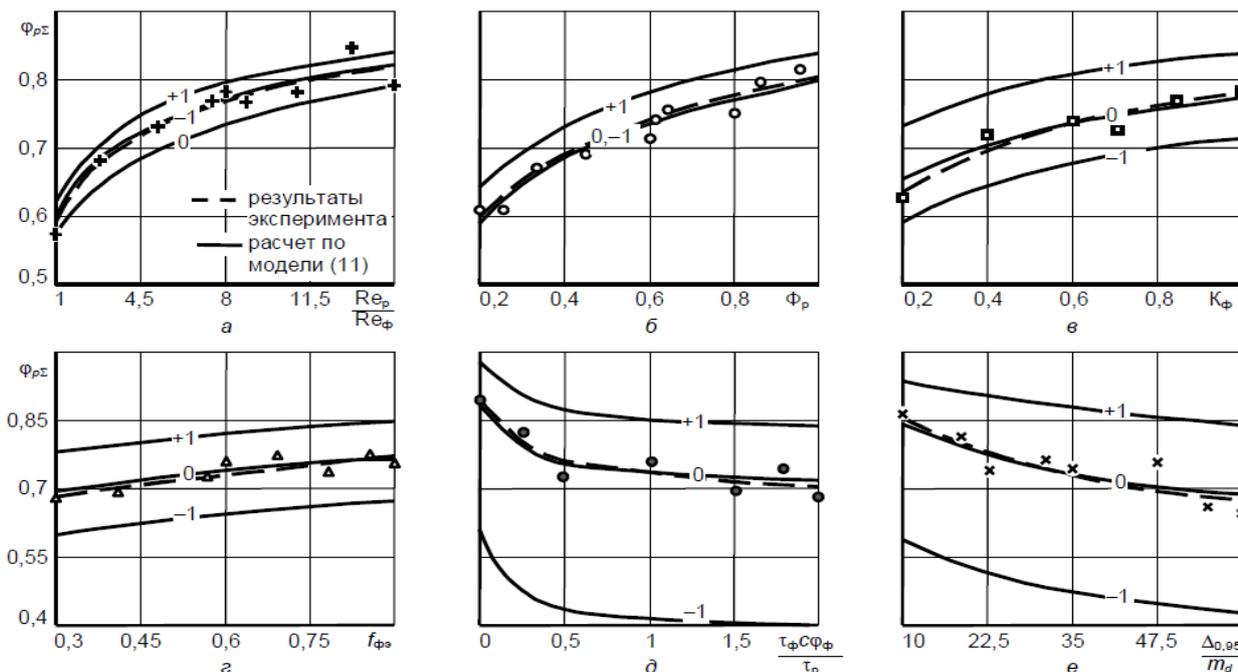


Рис. 1. Результаты моделирования и эксплуатационные данные по эффективности регенерации

Введение в промывной поток искусственной твердой фазы значительно повышает φ_p , но создает трудности в утилизации таких комплексов. Значительный прорыв в этом направлении получен за счет применения магнитных жидкостей на той же углеводородной основе, что и фильтруемый нефтепродукт. Придаваемое бегущим магнитным полем ускорение промывному по-

току значительно способствует разблокировке пор ФМ «критического» размера [1].

На рис. 2 показано какое развитие может получить каждое из направлений гидродинамического воздействия на промывной поток для эффективного удаления загрязнений с ФЭ. Конструктивная реализация приведенных предложений актуальна и решается на уровне изобретений [2, 3].



Рис. 2. Методы повышения эффективности регенерации СОФ

Поставлена задача дальнейшего совершенствования конструкций СОФ, что потребует нового подхода в решении проблемы автоматизированного разделения сложных дисперсных систем с приглашением специалистов не только в области химической технологии, но и занятых конструированием и эксплуатацией систем топливоподготовки и маслоочистки в судовых дизелях.

Выводы

На основе экспериментальных исследований разработана модель регенерации самоочищающихся фильтров смазочных систем судовых дизе-

лей, позволяющая рассчитывать эффективность и периодичность обслуживания автоматизированных маслоочистителей в зависимости от действия различных факторов.

Установлена зависимость коэффициента регенерации СОФ от интенсивности и продолжительности воздействия на осадок ФЭ промывного потока, специфики и регенерируемости применяемых фильтроматериалов, особенностей конструкции элементов, блокировки пор ФС дисперсной фазой, адгезионной активности и степени уплотнения отложений.

Литература

1. Создание самоочищающихся фильтров повышенной эффективности и автономности для систем смазки дизелей: Отчет о НИР / Дальневост. высш. инж. мор. уч-ще; Руководитель Г.П. Кича. ХДТ – 2/84ДС; № ГР 01840016833; Инв. № 02900033091. – Владивосток, 1989. 116 с.
2. Кича Г.П., Пак Н.К. Новые инженерные решения в конструкциях саморегенерирующихся фильтров для очистки топлив и смазочных материалов на судах // Морские интеллектуальные технологии. 2013. № 1. С. 90–94.
3. Таращан Н.Н., Галстян Г.Г. Разработка конструкции саморегенерирующегося фильтра и оценка его эффективности в смазочной системе судового дизеля // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. 2009. № 1. С. 236–239.
4. Спиридонов А.А. Планирование экспериментов при исследовании технологических процессов. – М.: Машиностроение, 1981. 184 с.

References

1. Sozдание samoochishchayushchihsya fill'trov povyshennoj ehffektivnosti i avtonomnosti dlya sistem smazki dizelej: Otchet o NIR Dal'nevost. vyssh. inzh. mor. uch-shche; Rukovoditel' G.P. Kicha. HDT – 2/84DS; № GR 01840016833; Inv. № 02900033091. – Vladivostok, 1989. 116 s.

2. Kicha G.P., Pak N.K. Novye inzhenernye resheniya v konstrukciyah samoregeneriruyushchihsya fil'trov dlya ochistki topliv i smazochnyh materialov na sudah Morskie intellektual'nye tekhnologii. 2013. № 1. S. 90–94.
3. Tarashchan N.N., Galstyan G.G. Razrabotka konstrukcii samoregeneriruyushchegosya fil'tra i ocenka ego ehf-efektivnosti v smazochnoj sisteme sudovogo dizelya Nauchnye problemy transporta Sibiri i Dal'nego Vostoka. 2009. № 1. S. 236–239.
4. Spiridonov A.A. Planirovanie ehksperimentov pri issledovanii tekhnologicheskikh processov. – M.: Mashinostroenie, 1981. 184 s.

УДК 621.892.096

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОСНОВНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СУДОВЫХ ДИСТИЛЛЯТНЫХ ТОПЛИВ НА ПРОТОВОИЗНОСНЫЕ СВОЙСТВА

Надежкин Андрей Вениаминович

доктор технических наук, профессор
профессор кафедры Судовых двигателей внутреннего сгорания
Морской государственной университет им. адм. Г.И. Невельского
690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, д.50 – а
тел.: (423) 251-52-26; e-mail: nadezkin@msun.ru

Лыу Куанг Хиеу

аспирант кафедры Судовых двигателей внутреннего сгорания
Морской государственной университет им. адм. Г.И. Невельского
690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, д.50 – а
тел.: (423) 251-52-26

Аннотация

В работе показано, что основной тенденцией для применяемых в судовых энергетических установках топлив в соответствии с требованиями конвенции является уменьшению содержания серы в бункерных топливах с целью улучшения их экологических характеристик. Установлено, что применение топлив с низким содержанием серы снижает ресурсные показатели топливной аппаратуры. На основе выполненного анализа выявлено, что для удовлетворения требований Конвенции МАРПОЛ 73/78 в зонах контроля выбросов следует использовать маловязкие дистиллятные топлива с низким содержанием серы. Для целей оценки их противоизносных свойств вполне применимо использование четырехшариковой машины трения (ЧШМ). Методами экспериментального моделирования установлены зависимости между основными показателями судовых дистиллятных топлив и их трибологическими свойствами. С увеличением содержания серы улучшаются смазывающие способности дизельных топлив, диаметр пятна износа (ДПИ) уменьшается, а при уменьшении вязкости топлива величина ДПИ возрастает. Однако её рост зависит от содержания серы в топливе и исходного значения вязкости.

Ключевые слова: судовые дистиллятные топлива, сера, вязкость, фракционный состав, износ, трение, смазывающая способность, топливная аппаратура, диаметр пятна износа

EXPERIMENTAL MODELING INFLUENCE MAIN INDICATORS ON THE LUBRICATION ABILITY OF MARINE DISTILLATE FUELS

Nadezkin Andrey Veniaminovich

Professor, Dr. Sci. Tech.
Professor of Ships internal combustion engines department
Maritime state university named Admiral Nevelskoi
50 – a, Verkhneportovaya st., 690059, Vladivostok, Russia
tel.: (423) 251-52-26; nadezkin@msun.ru

Luu Quang Hieu

Postgraduate student of Ships internal combustion engines department
Maritime state university named Admiral Nevelskoi
50 – a, Verkhneportovaya st., 690059, Vladivostok, Russia
tel.: (423) 251-52-26

Abstract

The paper shows that the main trend for used in ship power plants fuels in accordance with the requirements of the Convention, is to decrease the sulfur content of bunker fuel, in order to improve their environmental performance. It has been established that the use of fuels with low sulfur reduces fuel's equipment resource indices. On the basis executed analysis, it was found that to meet the requirements of MARPOL 73/78, in the areas of emission control it should use distillate fuels with low sulfur content and low viscosity. For the purpose of assessing their anti-wear properties is applicable to

use four-ball machine. Methods of experimental modeling of the dependencies between the main indicators of marine distillate fuels and their tribological properties. With increasing sulfur content improves the lubricity of diesel fuel, spot wear diameter (DPI) decreases, and with a decrease in the viscosity of the fuel value of PDI increases. However, its growth depends on the sulfur content of fuels and the initial value of viscosity.

Key words: marine distillate fuels, sulfur, viscosity, wear, friction, lubricity, fractional composition, fuel equipment, diameter spot wear

1. Введение

В настоящее время наблюдается тенденция к уменьшению содержания серы в бункерных топливах для судовых дизелей с целью улучшения их экологических характеристик. VI Приложение к конвенции МАРПОЛ 73/78, принятое в 2005 вводит жесткие ограничения на содержание серы в судовых топливах. Кроме этого, при заходе в Европейские порты с 01 января 2010 г. для всех судов необходимо использовать топливо с содержанием серы не более 0,1%. В соответствии с правилом 14.4 Приложения VI к конвенции МАРПОЛ 73/78 с 01.01.2015 зонах контроля за выбросами соединений серы SECA (SOx Emission Control Areas) содержание SOx в выпускных газах судовых энергетических установок (СЭУ) должно быть снижено в 10 раз.

Остаточные тяжелые топлива с содержанием серы до 0.1 % – вещь уникальная, встречаются редко, и рассчитывать на серьезные объемы производства такого продукта не приходится. Произвести высоковязкое тяжелое топливо с серой до 0.1 % из высокосернистого остаточного топлива воспользовавшись технологией гидроочистки дороже, чем произвести дистиллятное топливо (ДТ). Следовательно, из жидких топлив бункерный рынок в зонах SECA может рассчитывать только на ДТ с содержанием серы до 0.1 %.

Топлива в дизелях являются смазочным материалом для движущихся деталей топливной аппаратуры, трущихся пар плунжерных топливных насосов. Надежная работа дизеля во многом зависит от степени износа узлов и агрегатов топливной аппаратуры.

Многочисленные эксперименты и результаты эксплуатации двигателей с использованием малосернистых ДТ как в России так и за рубежом выявили высокую интенсивность изнашивания прецизионных пар топливных насосов высокого давления (ТНВД). Снижение содержания серы в топливе приводит к ухудшению противоизносных свойств топлив [1, 2, 3].

При эксплуатации дизелей на таких топливах происходит износ как плунжера, так и втулки ТНВД. Износ этих деталей приводит к увеличению зазоров в сопряжении и как следствие — к потере гидроплотности, снижению мощности судовых дизелей, перерасходу топлива вплоть до отказа топливной аппаратуры.

На рис. 1 представлены обобщенные литературные данные по влиянию на наработку топливных насосов высокого давления при использовании топлива с различным содержанием серы [1].

Однако при применении малосернистых судовых ДТ негативное влияние на ресурсные показатели топливной аппаратуры оказывает не только низкое содержание серы, но и низкая вязкость этих топлив.

В соответствии с требованием стандартов на судовые бункерные топлива ГОСТ Р 32510-2013, ISO 8217 нижний предел вязкости судовых ДТ составляет 1,4 сСт. При эксплуатации СЭУ температура в машинно-котельном отделении, особенно в тропических широтах можно достигать 50–55 °С. При этом температура самого ДТ имеет значение 60–65 °С. Поэтому их вязкость может оказаться значительно ниже 2 сСт. Компания MAN Diesel особо указывает на серьезные проблемы, которые могут возникать у ТНВД, если вязкость топлива окажется ниже 2 сСт [2]. Более того, она требует от судовладельцев принимать эффективные меры для предотвращения снижения вязкости судовых топлив ниже указанного предела.

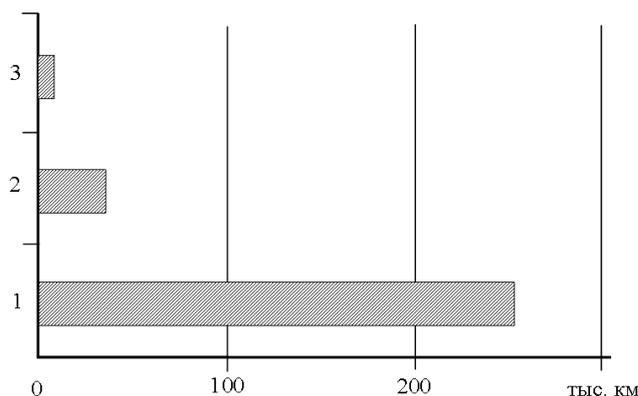


Рис. 1. Влияние содержания серы в топливе и наработку ТНВД

1 – содержание серы до 0.2 %; 2 – содержание серы до 0.005 %; 3 – содержание серы до 0.001 %

2. Цель работы

Целью данной работы является оценка влияния различных факторов на смазывающую способность низкосернистых судовых маловязких дистиллятных топлив.

3. Методы и материалы

За рубежом разработаны различные методы испытаний смазывающей способности дистиллятных топлив. Однако общепризнанным является метод определения смазывающей способности дистиллятных топлив High Frequency Reciprocating Rig (HFRR). Он получил свое отражение в Российском стандарте и ГОСТ ISO 12156-

12012. Согласно этой методике образец испытываемого топлива помещают в емкость, в которой поддерживается заданная температура (рис.2). Металлический шарик прочно закрепляют в вертикально расположенном держателе прижимают с приложением нагрузки к горизонтально укрепленной металлической пластине. Шарик совершает возвратно-поступательные движения с определенной частотой и длиной хода. Поверхность шарика, вступающая в контакт с пластиной, полностью погружена в топливо. Полученный в результате испытаний диаметр пятна износа является мерой смазывающей способности жидкости.

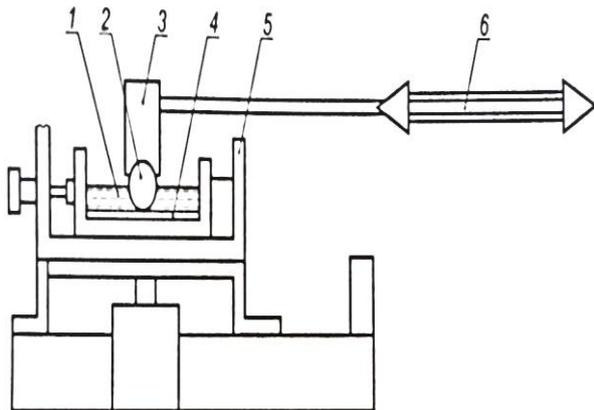


Рис. 2. Схема аппарата HFRR

1 - резервуар для топлива; 2- металлический шарик; 3- нагрузка; 4- металлическая пластина; 5- нагревательный элемент; 6- направление возвратно-поступательного движения.

Однако данная аппаратура является весьма дорогостоящей, а процедура испытания трудоемкой и длительной. Поэтому использование данной методики связано с большими затратами. В работах [3, 4] показано, что для цели оценки противоизносных ДТ вполне применимо использование четырехшариковой машины трения (ЧШМ). Испытание на ней регламентируется ГОСТ 9490-75: «Материалы смазочные жидкие и пластичные. Метод определения смазывающих свойств на четырехшариковой машине». Согласно этому методу показателем смазывающей способности являются: диаметр пятна износа (ДПИ), нагрузка сваривания, критическая нагрузка, индекс задир.

На рис. 3 приведены графики изменения величины ДПИ при испытании низкосернистых топлив по методу HFRR (ГОСТ Р ИСО 12156-1-2006) и на ЧШМ. Представленные данные убедительно показывает возможность использования ЧШМ для оценки противоизносных свойств судовых ДТ [4].

Узел трения в ЧШМ представляет собой пирамиду из четырех контактирующих друг с другом шариков (диаметром $12,70 \pm 0,01$ мм) изготовленных из стали ШХ-15 по ГОСТ 801-78. Три нижних

шарика закрепляют неподвижно в чашке машины с испытываемым нефтепродуктом.

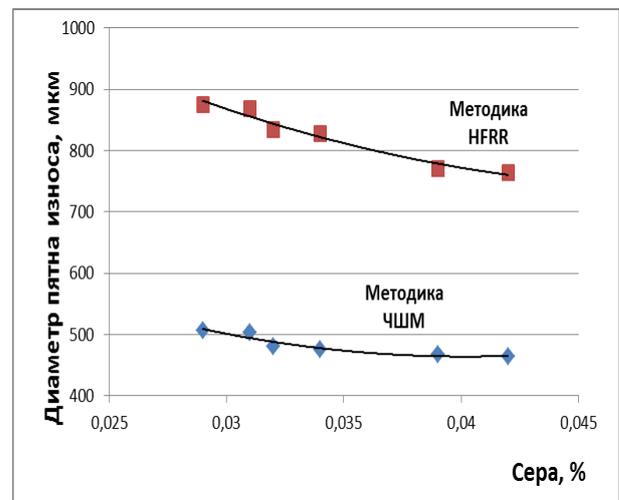


Рис. 3. Противоизносные свойства образцов дизельного топлива с различным содержанием серы

Верхний шарик, закрепленный в шпинделе машины, вращается относительно трех нижних под заданной нагрузкой (рис. 4).

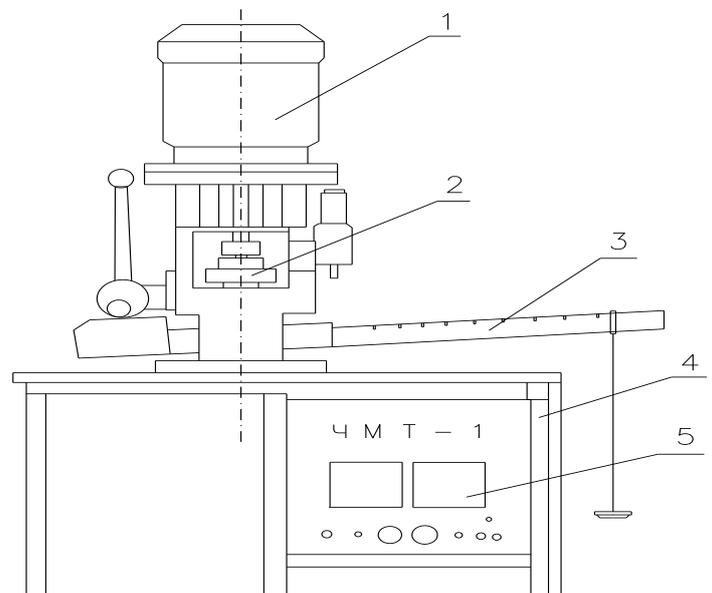


Рис.4. Общий вид ЧШМ

1-электродвигатель; 2-узел трения; 3-стальная плита; 4- стойка; 5-панель управления

Определение ДПИ дистиллятных топлив с помощью ЧШМ осуществлялось при приложенной нагрузке 16 кгс (157Н), временииспытания 60 мин-1, частота вращения верхнего шарика, 1460 ± 70 об/мин. Смазывающую способность определяем по среднему значению диаметров пятен

износа каждого из трех нижних шариков в направлении скольжения и перпендикулярно ему, измеренному на микроскопе МПБ-3 АФ3.852.046с 50-х кратным увеличением с точностью до 0,02мм. Поскольку в машинном отделении температура изменяется широким диапазоне исследование проводили для двух температурных режимов: 20±5 °С и 65 ±5 °С.

В испытаниях участвовали дистиллятные топлива содержание серы в которых, а также вязкость и фракционный состав варьировались в широком диапазоне, характерном для судовых бункерных топлив. Их основные показатели приведены в таблице 1.

4. Результаты

Для того чтобы выявить влияние вязкости в чистом виде на трибологические характеристики ДТ были выполнены испытания на ЧШМ на двух температурных режимов. Результаты этих испытаний приведены в таблице 2.

5. Обсуждение

На рисунке 5 представлены на трибологические характеристики дистиллятных топлив. Как следует из представленных данных, при увеличении содержания серы в топливе более 0,1-0,15% влияние содержания серы в ДТ на величину ДПИ практически отсутствует. С увеличением содержания серы с 0,019 до 0,426 улучшаются смазывающие способности дизельных топлив, диаметр пятна износа уменьшается на 18%. Этот факт объясняется тем, что на поверхности трущихся пар при контакте с топливом соединяется сера образуя граничный слой, который выполняет функцию смазочной пленки. При этом уменьшается сила трения и износ контактирующих деталей. Поэтому уменьшение содержания серы в ДТ отрицательно сказывается на его смазывающей способности.

Таблица 1

Физико-химические показатели ДТ

Номер пробы топлива	Физико-химические показатели				
	γ _{20°С} , сСт	γ _{65°С} , сСт	Сера, мас. %	Фракционный состав	
				50%	96%
1	3,33	1,6	0,019	262	340
2	1,83	1	0,049	188	280
3	5,14	2,3	0,22	220	343
4	5,16	2,3	0,327	268	347
5	5,64	2,4	0,426	271	350

Таблица 2
Диаметр пятна износа при различных температурных режимах

Номер пробы топлива	ДПИ при 20 °С, мкм	ДПИ при 65 °С, мкм	Увеличение ДПИ, %
1	568	589	3,7
2	522	572	9,6
3	443	489	10,4
4	439	476	8,4
5	433	483	11,5

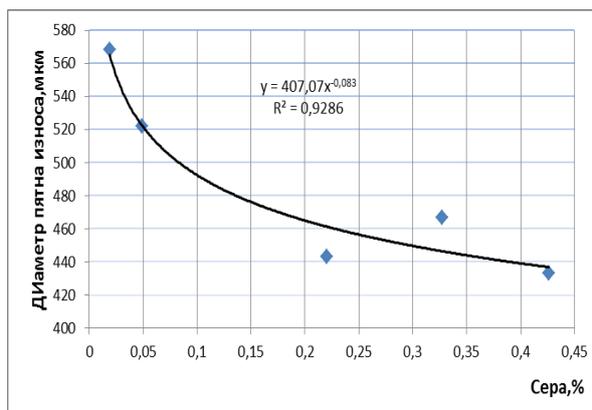


Рис. 5. Влияние содержания серы на величину диаметра пятна износа при 20 °С

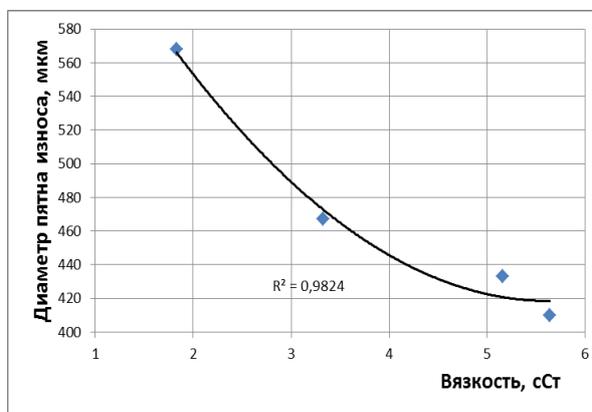


Рис. 6. Влияние вязкости на величину диаметра пятна износа при 20 °С

Оценка влияние вязкости на трибологические свойства показала, что при вязкости ДТ более 2 сСт при 20 °С увеличение величины ДПИ практически не наблюдается. Более высокие значения этого показателя, представленные на рис.4 для маловязких ДТ, обусловлены низким содержанием в них серы.

Как следует из представленных данных при увеличении температуры, а следовательно уменьшение вязкости топлива величина ДПИ

возрастает. Однако её рост зависит от содержания серы в топливе и исходной вязкости. Для маловязких низкосернистых топлив прирост ДПИ минимален и составляет всего 3,7 %. Для более высоких значений серы и вязкости влияние от температуры оказывается более значительным и составляет ориентировочно 10 %.

Выводы

1. Установлено, что в зонах контроля выбросов судовые дизели должны эксплуатироваться на маловязких низкосернистых топливах, что негативно сказывается на ресурсных показателях их топливной аппаратуры.

2. В результате проведенного экспериментального моделирования на ЧШМ установлено,

что смазывающая способность дизельных топлив зависит как от содержания серы, так и вязкости топлива.

3. Снижение содержания серы с 0,426 % до 0,019 % вызывает увеличение интенсивности изнашивания на 18 %, а при снижении вязкости ДТ ориентировочно в два раза величина ДПИ возрастает на 10 %.

4. Уменьшение содержания серы в топливе менее 0,1 % оказывает значительно большее влияние на величину ДПИ чем снижение вязкости топлива ниже 2 сСт.

Литература

1. Данилов А.М. О производстве дизельных топлив в соответствии с регламентом таможенного союза. Двигателестроение. 2012, №4, С.42-44.
2. Operation on low-sulphur fuel two-stroke engines. MAN B&W Diesel A/S. Copenhagen, Denmark. 2005. P. 14.
3. Митусова, Т.Н. Полина Е. В., Калинина М. В. Исследование противоизносных свойств дизельных топлив. Нефтепереработка и нефтехимия: НТИС. М.: ЦНИИТЭнефтехим, 1998. № 2. С. 20-22.
4. Баулин О.А. Рахимов М.Н. Улучшение смазывающей способности дизельного топлива с низким содержанием серы: Тез. докл. 55-й научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Уфа: УГНТУ, 2004. С.421.
5. Снижение смазывающей способности дизельного топлива в результате проведения процесса гидроочистки в жестком режиме. –М.: ЦНИИТЭнефтехим, сер. Переработка нефти и нефтехимия. 1993. №22, С. 17-22.
6. Крылов И.Ф., Емельянов В.Е., Никитина Е.А., Вижгородский Б.Н., Рудяк К.Б.. Малосернистые дизельные топлива: плюсы и минусы. Химия и технология топлив и масел. 2005. №6, С. 3-6.
7. Надежкин А. В., Лыу Куанг Хиеу. Анализ влияния низкосернистых топлив на надёжность работы топливной аппаратуры судовых дизелей. Вестник морского государственного университета. Сер. Судостроение и судоремонт. Владивосток : Мор. гос. ун-т, 2014. Вып. 64/2014.
8. Каминский Э. Ф., Пуринг М. Н., Хавкин В. А. и др. Состояние и перспективы развития производства экологически чистых дизельных топлив. (Тематический обзор). Сер. Переработка нефти и нефтехимия. М.: ЦНИИТЭнефтехим. 1995. №2, 97 с.
9. Спиркин В.Г, Бельдий О.М. Методика оценки противоизносных свойств дизельных топлив из газоконденсатного сырья. Нефтепереработка и нефтехимия. 2000. № 6, С. 21–25.

References

1. Danilov A.M. O proizvodstve dizel'nyh topliv v sootvetstvii s reglamentom tamozhennogo soyuza. Dvigatelistroenie. 2012, №4, S.42-44.
2. Operation on low-sulphur fuel two-stroke engines. MAN B&W Diesel A/S. Copenhagen, Denmark. 2005. P. 14.
3. Mitusova, T.N. Polina E. V., Kalinina M. V. Issledovanie protivoinosnyh svoystv dizel'nyh topliv. Neftepererabotka i neftekhimiya: NTIS. M.: CNIITEHneftekhimiya, 1998. № 2. S. 20-22.
4. Baulin O.A. Rahimov M.N. Uluchshenie smazyvayushchej sposobnosti dizel'nogo topliva s nizkim soderzhaniem sery: Tez. dokl. 55-j nauchno-tekhnicheskoj konferencii studentov, aspirantov i molodyh uchenyh. Ufa: UGNTU, 2004. S.421.
5. Snizhenie smazyvayushchej sposobnosti dizel'nogo topliva v rezul'tate provedeniya processa gidroochistki v zhestkom rezhime. –M.: CNIITEHneftekhimiya, ser. Pererabotka nefiti i neftekhimiya. 1993. №22, S. 17-22.
6. Krylov I.F., Emel'yanov V.E., Nikitina E.A., Vizhgorodskij B.N., Rudyak K.B.. Malosernistye dizel'nye topliva: plyusy i minusy. Himiya i tekhnologiya topliv i masel. 2005. №6, S. 3-6.

7. Nadezhkin A. V., Lyu Kuang Hieu. Analiz vliyaniya nizkosernistyh topliv na nadyozhnost' rabo-ty toplivnoj apparatury sudovyh dizelej. Vestnik morskogo gosudarstvennogo universite-ta.Ser. Sudostroenie i sudoremont. Vladivostok : Mor. gos. un-t, 2014. Vyp. 64/2014.
8. Kaminskij E.H. F., Puring M. N., Havkin V. A. i dr. Sostoyanie i perspektivyrazvitiya proizvodstva ehkologicheskii chistyh dizel'nyh topliv. (Tematicheskij obzor). Ser. Pererabotka nefti i neftekhimiya. M.: CNIITEHneftekhim. 1995. №2, 97 s.
9. Spirkin V.G, Bel'dij O.M. Metodika ocenki protivoznosnyh svojstv dizel'nyh topliv iz gazokondensatnogo syr'ya. Neftepererabotka i neftekhimiya. 2000. № 6, S. 21–25.

УДК 621.89.012.75

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ФАКТОРОВ НА РЕЖИМЫ ТРЕНИЯ И ИЗНАШИВАНИЯ В ПОДШИПНИКАХ СКОЛЬЖЕНИЯ СУДОВЫХ ДИЗЕЛЕЙ

Голенищев Андрей Владимирович

старший научный сотрудник
Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского
690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, д.50 – а
тел.: (423) 251-52-26

Надежкин Андрей Вениаминович

доктор технических наук, профессор
профессор кафедры Судовых двигателей внутреннего сгорания
Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского
690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, д.50 – а
тел.: (423) 251-52-26; e-mail: nadezkin@msun.ru

Старченко Михаил Евгеньевич

аспирант кафедры Судовых двигателей внутреннего сгорания
Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского
690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, д.50 – а
тел.: (423) 251-52-26

Аннотация

В данной работе выполнено исследование совокупного влияния уменьшения вязкости работающего моторного масла (РММ) и степени износа подшипников скольжения судовых двигателей внутреннего сгорания (СДВС), на условия образования режимов трения и видов изнашивания в трибоузле «шейка коленчатого вала – вкладыш подшипника». Посредством имитационного моделирования была выполнена оценка величины износа наиболее нагруженного подшипника скольжения, при которой, в сочетании с уменьшением вязкости РММ на 20%, наблюдался переход к граничному режиму трения. Так же, была рассчитана степень износа подшипника, для которой наблюдается начало перехода от гидродинамического к граничному режиму трения, при использовании свежего РММ. Для такой степени износа было проведено моделирование уменьшения вязкости РММ на 20% и 40%. Выполнена оценка возможности возникновения задир в трибоузле по критерию доли времени потери жидкостного режима трения при различной величине снижения вязкости. Установлено, что при уменьшении вязкости на 20%, начало перехода к граничному режиму трения, наблюдается уже при степени износа подшипника скольжения равной 48%. В то же время, для степени износа подшипника равной 75%, уменьшение вязкости РММ оказывает серьезное влияние на увеличение продолжительности зон граничной смазки. При этом снижение вязкости даже на 10% приводит к высокой вероятности возникновения задир. На основании полученных данных установлено, что необходим индивидуальный подход для назначения браковочных показателей вязкости РММ для новых и изношенных пар трения. Так, при небольшой величине износа, уменьшение вязкости РММ можно допускать до 30%. В то время, как для пар трения величина радиального зазора в которых превышает 70 % его предельного значения, не рекомендуется допускать снижение вязкости более чем на 10 %.

Ключевые слова: судовые дизели, подшипники скольжения, виды трения, износ, вязкость моторного масла, задир, масляный слой

MODELING THE INFLUENCE OF OPERATIONAL FACTORS ON THE MODES OF FRICTION AND WEAR IN THE BEARINGS OF MARINE DIESELS

Golenishev Andrei Vladimirovich

Senior research scientist
Maritime state university named Admiral Nevelskoi
50 – a, Verkhneportovaya st., 690059, Vladivostok, Russia
tel.: (423) 251-52-26

Nadezkin Andrey Veniaminovich

Professor, Dr. Sci. Tech.
Professor of Ships internal combustion engines
Maritime state university named Admiral Nevelskoi
50 – a, Verkhneportovaya st., 690059, Vladivostok, Russia
tel.: (423) 251-52-26; nadezkin@msun.ru

Starchenko Mihail Evgen'evich

Postgraduate student of Ships internal combustion engines
Maritime state university named Admiral Nevelskoi
50 – a, Verkhneportovaya st., 690059, Vladivostok, Russia
tel.: (423) 251-52-26

Abstract

The main task of the presented work was to analyze the joint effect of the degree of wear of the bearings and the decrease of viscosity of the engine oil on the conditions of formation of the regimes of friction and the types of wear in plain bearing. By imitating modeling we calculated the degree of wear in the most loaded plain bearing under which in combination with a decrease in the viscosity of the engine oil on 20%, we can observe a transition to the boundary friction regime. We also calculated the degree of wear (in the case of using of the fresh oil engine) which conducts to the transition from hydrodynamic to boundary friction regime. To calculate such degree of wear we modeled the reducing of the viscosity of engine oil on 20% and 40%. To analyze the possibility of the appearing of the scores in a bearing we calculated the length of time when the contact between the friction surfaces appears, according to the decrease of viscosity on 10%, 20%, 30% and 40%. We found out that in the case of the decrease of viscosity on 20 % the transition to the boundary friction regime starts when the degree of bearing wear is equal to 48%. In the same time if the degree of bearing wear is equal to 75%, the decrease of viscosity leads to the increase of the duration of the period when the bearing works in the boundary regime. Simultaneously the decrease of viscosity on 15 % leads to a high probability of occurrence of the scores. Based on obtained data we can make the conclusion about the necessity of an individual approach to assigning of the rejection factors of the degree of viscosity of engine oil for the new and worn friction pairs. Thus, in the case of a small degree of wear, the decreasing of viscosity of engine oil can be allowed to 30%. At that time, for the pair of friction with the radial gap more than 70% we recommend not to reduce the degree of viscosity for less than 10 %.

Key words: marine diesel, plain bearing, friction regime, oil viscosity, type of wear, scores, fluid film

1. Введение

В процессе эксплуатации двигателя, работающее моторное масло (РММ) претерпевает изменения, которые объединены биологическим термином старение [1]. Этот процесс сопровождается изменением физико-химических характеристик РММ судовых дизелей. Одним из таких показателей является вязкость РММ. Её роль во влиянии на надежность работы дизеля и его ресурсные показатели трудно переоценить. Она определяет режим трения и изнашивания в трущихся сопряжениях. При работе в системе смазки судового дизеля достаточно часто фиксируются случаи снижения вязкости, что негативно сказывается на работе пар трения двигателя. Уменьшение вязкости происходит из-за попадания топлива в РММ на неблагоприятных режимах эксплуатации или при неисправности топливной аппаратуры. А так же из-за ошибочного долива нового менее вязкого масла в работающее.

Снижение вязкости масла приводит к изменению траектории движения шейки вала в подшипнике скольжения, что вызывает уменьшение

минимальной толщины масляного слоя (h_{\min}). А при снижении ее меньше критического значения ($h_{\text{кр}}$), при котором происходит соприкосновение трущихся поверхностей, наблюдается нарушение гидродинамического жидкостного режима смазки тех сопряжений, которые рассчитаны на работу в таком режиме [1]. Одним из браковочных показателей масла является снижение его вязкости на 20 % по сравнению со свежим [2]. Установленные сборником инструкций по браковочным показателям РД 31.2.07-2001 [2] браковочные показатели для вязкости, являются давно устоявшимися и не учитывающими специфику работы и условий эксплуатации современных высокофорсированных судовых двигателей внутреннего сгорания (СДВС).

В то же время в процессе эксплуатации СДВС происходит изменение радиальных зазоров (Δ) в парах трения, вследствие их износа. Что в свою очередь влияет на изменение условий трения и изнашивания, которые можно оценить по критерию $\lambda = h_{\min}/h_{\text{кр}}$. Если $\lambda \geq 1.5$ имеет место гидродинамический жидкостный режим трения. Он характеризуется полным разделением тру-

щихся поверхностей масляным слоем. Когда значение коэффициента λ находится в диапазоне значений $1.5 < \lambda < 1$, реализуется смешанный режим трения, характеризуемый началом контактного взаимодействия трущихся поверхностей.

В случае, когда $\lambda < 1$, жидкостной режим трения нарушается и осуществляется граничный режим трения, при котором резко возрастает количество точек контактирования. Если $\lambda < 0.75$ появляются точечные очаги схватывания трущихся поверхностей, при $\lambda < 0.5$ – следует ожидать возникновения задира в подшипнике [3].

2. Цель и задачи

Целью данной работы является оценка влияния совместного воздействия различных эксплуатационных факторов на условия образования режимов трения и видов износа подшипниковых узлов СДВС.

3. Методы и материалы

Ниже приведена таблица с основными характеристиками СДВС, на основании которых производилось моделирование h_{min} .

Таблица 1

Основные характеристики СДВС 624TS

Наименование показателя	Числовые значения
Д цилиндра, м	0.24
Ход поршня, м	0.31
Частота вращения коленвала, мин ⁻¹	750
Количество цилиндров, шт.	6
Тактность	4-х тактный
Диаметр упорной/рамовой шейки, м	0.185
Ширина упорной/рамовой шейки, м	0.135/0.1
Установочный радиальный зазор, мкм	60–100
Предельный радиальный зазор, мкм	180
Критическая толщина масляного клина, мкм	4.8

Далее приведен метод расчета подшипников скольжения коленчатого вала.

Исходными данными для расчета подшипникового узла являются:

- конструктивные размеры;
- нагрузки на шейки коленчатого вала;
- теплофизические свойства смазки.

Уравнение Зоммерфельда (1) в соответствии с методикой [4] записывается в следующем виде:

$$\frac{1}{R_m^2} \frac{\partial^2 p}{\partial \varphi^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial z^2} - \frac{3}{R_m^2} F_1(\chi, \varphi) \frac{\partial p}{\partial \varphi} = -6\mu F_2(\chi, \varphi) \Omega + 12\mu F_3(\chi, \varphi) \frac{dx}{dt} \quad (1)$$

$$\text{где } F_1 = \frac{\chi \sin \varphi}{1 + \chi \cos \varphi}$$

$$F_2 = \frac{\chi \sin \varphi}{\Delta^2 (1 + \chi \cos \varphi)^3}$$

$$F_3 = \frac{\cos \varphi}{\Delta^2 (1 + \chi \cos \varphi)^3}$$

$\Delta = D_m - d_m$ – диаметральный зазор; $\chi = \frac{e}{\Delta}$ – относительный эксцентриситет;

γ – угол поворота системы координат; p – плотность смазки; μ – коэффициент динамической вязкости смазки; R_m – радиус подшипника; z – координатная ось; F – внешняя нагрузка; $\Omega = \omega_{np} - 2 \frac{d\gamma}{d\tau}$.

Общее решение ищется в виде:

$$p = p_{\Gamma} + p_B \quad (2)$$

где p_B – частное решение уравнения для вращательного движения вала в подшипнике:

$$\frac{1}{R_m^2} \frac{\partial^2 p}{\partial \varphi^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial z^2} - \frac{3}{R_m^2} F_1(\chi, \varphi) \frac{\partial p}{\partial \varphi} = -6\mu F_2(\chi, \varphi) (\omega_{np} - 2 \frac{d\gamma}{d\tau}) \quad (3)$$

с граничными условиями:

$$\left. \begin{aligned} p(\varphi, z = \pm L_m / 2) &= 0 \\ p(\varphi = 0, z) &= p(\varphi = \pi, z) = 0 \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

где L_m – ширина подшипника;

p_{Γ} – частное решение для поступательного движения вала:

$$\frac{1}{R_m^2} \frac{\partial^2 p}{\partial \varphi^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial z^2} - \frac{3}{R_m^2} F_1(\chi, \varphi) \frac{\partial p}{\partial \varphi} = 12\mu F_3(\chi, \varphi) \frac{dx}{dt} \quad (5)$$

с граничными условиями:

$$\left. \begin{aligned} p(\varphi, z = \pm L_m / 2) &= 0 \\ p(\varphi = \pi / 2, z) &= p(\varphi = 3\pi / 2, z) = 0 \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Уравнения 3 и 5 решаются методом конечных разностей [4].

По известным распределениям давлений в масляном слое находятся проекции на оси, обозначенные на рис. 1.

Из уравнения 7 по углу поворота вала и его относительному эксцентриситету рассчитывается траектория движения центра вала:

$$\left. \begin{aligned} \frac{d\chi}{dt} &= \frac{\psi^2}{S_n LD\mu} \left(\frac{F_v \sin \Theta_1 - F_w \cos \Theta_1}{\cos \Theta_2 \sin \Theta_1 - \cos \Theta_1 \sin \Theta_2} \right) \\ \frac{d\varphi}{dt} &= 0.5 \left(\omega_{np} - \frac{\psi^2}{S_g LD\mu} \frac{F_w \cos \Theta_1 - F_v \sin \Theta_1}{\cos \Theta_2 \sin \Theta_1 - \cos \Theta_1 \sin \Theta_2} \right) \end{aligned} \right\} (7)$$

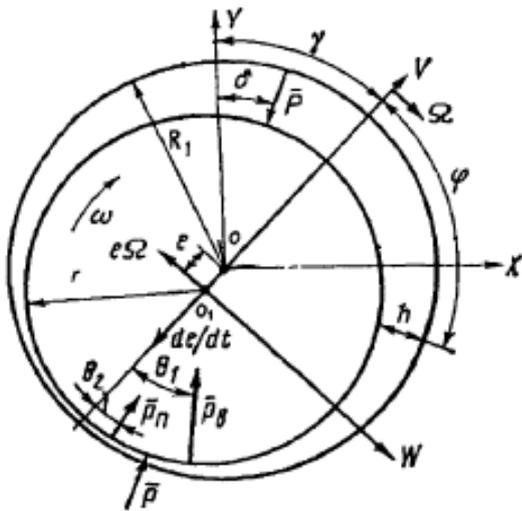


Рис. 1. Схема нестационарно нагруженного подшипника

В силу периодического характера процесса на установившихся режимах работы двигателя, интегрирование уравнений 7 должно выполняться при условии периодичности вида:

$$\left. \begin{aligned} \chi(0) &= \chi(t_n); \gamma(0) = \gamma(t_n); \\ \frac{d\chi}{dt}(0) &= \frac{d\chi}{dt}(t_n); \frac{d\gamma}{dt}(0) = \frac{d\gamma}{dt}(t_n) \end{aligned} \right\} (8)$$

где t_n – период процесса. Значение $h_{кр}$ для всех подшипниковых узлов рассчитывалось по формуле:

$$h_{кр} = Rz^s + Rz^{вкл} \quad (9)$$

где Rz^s – шероховатость поверхности вала; $Rz^{вкл}$ – шероховатость поверхности вкладыша.

4. Результаты

С помощью приведенной выше методики было рассчитано изменение h_{min} в подшипниках скольжения для СДВС 624TS компании Wartsila. Наиболее нагруженным подшипником оказался 5 рамовый. Для оценки влияния изменения вязкости на величину h_{min} , значение Δ было определено таким образом, чтобы выполнялось условие $h_{min} \approx h_{кр}$. Моделирование показало, что достижение данного условия выполняется при $\Delta=150$ мкм.

Далее при неизменности остальных параметров проводилось моделирование уменьшения вязкости на 20 % и 40 % (рис. 2).

Важным показателем работоспособности подшипников скольжения является их работа без образования задиров. Существует предельная продолжительность зоны граничного трения в трибоузле «шейка коленчатого вала – вкладыш подшипника» при превышении, которой происходит задир. Определить вероятность возникновения задир, а следовательно предел работоспособности пары трения можно через отношение продолжительности времени (угла) наличия граничного режима трения в подшипниковых узлах ко времени полного цикла работы СДВС. Этот параметр ξ получил название предельной доли контакта. При превышении его величины значения (10 – 15) % вероятность задир очень высока [4]. Проведенное численное моделирование по изложенной выше методике для различных значений вязкости (10, 20, 30 и 40 %) позволило определить величину ξ , и оценить вероятность возникновения задир (рис. 3).

Посредством имитационного моделирования была рассчитана величина степени износа 5 рамового подшипника, при которой в сочетании с 20 % уменьшением вязкости начинается переход к граничному режиму трения (рис. 4). Значение данного показателя для исследуемого наиболее нагруженного трибоузла оказалась равной 48 % от предельного значения радиального зазора ($\Delta = 118$ мкм).

5. Обсуждение

На приведенном графике изменения минимальной толщины масляного слоя (рис. 4) четко видно, как при достижении вязкости РММ браковочного показателя, уже при 48 % износа от величины предельного значения радиального зазора, режим трения для участка 204–238° поворота коленчатого вала (п.к.в.) становится граничным. Это означает, что на этом участке будет преобладать усталостный вид износа, при котором резко интенсифицируется скорость изнашивания.

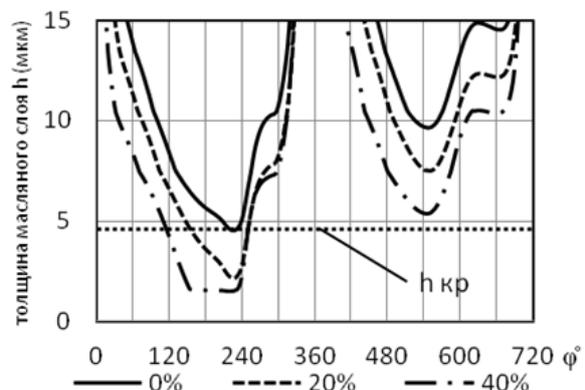


Рис. 2. Изменение h_{min} при 75% степени износа 5 рамового подшипника 624TS вследствие уменьшения вязкости

В момент достижения наиболее нагруженной парой трения уровня износа 75 % ($\Delta = 150$ мкм) (рис. 2), при условии, что вязкость РММ равна вязкости свежего масла, на участке 208–238 ° п.к.в. наблюдается переход к граничному режиму трения. Если уменьшение вязкости достигает 20 % от номинального (достижение браковочного показателя), зона режима граничного трения увеличивается до 100 ° п.к.в. (150–250 ° п.к.в.), так же, на этом участке, возникает вероятность появления задира.

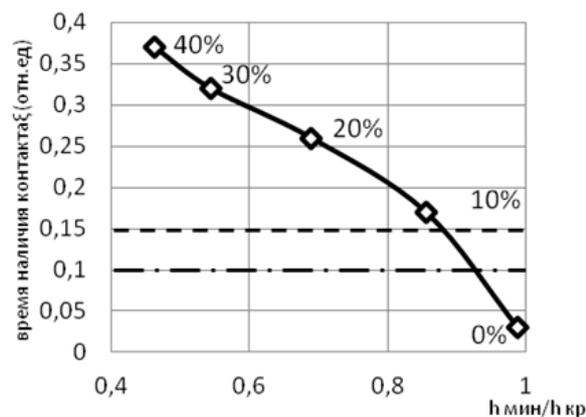


Рис. 3. Зависимость ξ при 75% степени износа подшипника от процента уменьшения вязкости РММ

При уменьшении вязкости на 40% от номинальной, зона граничного трения увеличивается до 140 ° п.к.в.. Вероятность возникновения задира для такой продолжительной зоны граничного трения весьма велика.

По данным представленным на рис. 3 можно сделать заключение о вероятности возникновения задира при достижении радиального зазора в подшипнике равного 75 % его предельного значения и различной степени уменьшения вязкости РММ. Как отмечено в работе [3], если величина ξ находится на интервале 0–0,1, то работа подшипника сопровождается образованием точечных очагов адгезионных мостиков сварки, а при

значении величины $\xi > 0,15$ возникает задира подшипника.

Таким образом, выход 5 рамового подшипника из строя при 75 % степени износа, возможен уже при уменьшении вязкости на 10 % от номинального уровня.

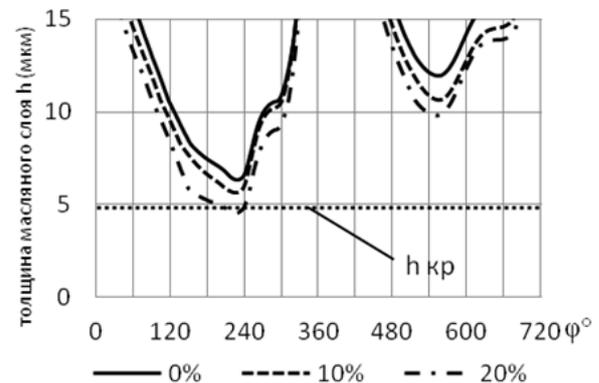


Рис. 4. Изменение минимальной h_{min} при 48% степени износа 5 рамового подшипника 624TS вследствие уменьшения вязкости

Выводы

1. В процессе эксплуатации, при увеличении зазоров в трибоузле «шейка коленчатого вала – вкладыш подшипника» возникает вероятность возникновения его задира даже в том случае, если снижение вязкости масла не достигает своего браковочного показателя.

2. В результате выполненного моделирования установлено, что необходим индивидуальный подход для назначения браковочных показателей вязкости РММ для новых и изношенных пар трения. При небольшой величине износа трибоузла «шейка коленчатого вала – вкладыш подшипника» уменьшение вязкости масла можно допускать более значительное, чем это предусматривает РД 31.2.07-2001, в плоть до 30%. В то время, как для пар трения радиальный зазор в которых превышает значение равное 70 % предельной величины, не рекомендуется допускать снижение вязкости РММ более чем на 10 %.

Литература

- Надежкин, А.В. Браковочные показатели и интерпретация полученных результатов анализа работающего масла судового дизеля [Текст]: Метод. указания / А.В. Надежкин, В.Н. Даничкин – Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2009. – 24 с.
- РД 31.2.07-2001 Топлива, масла, смазки и специальные жидкости для судов морского транспорта. Номенклатура и область применения. Приложение № 23. Браковочные показатели судовых моторных масел и методы их определения.
- Старченко, М.Е. Имитационное моделирование смазочного процесса подшипников коленчатого вала судовых дизелей в эксплуатации / М.Е. Старченко // Матер. 62 международной науч.-практ. конф. «Молодежь – Наука – Инновации». 19 ноября 2014 г. – Владивосток: мор. гос. ун-т, 2014.
- Чичинадзе, А.В. Трение, износ и смазка (трибология и триботехника) / А.В. Чичинадзе, Э.М. Берлинер, Э.Д. Браун. – М.: Машиностроение, 2003. – 576 с.

References

1. Nadezhkin, A.V. Brakovochnye pokazateli i interpretaciya poluchennyh rezul'tatov analiza rabotayushchego masla sudovogo dizelya [Tekst]: Metod. ukazaniya A.V. Nadezhkin, V.N. Danichkin – Vladivostok: Mor. gos. un-t, 2009. – 24 s.
2. RD 31.2.07-2001 Topliva, masla, smazki i special'nye zhidkosti dlya sudov morskogo transporta. Nomenklatura i oblast' primeneniya. Prilozhenie № 23. Brakovochnye pokazateli sudovyh motor-nyh masel i metody ih opredeleniya.
3. Starchenko, M.E. Imitacionnoe modelirovanie smazochnogo processa podshipnikov kolenchatogo vala sudovyh dizelej v ehkspluatacii M.E. Starchenko Mater. 62 mezhdunarodnoj nauch.-prakt. konf. «Molodezh' – Nauka – Innovacii». 19 noyabrya 2014 g. – Vladivostok: mor. gos. un-t, 2014. 4. Chichinadze, A.V. Trenie, iznos i smazka (tribologiya i tribotekhnika) / A.V. Chichinadze, E.H.M. Berliner, E.H.D. Braun. – M.: Mashinostroe nie, 2003. – 576 s.

УДК 621.43.013 : 629.3

СТОХАСТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОЧИСТКИ МОТОРНОГО МАСЛА В СУДОВЫХ ДИЗЕЛЯХ ЦЕНТРИФУГИРОВАНИЕМ И СЕПАРИРОВАНИЕМ

Пак Николай Каптыгиевич

аспирант кафедры Судовых двигателей внутреннего сгорания
Морской государственной университет им. адм. Г.И. Невельского
690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, д.50 – а
тел.: (423) 251-52-26

Аннотация

Разработаны стохастические модели очистки горюче-смазочных материалов центрифугированием и сепарированием. Описано осаждение частиц в центробежном поле с рассмотрением влияния на него локальной меридиональной скорости потока в межтарельчатом зазоре сепаратора. При моделировании очистки моторных масел от механических примесей учтены основные механизмы их отсева и стохастичность процесса, обусловленная тепловой диффузией, что вызывает флуктуацию скорости движения частиц. Новизна моделей центробежного осаждения ДФ состоит в учете сложной гидродинамической обстановки в объеме аппарата очистки с идентификацией действия на частицу не только инерционной, но и кориолисовой сил и влияния на ее удаление поля скоростей и локальности потока в осевом меридиональном направлениях. Стохастическое моделирование центрифугирования и тонкослойного сепарирования выполнено с учетом случайных воздействий на осаждение и вызывающих изменение дисперсионного состава загрязнений.

Ключевые слова: моторное масло, центрифугирование, сепарирование, стохастическая модель.

THE STOCHASTIC MODELING OF ENGINE OIL CLEARING IN THE MARINE DIESELS BY THE CENTRIFUGATION AND SEPARATION

Pak Nikolay Kaptygievich

Postgraduate student of Ships internal combustion engines
Maritime state university named Admiral Nevelskoi
50 – a, Verkhneportovaya st., 690059, Vladivostok, Russia
tel.: (423) 251-52-26

Abstract

The stochastic models of fuel-lubricant materials clearing by the centrifugation and separation have been developed. The precipitation of particles in a centrifugal force field with the consideration of influence to the local meridional velocity of flow in the interplate clearance of centrifugal separator was described. The basic mechanisms of the ridding and the stochastic processes have been taken into account depended in the thermal diffusion, which causes velocity fluctuation of particles movement, during the modeling of the clearing of engine oil. During the simulation of the purification of engine oils from mechanical impurities the basic protection mechanism of its residues and the stochasticity of process determined by thermal diffusion that causes fluctuation of velocity of the particle movement are considered. The novelty of centrifugal sedimentation models of the disperse phase consists in appraisal of complex hydrodynamic circumstances in oil purification equipment with identification effect on the particle not only of the internal but also of coriolis forces and the influence of velocity field and flow locality axial or meridional direction on its removal. Stochastic modelling of centrifuging and thin-layer separations is made with an allowance for random effects on sedimentation that cause change of particle size of pollutions.

Key words: engine oil, centrifugation, separation, stochastic model, oil clearing

Изучение закономерностей разделения сложных гетерогенных систем, каковыми являются моторные масла, показало, что на детерминированном подходе прогнозировать с достаточной для практических целей точностью эффектив-

ность судовых систем топливоподготовки и маслоочистки невозможно.

Большинство современных моделей центрифугирования и сепарирования не учитывают взаимодействие частиц дисперсной фазы (ДФ) при

их отсеке. Стесненность движения частиц и действие пристенных эффектов вызывает флуктуацию скорости осаждения, которая не может быть рассчитана на стоксовых представлениях.

При разделении многофазных систем возможны коагуляция первичных частиц, разрушение и диспергирование состоящих из них агрегатов, что в значительной мере случайно и обусловлено диспергирующе-стабилизирующими свойствами дисперсионной среды и гидродинамическими воздействиями на твердую фазу. Стохастичность процесса обусловлена также объединением частиц при столкновениях и разрушением их вторичных образований вследствие действия гидродинамических факторов.

Разработанные модели очистки горючесмазочных материалов (ГСМ) принципиально новы. Они учитывают сложную гидродинамическую обстановку при центрифугировании и сепарировании, объединяют на основе представлений и аппарата случайных марковских процессов детерминированное и стохастическое воздействия на частицы при их осаждении. Особенностью их является использование дифференциального уравнения движения частицы в центробежном поле. Уравнение, описывающее детерминированное воздействие на ДФ, дополняется членом, описывающим стохастичность процесса.

Рассматриваемый подход к моделированию очистки ГСМ предпочтителен [1, 2], поскольку довольно полно отражает сущность процессов, происходящих в центрифугах и сепараторах. Идентификация стохастических воздействий на ДФ при центрифугировании и сепарировании с учетом гидродинамических особенностей движения разделяемых сред позволяет расчетным путем без экспериментов определять показатели разделения, прогнозировать фракционную и общую эффективность топливо- и маслоочистителей СЭУ.

Для оценки результативности разделения сложных гетерогенных систем была использована методика, позволяющая сочетать достоинства точного детерминированного описания механизмов очистки ГСМ и стохастического представления явлений, сопровождающих эти процессы. Одновременный учет детерминированного и случайного воздействия на ДФ при центрифугировании и сепарировании, а также основных механизмов ее отсева в технических суспензиях затруднен и в существующих расчетных схемах не используется. Нами реальное флуктуационное разделение дисперсных систем было сведено к процессу без последствий, что позволило применить для его исследования хорошо разработанный аппарат случайных марковских процессов.

Такой подход обоснован тем, что внешние случайные воздействия на ДФ являются дельта-коррелированной функцией времени с нулевым средним значением. Для рассматриваемых процессов время корреляции флуктуа-

ций очень мало по сравнению со временем релаксации, поэтому внешняя возмущающая сила может быть охарактеризована как «белый шум». Такая предпосылка весьма правдоподобна и подтверждена опытом фильтрования, центрифугирования и близких к ним разделительных процессов [1, 2].

Схема осаждения частиц в роторе центрифуг с напорным сливом (рис. 1), которые находят широкое распространение в дизелях, показывает, что отвод жидкости Q_n на гидравлический привод ротора осуществляется из его нижней части.

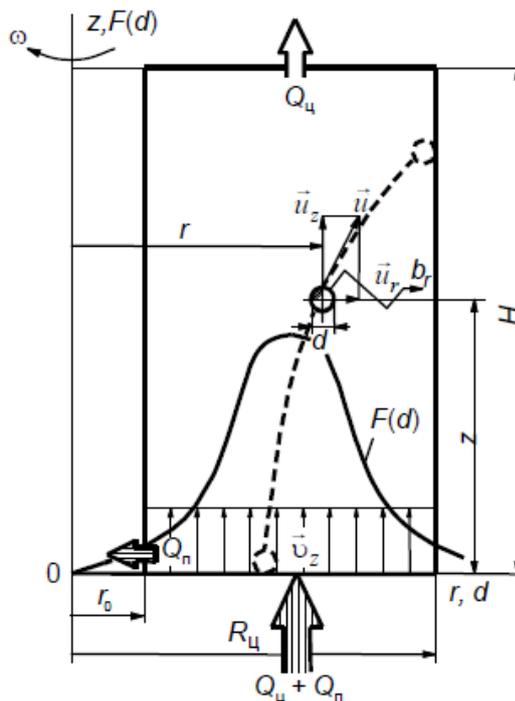


Рис. 1. Расчетная схема центрифуги

Осевая скорость центрифугируемой жидкости в роторе определяется в основном, потоком очищаемой жидкости Q_c . Под действием центробежной силы частицы нерастворимых продуктов (НРП) при движении в потоке смещаются к периферии ротора и прилипая к его стенке задерживаются в нем. Осветленная жидкость поступает к потребителю из верхней части ротора через его внутренний патрубок.

Допустив, что жидкость вращается вместе с ротором без проскальзывания, а осевая скорость частицы в направлении z равна средней (осредненной по сечению ротора) скорости потока, можно скорость движения жидкости u_r выразить с учетом действия на ДФ центробежной силы инерции следующей зависимостью [3, 4]

$$u_r = \frac{d^2 \rho_{эф}}{18 k_c k_{\psi} \mu_m} \omega^2 r, \quad (1)$$

где ω – скорость вращения ротора; r – радиальная координата положения частицы; k_c , k_{ψ} – коэффициенты, учитывающие отклонение гидрав-

лического сопротивления частицы от рассчитываемого по закону Стокса, вызванного стесненностью движения и формой частиц; $\rho_{эф}$ – эффективная плотность частиц; d – диаметр частиц; μ_m – динамическая вязкость масла [5].

Если центрифугирование считать простым марковским процессом, то начально-краевая задача центрифугирования в безразмерном виде запишется следующим образом:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial W}{\partial \tau} &= -2\bar{h}^2 \frac{\partial(\bar{r}W)}{\partial \tau} + \frac{\partial^2 W}{\partial \tau^2}; \\ -2\bar{h}^2 \bar{r}^2 W + \frac{\partial W}{\partial \tau} \Big|_{\bar{r}=\bar{r}_0} &= 0; \\ W \Big|_{\bar{r}=\bar{r}_c} = 0; \quad W \Big|_{\tau=0} &= \frac{2r}{R_{ц} + r_0}, \end{aligned} \right\} (2)$$

где $\bar{h}_c = (R_{ц} - r_0) \sqrt{\frac{\rho_{эф} \omega^2 d^2}{18k_c k_{\psi} \mu_m D_d}}$,

$$\bar{\tau} = \frac{2}{D_d} (R_{ц} - r_0)^2 \tau, \quad \bar{r} = \frac{r}{R_{ц} - r_0}, \quad \bar{r}_0 = \frac{r_0}{R_{ц} - r_0}, \quad \tau = \frac{z}{v_z}.$$

Плотность вероятности $W_{(r,\tau)}$ отождествлена с относительной концентрацией частиц в сечении r в момент времени τ . Начальное условие $W(r,0)=2r/(R_{ц}^2 - r_0^2)$ указывает на то, что плотность вероятности в поступающем на очистку потоке равномерно распределена во всем объеме жидкости. Условие $W=0$ соответствует полному связыванию частиц, достигших стенки ротора. Равенство нулю потока вероятности на радиусе r_0 характеризует полное отражение частиц от колонки ротора.

Стохастичность процесса задается через конструктивные и расходные параметры центрифуги, а также концентрацию твердой фазы c_x в суспензии на входе в очиститель [2]:

$$D_d = \frac{K_B T_M}{3\pi \mu_m d},$$

где K_B – постоянная Больцмана; T_M – температура масла.

Показатель \bar{h} характеризует подвижность частиц в центробежном поле и показывает в каких соотношениях находятся детерминированное и стохастическое воздействие на ДФ. При $\bar{h} > 6$ стохастичностью процесса можно пренебречь. Интенсивность случайных воздействий является квазидиффузионным параметром и отвечает за подвижность частиц в роторе центрифуги. По своему физическому смыслу она может быть интерпретирована как количество энергии, передаваемое в единицу времени ДФ массой в один кг, в результате столкновения частиц при стесненном их движении.

Фракционный коэффициент отсева (стационарный режим центрифугирования) определяется через концентрацию частиц в фугате к момен-

ту времени $\tau_{ц} = H_{ц} / v_z$:

$$\Phi_{dц} = 1 - \int_{\bar{r}_0}^{\bar{r}_c} W(\bar{r}, \bar{\tau}_{ц}) d\bar{r}. (3)$$

Решение задачи центрифугирования (2) лучше всего выполнять численным методом контрольного объема. Примененный метод конечных разностей, реализованный в данной схеме, показал безусловную устойчивость не зависимо от величины \bar{h} . Он имеет высокую консервативность, что позволяет полностью сохранить баланс вероятности при любом шаге расчета сеточным методом. Метод прост в программировании и не требует большого машинного времени. Основной недостаток метода контрольного объема – итерационный характер решения разностных уравнений. Итерация сходится быстро и легко реализуется программно.

Численное решение задачи центрифугирования показано на примере очистителя МЦН-5НС (ГОСТ 10556-78). Распределение плотности вероятности в выходном сечении центрифуги для кварцевого загрязнителя с удельной поверхностью $0,56 \text{ м}^2/\text{г}$ (рис. 2) указывает на "деформацию" исходного фракционного распределения частиц по размерам в сторону повышения m_d и плотности вероятности W на координате $R_{ц}$, что обусловлено действием центробежных сил и случайных факторов. Концентрация c_w (плотность вероятности W) ДФ на внутренней обечайке $\bar{r}_0 = 0,2$ равна нулю и интенсивно растет при увеличении \bar{r} (рис. 2). На участке $\bar{r} > 0,6$ концентрация стабилизируется, что объясняется крупнодисперсностью загрязнителя и высоким фактором разделения.

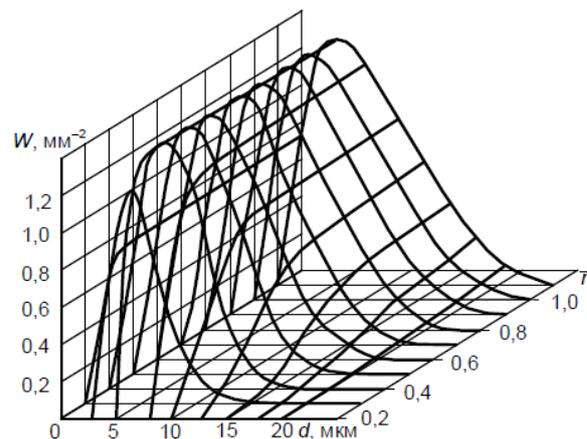


Рис. 2. Распределение W в выходном сечении центрифуги

Влияние \bar{h} на разделительный процесс (рис. 3) показывает важность учета стохастических явлений при центрифугировании.

По мере ослабления действия случайных факторов на частицу величина \bar{h} растет и фракционный коэффициент отсева падает. Особенно велико влияние b_r на этот показатель проявляет-

ся у мелких ($d = 5$ мкм) частиц. Чем выше дисперсность частиц, тем более высокая их концентрация в фугате. Распределение $c_w(\bar{r})$ показано для двух кварцевых загрязнителей с $S_{yd} = 0,56$ и $1,05 \text{ м}^2/\text{г}$. Для них же рассчитана зависимость $\varphi_{dc}(\bar{h})$, показывающая, что при $\bar{h} > 5$ стохастичностью можно пренебречь.

Соответствие расчетной зависимости $\varphi_{dc}(d)$ экспериментальной при использовании предлагаемой стохастической модели (СМ) хорошее (рис. 4).

Теоретическая кривая 3 располагается в пределах доверительного интервала экспериментальных данных (зависимость 2). Таким образом, можно заключить, что процесс центрифугирования в рассматриваемых условиях близок к стохастическому и адекватно идентифицируется системой (2) и выражением (3). Для зависимости 1, полученной расчетом по известным детерминированным моделям (ДМ), подобного вывода сделать нельзя. Результаты расчета по ДМ завышены в 1,5–2,3 раза, что указывает на важность учета стесненности движения ДФ при ее отфуговывании и необходимости рассмотрения процесса разделения сложных гетерогенных систем в стохастической постановке.

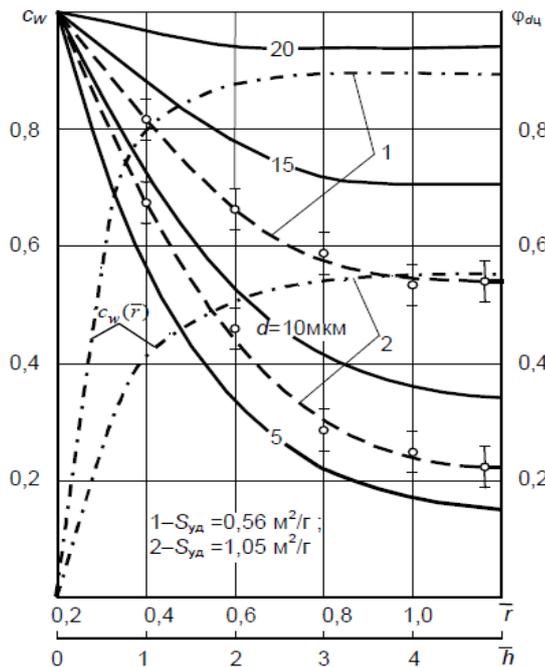


Рис. 3. Эффективность центрифугирования по стохастической модели

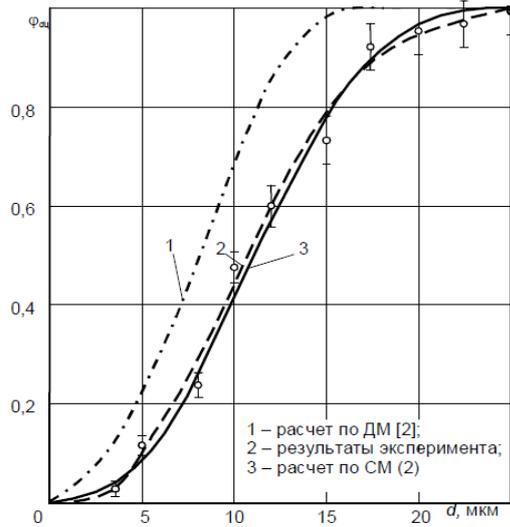


Рис. 4. Зависимость φ_{dc} от размера частиц

Для оценки эффективности очистки ГСМ сепарированием рассмотрим движение жидкости и частиц в межтарельчатом пространстве аппарата. Пространство сепарирования формируется двумя жестко связанными вращающимися с большой скоростью эквидистантными соосными конусами. Представим его в биконической системе координат (рис. 5), где x и y соответствуют расстоянию от вершины конуса и поверхности осаждения до рассматриваемой частиц. В этом случае влияние диффузии на перенос частиц по всем направлениям биконической системы координат будет одинаково и может быть представлено $D_{dx} = D_{dy} = D_{dt}$.

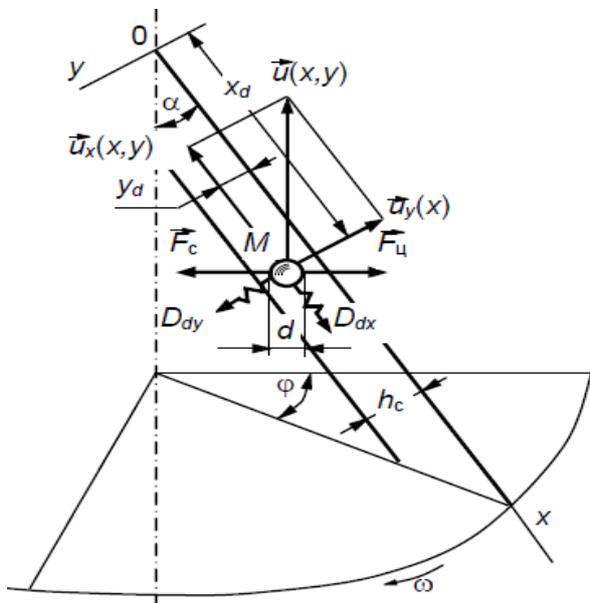


Рис. 5. Межтарельчатое пространство сепаратора в биконической системе координат

Анализ гидродинамики потока дисперсионной среды в межтарельчатом пространстве сепаратора показывает [2, 5], что при его осевой симметрии движение жидкости в зазоре происходит двумя

пристенными слоями, эпюра скорости которых определяется параметром $\lambda = h_c(\omega \sin \alpha / v_m)^{1/2}$. От него зависит распределение меридиональной и окружной скорости потока в межтарельчатом зазоре.

Для определения локальной меридиональной скорости потока сепарируемой жидкости можно использовать соответственно в аппаратах с направляющими ребрами на тарелках и без них следующие выражения:

$$v_x(x, y) = \frac{Q_c \lambda}{2\pi Z_c h_c x \sin \alpha} \frac{1}{\lambda^2 - 2\lambda + 2} \times$$

$$\times \left\{ \exp \left[-\lambda \frac{y}{h_c} \sin \lambda \frac{y}{h_c} + \exp \left[-\lambda \left(1 - \frac{y}{h_c} \right) \right] \sin \lambda \left(1 - \frac{y}{h_c} \right) \right] \right\} +$$

$$+ (\lambda - 1) \left\{ \begin{array}{l} 1 - \exp \left(-\lambda \frac{y}{h_c} \right) \cos \lambda \frac{y}{h_c} - \\ - \exp \left[-\lambda \left(1 - \frac{y}{h_c} \right) \right] \cos \lambda \left(1 - \frac{y}{h_c} \right) \end{array} \right\}; \quad (4)$$

$$v_x(x, y) = \frac{Q_c \lambda}{2\pi Z_c h_c x \sin \alpha} \times$$

$$\times \left\{ \exp \left(-\lambda \frac{y}{h_c} \sin \lambda \right) \frac{y}{h_c} + \exp \left[-\lambda \left(1 - \frac{y}{h_c} \right) \right] \sin \lambda \left(1 - \frac{y}{h_c} \right) \right\}; \quad (5)$$

где Q_c – пропускная способность сепаратора; Z_c – число тарелок, h_c – высота межтарельчатого зазора сепаратора.

Траектория движения частиц в межтарельчатом пространстве зависит от компонентов $u_x(x, y)$ и $u_y(x)$ их скорости. Согласно [2] меридиональную и по нормали к поверхности осаждения скорости частицы можно выразить следующим образом:

$$u_x(x, y) = \frac{\rho_{эф} \omega^2 \sin^2 \alpha}{18 k_c k_\psi \mu_m} - v_x(x, y) \quad (6)$$

$$u_y(x) = \frac{\rho_{эф} \omega^2 d^2 \sin \alpha \cos \alpha}{18 k_c k_\psi \mu_m} \quad (7)$$

В соответствии с уравнением Колмогорова – Фоккера – Планка начально-краевая задача сепарирования может быть представлена системой:

$$\left. \begin{array}{l} \frac{\partial W}{\partial \tau} = - \frac{\partial [u_x(x, y) W]}{\partial x} - \frac{\partial [u_y(x) W]}{\partial y} + \frac{D_d}{2} \frac{\partial^2 W}{\partial y^2}; \\ -u_y(x) W + \frac{D_d}{2} \frac{\partial W}{\partial y} \Big|_{y=h_c} = 0; \quad W|_{y=0} = 0; \\ W|_{x=x_{max}} = \frac{1}{h_c} \end{array} \right\} \quad (8)$$

При сепарировании расчет фракционного коэффициента отсева ведется интегрированием потока вероятности на выходе из межтарельчатого

пространства

$$\varphi_{dc} = 1 - \int_0^{h_c} \frac{u_x(x, y)}{u_{mx}} W|_{x=x_{min}} dy, \quad (9)$$

где u_{mx} – средняя меридиональная скорость частиц в поперечном сечении канала с координатой $x=x_{min}$.

Возможности стохастического и детерминированного подходов к оценке эффективности сепарирования при $\lambda=3-6$ показаны на рисунке 6. При использовании известных методик [5] расчета φ_{dc} для частиц $d/d_{кр} < 0,5$ завышается, значение диаметра $d_{кр}$ частиц, полностью удерживаемых из фугата, занижается. Стохастичность процесса сепарирования проявляется в увеличении $d_{кр}$ в 1,1–1,3 раза.

Для мелкодисперсной фазы загрязнений стохастические явления способствуют увеличению фракционного коэффициента отсева. Расхождение между данными расчета φ_{dc} по СМ и ДМ с увеличением λ растут и могут достигать до 60 %. При этом эта расчетная кривая, полученная на основе модели (9) в большинстве случаев находится в доверительных границах экспериментальных данных, что указывает на принадлежность их одной генеральной совокупности.

Разработанные стохастические модели очистки ГСМ центрифугированием и сепарированием показывают как можно управлять этим процессом для достижения высокой эффективности и избирательного разделения сложных гетерогенных систем. Кроме того, они позволили предложить следующие методы интенсификации этого процесса:

– усиление подвижности частиц флуктуацией их скорости за счет гидродинамических

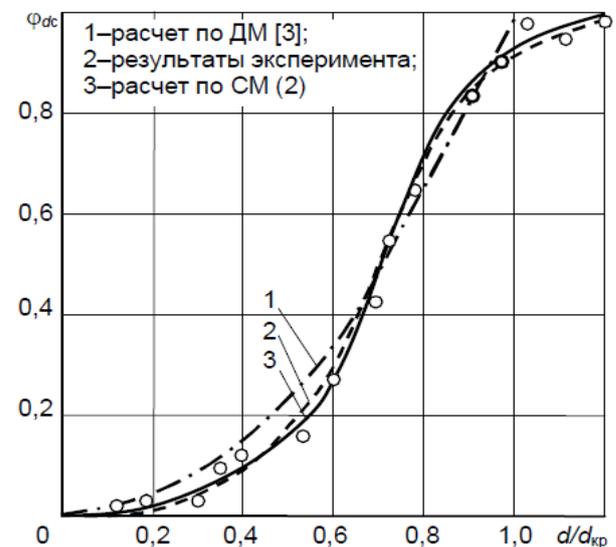


Рис. 6. Эффективность сепарирования по стохастической и детерминированной моделям

и тепловых воздействий на ДФ;
– уменьшение в центрифугах толщины подвижного в осевом направлении слоя и смещение его конструктивными мерами на больший радиус, вплоть до грязевого пространства;

– использование в центрифугах радиально-осевого слива, что способствует более полному использованию полезного объема ротора;

– понижение при тонкослойном сепарировании меридиональной скорости и пульсаций потока с поддержанием величины λ на уровне 3–10.

Моделирование разделительных процессов с учетом стохастичности позволяет не только более точно оценить эффективность топливо- и маслоочистителей, но и показывает пути совершенство-

вания этих аппаратов. С их помощью могут быть созданы принципиально новые направления инженерного оформления систем маслоочистки на судах. Предложенные модели могут использоваться при оценке технологических показателей процессов осветления, сгущения и классификации дисперсных систем в двигателестроении и других отраслях народного хозяйства.

Литература

1. Кича, Г. П. Моделирование на основе теории марковских процессов эффективности судовых маслоочистительных модулей / Г. П. Кича, Б. Н. Перминов, А. А. Калиберда // Исследование по вопросам повышения эффективности судостроения и судоремонта. – Владивосток: ДВГТУ, 2002. – Вып. 43. – С. 133–141.
2. Кича, Г. П. Стохастические модели процесса очистки горюче-смазочных материалов в ДВС / Г. П. Кича // Двигателестроение. – № 11. – 1989. – С. 18–25.
3. Романков, П. Г. Жидкостные сепараторы / П. Г. Романков, С. А. Плюшкин. – Л.: Машиностроение, 1976. – 256 с.
4. Kuwabara, S. The forces experienced by randomly distributed parallel circular cylinders or spheres in viscous flow at small Reynolds numbers. J. Phys. Soc. Jap. 1959. Vol. 14, N 4. P. 527–532.
5. Кича, Г. П. Ресурсосберегающее маслоиспользование в судовых дизелях / Г. П. Кича, Б. Н. Перминов, А. В. Надежкин. – Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2011. – 372 с.

References

1. Kicha, G. P. Modelirovanie na osnove teorii markovskih processov ehffektivnosti sudovyh masloochistitel'nyh modulej / G. P. Kicha, B. N. Perminov, A. A. Kaliberda // Issledovanie po voprosam povysheniya ehffektivnosti sudostroeniya i sudoremonta. – Vladivostok: DVGTU, 2002. – Vyp. 43. – S. 133–141.
2. Kicha, G. P. Stohasticheskie modeli processa ochistki goryuche-smazochnyh materialov v DVS / G. P. Kicha // Dvigatellestroenie. – № 11. – 1989. – S. 18–25.
3. Romankov, P. G. Zhidkostnye separatory / P. G. Romankov, S. A. Plyushkin. – L.: Mashinostroenie, 1976. – 256 s.
4. Kuwabara, S. The forces experienced by randomly distributed parallel circular cylinders or spheres in viscous flow at small Reynolds numbers. J. Phys. Soc. Jap. 1959. Vol. 14, N 4. P. 527–532.
5. Kicha, G. P. Resursosberegayushchee masloispol'zovanie v sudovyh dizelyah / G. P. Kicha, B. N. Perminov, A. V. Nadezhkin. – Vladivostok: Mor. gos. un-t, 2011. – 372 s.

Информатика, вычислительная техника и управление

УДК 629.12.001.2

**ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ
ИССЛЕДОВАНИЯ ПОДВОДНЫХ СРЕД, ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ
СУДОХОДСТВА И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ С
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАЛОГАБАРИТНОГО ТЕЛЕУПРАВЛЯЕМОГО
НЕОБИТАЕМОГО АППАРАТА****Букин Олег Алексеевич**

доктор физико-математических наук, профессор
проректор по научной работе
Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского
690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, д.50 – а
тел.: 8 (423) 241-44-95; e-mail: o_bukin@mail.ru

Буров Денис Викторович

кандидат физико-математических наук
директор научно-исследовательского института морской техники
Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского
690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, д.50 – а
тел.: 8-904-627-12-30; e-mail: burov@msun.ru

Майор Александр Юрьевич

доктор технических наук
старший научный сотрудник научно-исследовательского института морской техники
Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского
тел.: 8-950-295-55-75; e-mail: mayor@iacp.dvo.ru

Букин Илья Олегович

младший научный сотрудник научно-исследовательского института морской техники
Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского
690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, д.50 – а
тел.: 8-904-627-27-47; e-mail: il_bukin@mail.ru

Проценко Дмитрий Юрьевич

научный сотрудник научно-исследовательского института морской техники
Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского
690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, д.50 – а
тел.: 8-924-232-49-64; e-mail: dima.prsk@mail.ru

Мун Сергей Алексеевич

заведующий сектором научно-исследовательского института морской техники
Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского
690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, д.50 – а
тел.: 8-924-258-05-41; e-mail: moun@list.ru

Михайлов Денис Николаевич

младший научный сотрудник научно-исследовательского института морской техники
Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского
690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, д.50 – а
тел.: 8-924-258-05-41

Кушнерик Андрей Александрович

младший научный сотрудник научно-исследовательского института морской техники
Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского
690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, д.50 – а
тел.: 8-924-258-05-41

Салюк Павел Анатольевич

кандидат физико-математических наук, доцент
заведующий лабораторией
Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева
Дальневосточного отделения Российской академии наук
690041, Владивосток, ул. Балтийская, 43
тел.: (423) 231-14-00; e-mail: salyuk@gmail.com

Аннотация

Приведены результаты разработки и технические параметры информационно-измерительной системы (ИИС) состоящей из аппаратно-программного комплекса (АПК), предназначенного для проведения лазерного спектрального анализа подводных сред и малогабаритного телеуправляемого необитаемого аппарата (МТНПА). Спектрометр предназначен для проведения широкого комплекса исследований подводной среды, включая биологические объекты. Разработан на базе второй гармоники излучения твердотельного YLF:Nd³⁺ с диодной накачкой. Спектральная часть АПК позволяет регистрировать лазерную индуцированную флуоресценцию морской воды, в широком спектральном диапазоне и комбинационное рассеяния молекул воды. Приводится описание технических блоков АПК и специализированного программного обеспечения, которые позволяют в оперативном режиме проводить исследование фитопланктона, растворённого органического вещества и углеводородов нефти в морской воде до глубин порядка 300 м. ИИС оснащена аппаратурой, позволяющей проводить подводные съёмки для обследования подводных частей судов и технических объектов в целях обеспечения безопасности судоходства и экологической безопасности, исследования воздействия индустриальной деятельности на морские экосистемы.

Ключевые слова: телеуправляемый необитаемый подводный аппарат, безопасность мореплавания, экологический мониторинг

INFORMATION- MEASURING SYSTEM FOR THE STUDY OF UNDERWATER ENVIRONMENTS, ENSURING THE SAFETY OF NAVIGATION AND ENVIRONMENTAL SAFETY USING A REMOTELY OPERATED UNMANNED VEHICLE

Bukin Oleg Alexeevich

Professor, Dr.Sci. Phys.-math.
Vice-rector

Maritime state university named Admiral Nevelskoi
50 – a, Verkhneportovaya st., 690059, Vladivostok, Russia
tel.: 8 (423) 241-44-95; e-mail: o_bukin@mail.ru

Burov Denis Viktorovich

Cand. Sci. Phys.-math.

Director of R&D Institute of Marine Engineering
Maritime state university named Admiral Nevelskoi
50 – a, Verkhneportovaya st., 690059, Vladivostok, Russia
tel.: 8-904-627-12-30; e-mail: burov@msun.ru

Mayor Alexander Yurievich

Dr.Sci. Tech.

Senior research scientist of R&D Institute of Marine Engineering
Maritime state university named Admiral Nevelskoi
50 – a, Verkhneportovaya st., 690059, Vladivostok, Russia
tel.: 8-950-295-55-75; e-mail: mayor@iacp.dvo.ru

Bukin Ilya Olegovich

Junior research scientist of R&D Institute of Marine Engineering
Maritime state university named Admiral Nevelskoi
50 – a, Verkhneportovaya st., 690059, Vladivostok, Russia
tel.: 8-904-627-27-47; e-mail: il_bukin@mail.ru

Proshenko Dmitriy Yurievich

Research scientist of R&D Institute of Marine Engineering
Maritime state university named Admiral Nevelskoi
50 – a, Verkhneportovaya st., 690059, Vladivostok, Russia
tel.: 8-924-232-49-64; e-mail: dima.prsk@mail.ru

Moun Sergey Alekseevich

Head of the center of R&D Institute of Marine Engineering
Maritime state university named Admiral Nevelskoi
50 – a, Verkhneportovaya st., 690059, Vladivostok, Russia
tel.: 8-924-258-05-41; e-mail: moun@list.ru

Mikhailov Denis Nikolaevich

Junior research scientist of R&D Institute of Marine Engineering
Maritime state university named Admiral Nevelskoi
50 – a, Verkhneportovaya st., 690059, Vladivostok, Russia
tel.: 8-924-258-05-41

Kushneric Andrey Alexandrovich

Junior research scientist of R&D Institute of Marine Engineering
Maritime state university named Admiral Nevelskoi
50 – a, Verkhneportovaya st., 690059, Vladivostok, Russia
tel.: 8-924-258-05-41

Salyuk Pavel Anatolievich

Associate professor, Cand. Sci. Phys.-math.
Head of laboratory
Pacific Oceanological Institute named Academician Illichev
of Far Easter Branch of Russian Academy of Science
43, Baltiyskaya st., 690041, Vladivostok, Russia
tel.: (423) 231-14-00; e-mail: salyuk@gmail.com

Abstract

Technical design and parameters of information measurement system (IMS) are presented. IMS consists of a laser spectrometer (hardware and software complex) and remotely operated vehicle (ROV). The spectrometer is designed for a wide range of research of underwater environment, including biological objects. Second harmonic of a solid-state diode-pumped YLF: Nd³⁺ laser is used to induce of fluorescence and Raman scattering of the sea water. The chlorophyll-A, dissolved organic matter (including dissolved oil) concentrations are measured in real time by laser spectrometer up to 300 m depth. And so it is possible to investigate the industrial activities and research the impact of industrial activities on marine ecosystems (including oil marine pollution during transportation, exploration and production of hydrocarbons offshore). IMS aims to provide navigation and ecology safety in sea waters. IMS is equipped with video cameras which aim to provide monitoring of underwater parts of the vessels and technical objects. ROV design and technical parameters of the laser spectrometer are to provide minimum volume and weight of IMS indicators. So IMS is designed and produced to be used on any kind of vessels.

Key words: remotely operated vehicle, laser spectroscopy, information-measuring system, navigation and ecology safety

1. Введение

Оснащение телеуправляемых необитаемых подводных аппаратов измерительными комплексами позволяет решать широкий спектр задач, как в области исследования подводных сред, так и для обеспечения экологической безопасности и безопасности судоходства. Последнее, особенно важно при осуществлении работ в Арктике. Возможность проведения количественных измерений концентрации углеводородов нефти в воде, концентрации хлорофилла А и растворённого орга-

нического вещества (ПОВ) позволяет не только проводить мониторинг экологического состояния подводных сред, состояния технических объектов, используемых для разведки, добычи и транспортировки углеводородного сырья, но и оценивать степень воздействия индустриальной деятельности на состояние морских экосистем. Это даёт возможность более обосновано определять величину ущерба, который наносится морским экосистемам, при осуществлении индустриальной деятельности.

стриальной деятельности или экологических катастроф на морских акваториях.

Для предотвращения пагубных последствий техногенных воздействий на экологию Арктики необходимо своевременно проводить оценки критических нагрузок и изучение ассимиляционной емкости экосистем.

Как один из основных параметров оценки экологического состояния региона является мониторинг численности и биомассы фитопланктона и состояние фотосинтетического аппарата его клеток. В свою очередь, преимущественно используемые в настоящее время пассивные методы глобального спутникового мониторинга фитопланктона, допускают значительные погрешности определения его концентрации и требуют постоянной верификации спутниковых измерений и настройки региональных алгоритмов обработки спутниковой информации, а так же не в состоянии дать оценки состояния фотосинтезирующей системы клеток.

При проведении работ в конкретно локализованной области (в частности в районе буровых платформ) альтернативным методом контроля утечки углеводородов и состояния экосистемы может служить использование малогабаритных необитаемых подводных аппаратов (МНПА) с интегрированными системами регистрации растворенных органических веществ (РОВ) и хлорофилла-А. В качестве установок регистрации могут служить флуориметры на основе многократно отработанного метода лазерной индуцированной флуоресценции (ЛИФ).

Данный метод уже в течение долгого времени является надежным источником получения информации об одноклеточных водорослях [1]. Он получил широкое развитие и претерпел различные модификации в зависимости от конечной цели исследования, в частности в случае таксономических исследований фитопланктона [2,3], метода изображения планарной лазерной флуориметрии (planar laser imaging fuorometry) [4,5] и т.д. Наиболее близкие, к нашим разработкам, реализации метода ЛИФ для исследования подводных сред были описаны в работах [6,7].

Особая специфика использования ТНПА в Арктических условиях, а так же необходимость обеспечения возможности проведения оперативных обследований подводных частей технических объектов и нижних кромок ледовых полей в целях обеспечения безопасности судоходства, требуют разработки новой информационно-измерительной системы на базе МНПА.

В работе [8] были описаны основные принципы построения лазерного спектрометра для проведения исследования подводных сред и носитель лазерного спектрометра МНПА «МАКС-300», разработанный и испытанный для осуществления данного вида работ. В настоящей работе представлены результаты разработки всей информационно-измерительной системы, предназначенной для мониторинга в реальном

времени состояния основных подводных элементов судна и регистрации продуктов нефти и хлорофилла-А в морской воде.

2. Основные элементы подводного робототехнического комплекса

Вся информационно-измерительная система (ИИС) состоит из подводного телеуправляемого носителя - МНПА «МАКС-300», погружного модуля лазерного спектрометра, бортовой системы управления ИИС и предварительной обработки данных с лазерного спектрометра и систем мониторинга подводной среды. ИИС позволяет проводить оперативный осмотр подводной части судна, морских технических сооружений и морского дна. Глубина погружения составляет 300 м. Максимальная глубина погружения задается таким образом, чтобы обеспечить возможность работы на глубинах, превышающих нахождение нижней границы фотического слоя, которая может превышать 100 м (глубина зависит от прозрачности морской воды). Это обеспечит проведение исследований биологических объектов, которые обитают вне фотического слоя.

В состав оборудования, кроме МНПА с герметичным модулем АПК лазерного спектрометра, входят ноутбук с TV-Тюнером, джойстик управления МНПА, дополнительные видеомониторы с видео регистратором и надводный пункт управления (НПУ), состоящий из программируемого источника питания GEN600-4, устройства защитного отключения, контроллера изоляции кабеля связи и оптического модема, обеспечивающего прием двух видеопотоков и связь с аппаратом по интерфейсу Ethernet.

Габариты МНПА определялись таким образом, чтобы минимизировать размеры, и обеспечить возможность использования МНПА на неспециализированных судах для проведения обследования подводных частей корпуса судна и винто-рулевой группы. Мощность двигателей, обеспечивающих движение МНПА, выбирались из расчёта возможности проведения обследования судов при наличии поверхностных течения со скоростью до 1,5 – 2 узла и поверхностном волнении не более 50 см и составила 120 Вт на валу.

Для измерения на основе ЛИФ-спектроскопии концентрации основного пигмента клеток фитопланктона – хлорофилла А и дополнительных пигментов клеток фитопланктона был разработан лазерный спектрометр с возможностью инсталляции на «МАКС-300». Сам процесс измерения заключается в возбуждении лазерным излучением широкополосной флуоресценции растворённого органического вещества, которая воспроизводится клетками фитопланктона и последующем анализе интенсивности, формы линии и соотношения между концентрацией хлорофилла А и концентрацией РОВ, что позволяет оценивать эффективность состояния фотосинтезирующего аппарата клеток фитопланктона [9] и

судить о степени воздействия индустриальной деятельности на морскую экосистему.

Непосредственно блок-схема флуориметра с учётом требований по питанию, наличия канала связи с оператором через типовые каналы для подводных аппаратов и необходимости управления всеми элементами от компьютера представлена на схеме (рис. 1.)

Учитывая характеристики подводного носителя подобраны следующие комплектующие для лазерного погружного спектрометра:

- лазер DTL- 413-500 твердотельный YLF:Nd3+ с диодной накачкой, работающий в непрерывном режиме с удвоением частоты. Длина волны лазерного излучения 527нм, лежит в окне прозрачности морской воды. Использование другой длины волны, например, третьей гармоники, ограничит измерения в дальней зоне ввиду её сильного поглощения. Максимальная мощность лазерного излучения 500 мВт. Максимальная потребляемая мощность 60 Вт, средняя – 30 Вт. Напряжение питания – 12 В.

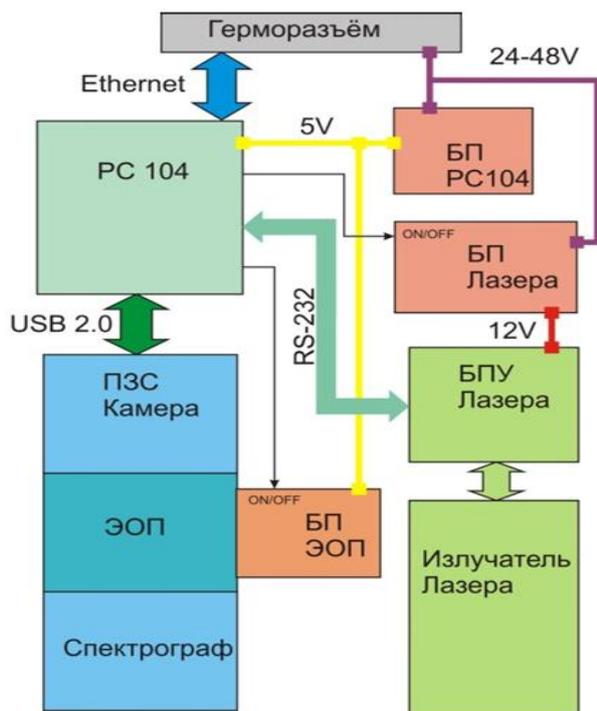


Рис. 1. Блок-схема флуориметра

Условные обозначения: БП – блок питания, ПЗС – прибор с зарядовой связью, ЭОП - электронно-оптический преобразователь.

Достаточно компактные габариты излучателя и управляющего блока питания позволяют использовать его в малогабаритном спектрометре;

- усилитель яркости ЭПМ102Г-05-22Б, ЭОП III поколения с GaAs фотокатодом диаметром 17.5 мм, разрешение 51 штр/мм, рабочий спектральный диапазон 500 – 900 нм. Питание 3 В, 20 мА. Габариты (ø43x23 мм);

- черно-белая ПЗС-камера ВИДЕОКАН-285-USB 1.3 Мп, 12 бит АЦП, USB 2.0. Камера имеет небольшой уровень шума, хорошую чувствительность, экспозиция до нескольких секунд (необходимо при слабых сигналах), питание от USB (5 В, 0.5 А), небольшие габариты (ø55x55 мм) и вес, есть внешнее стробирование, возможно объединение пикселей (биннинг, снижает разрешение, но увеличивает чувствительность) в случае приёма слабых сигналов;

- компьютер стандарта PC-104 выбран компании LiPPERT Cool модель RoadRunner-945GSE, Intel Atom N270, 1.6 GHz, DRR2 2 Gb, DSS 4 Gb, GLAN, 8xUSB, 2xRS232(485);

- для питания приборов были выбраны высокоэффективные преобразователи напряжения (DC-DC) компании Traco с расширенным входным напряжением (18-75В) с возможностью внешнего включения/выключения.

Для анализа спектрального состава рассеянного морской средой излучения был разработан и изготовлен малогабаритный спектрограф, удовлетворяющий требования к массогабаритам прибора, к рабочему спектральному диапазону и спектральному разрешению. Спектрограф имеет опволоконный вход и фиксированную дифракционную решетку. Рабочий спектральный диапазон находится в пределах длин волн 520 – 780 нм, разрешение (ширина аппаратной функции) не хуже 2.5 нм, габаритные размеры 143x101x38 мм, рабочая длина спектра 14 мм.

Расположение приборов, входящих в состав лазерного спектрометра, на несущей раме погружного модуля показано на рисунке 2 (верхняя часть). Ниже приведено изображение герметичного корпуса погружаемого модуля лазерного спектрометра. В нижней части рисунка показана передняя часть модуля с поворотными зеркалами для ориентации лазерного излучения на исследуемые среды и регистрации обратнорассеянного (или под углом 90°) средой лазерного излучения.

Корпус представляет собой цилиндр с внутренним диаметром 200 мм и двумя крышками. На задней крышке корпуса крепится герморазъём, на передней – иллюминаторы и оптика приемного канала для ближней зоны. В корпусе размещены две металлические плиты для установки оборудования. Нижняя – полукруглого сечения, притягивается круглой стороной к корпусу и предназначена для установки наиболее тепловыделяющих компонентов спектрометра: преобразователей напряжения (10,11), блока питания лазера (2), компьютера (9). На верхней плите с двух сторон располагаются остальные компоненты. Компоненты приемника (4 -7) смонтированы на общем основании и накрыты общим светозащитным кожухом.

Создано единое программное обеспечение (ПО), которое предназначено для управления и получения данных от экспериментального образ-

ца информационно-измерительной системы. Программное обеспечение, позволяющее оператору дистанционно (удаленно) контролировать работу приборов и всех его компонентов. В состав ПО входят программы управления работой ТНПА, лазерного спектрометра, акустических локаторов для зондирования морского дна и измерения толщины льда.

Единое ПО экспериментального образца ИИС представляет собой совокупность взаимосвязанных модулей ПО: ПО бортового компьютера ТНПА, ПО пульта управления ТНПА, ПО лазерного спектрометра, ПО пульта управления лазерным спектрометром, ПО пульта управления акустическими локаторами.

Единое ПО экспериментального образца ИИС включает в себя так же программы, обеспечивающие мониторинг подводных объектов, в случае использования ТНПА для мониторинга подводных частей технических объектов в целях обеспечения безопасности судоходства и экологической безопасности. Это позволяет оператору выбирать необходимые для проведения обследования участки технических объектов, а так же получения их изображений в требуемом масштабе. Структура ПО пульта управления ТНПА, является модульной и позволяет выводить на монитор требуемый для эффективного управления или анализа модуль.

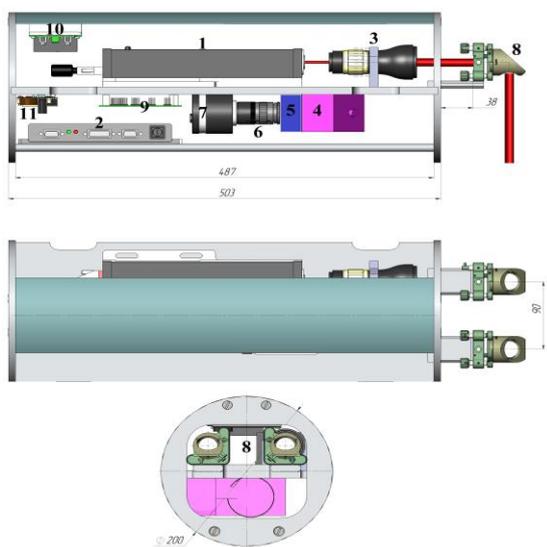


Рис. 2. Компонировка флуориметра:

1 – лазер; 2 – блок питания лазера; 3 – телескопический эспандер излучения; 4 – полихроматор; 5 – ЭОП; 6 – объектив; 7 – ПЗС-камера; 8 – оптика выходного излучения и приемного канала для дальней зоны; 9 – компьютер PC-104; 10 – преобразователь 48V в 12V (питание лазера); 11 – преобразователь 48V в 5V (питание PC-104);

ПО лазерного спектрометра использует информационный канал ТНПА «МАКС-300» для передачи данных на поверхность. По этому же ка-

налу проходит передача данных с акустических локаторов.

Функциональная схема ИИС, в которую входит схема ТНПА «МАКС-300» и функциональная схема аппаратно-программного комплекса лазерного спектрометра, приведена на схеме (Рис. 3).

На судне находится НПУ, который запитывается от судовой сети переменного тока напряжением 220 V 50 Гц. УЗО – устройство защитного отключения предназначено для предотвращения перегрузок сети и контроля переменного тока в сети питания расположено в НПУ. Программируемый блок питания обеспечивает необходимое напряжение 400 V и его стабилизацию для передачи по трос - кабелю на МТНПА. Блок контроля изоляции кабеля контролирует возможные потери герметичности в блоке энергетики МТНПА и кабеле.

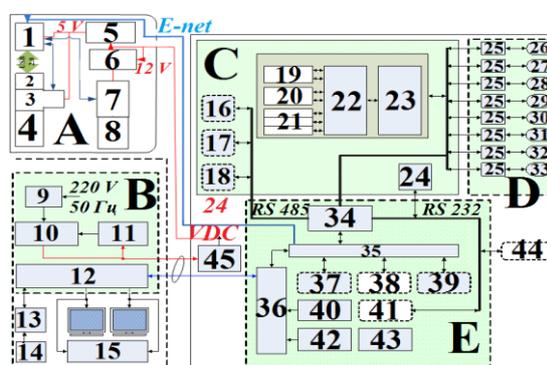


Рис. 3. – Функциональная схема информационно-измерительной системы

А. Погружаемый герметичный модуль лазерного спектрометра:

1 – PC-104 LiPPERT Cool RoadRunner-945GSE, 2 – ПЗС-камера, 3 – электронно-оптический преобразователь, 4 – спектрограф, 5 – БП PC-104, 6 – БП лазера, 7 – блок управления лазера, 8 – лазер DTL-413-500

В. Надводный пульт оператора:

9 – УЗО, 10 – программируемый блок питания, 11 – контроллер изоляции кабеля, 12 – оптомодем, 13 – компьютер оператора МТНПА, 14 – джойстик управления МТНПА, 15 – видеорегистратор

С. Система бортового управления и навигации:

16 – ДЛ, 17 – блок УКБ ГАНС, 18 – ЭЛС, 19 – ИД-6, 20 – ADX L2 02, 21– 3×ADX R S401 EB, 22 – АЦП угловых пилотажных датчиков, 23 – контроллер автопилота, 24 – эхолот DST micron

Д. Движительно-рулевой комплекс:

25 – блок управления двигателем, 26 – левый горизонтальный носовой движитель, 27 – левый вертикальный носовой движитель, 28 – левый горизонтальный кормовой движитель, 29 – левый вертикальный кормовой движитель, 30 – правый горизонтальный носовой движитель, 31 – правый вертикальный носовой движитель, 32 – правый горизонтальный кормовой движитель, 33 – правый вертикальный кормовой движитель

Е. информационно-измерительный комплекс:

34 – преобразователь интерфейса, 35 – HUB E-net, 36 – оптомодем, 37 – ГСО Imagenex 881L, 38 – многолучевой эхолот Imagenex 837, 39 – фотосисте-

ма, 40 – видеокамера черно-белая, 41 – STD зонд WQM Wetlabs, 42 – видеокамера цветная, 43 – светодиодные светильники
 44 – захват манипулятора, 45 – блок энергетике МНТПА

В случае нарушения изоляции кабеля происходит автоматическое отключение питания. Оптомодем предназначен для приёма информационных потоков с ИИС и передачи управляющих сигналов на аппарат и погружаемый герметичный модуль лазерного спектрометра. Встроенный в оптомодем аналогово-цифровой преобразователь конвертирует цифровое изображение в аналоговое для дальнейшей передачи на компьютер оператора и видеорегистратор.

Компьютер оператора связан с оптомодемом по средствам канала связи Ethernet для управления работой отдельных модулей, входящих в состав погружаемого аппаратно-программного комплекса, включая систему бортового управления и навигации МНТПА, а также планируемые к размещению на подводном носителе измерительные комплексы: гидролокатор секторного обзора, многолучевой эхолот, погружаемый модуль лазерного спектрометра.

Управление блоком лазерной спектроскопии, изменение параметров работы и передача данных на поверхность для последующей обработки происходит следующим образом.

Ввод команд происходит через консоль оператора блока лазерной спектроскопии соединенного с надводным постом управления через канал передачи данных Ethernet.

При поступлении команды включения на внутренний компьютер РС104 компьютер через канал связи RS-232 подает команду для включения блока питания лазера. Одновременно производится корректировка параметров работы ПЗС камеры и установка режима работы лазера. Лазер изменяет параметры работы и выводит установленные параметры на консоль оператора. ПЗС-камера выполняет передачу регистрируемых данных на РС104 через канал обмена данными USB 2.0, далее возможно сохранение данных на РС104 либо передача через Ethernet на информационную систему МНТПА и дальнейшую передачу данных на поверхность в режиме реального времени. Схема потоков управления и обмена данными представлена на схеме (Рис. 4).

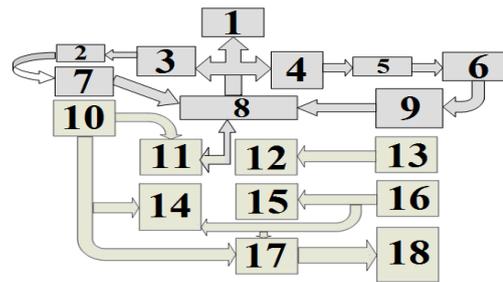


Рис. 4. Схема информационных потоков автоматизированной информационно-измерительной системы подводной лазерной спектроскопии:

1 – блоки питания лазера и ЭОП, 2 – лазер, 3 – установка работы параметров работы лазера, 4 – установка параметров работы ПЗС-камеры, 5 – ПЗС-камера, 6 – сохранение и обработка данных, 7 – отображение параметров работы лазера, 8 – консоль управления оператора, 9 – отображение параметров работы ПЗС-камеры, 10 – джойстик 11 – компоненты отображения данных с джойстика, 12 – окно видео, 13 – видеокамеры, 14 – архивирование данных, 15 – компоненты отображения показаний датчиков, 16 – датчики, 17 – расчет управляющего сигнала, 18 – контроллер автопилота

Для нормальной работы ИИС обеспечивается поток обмена информацией между МНТПА и пультом управления не менее 10 пакетов в секунду, и между контроллерами МНТПА и периферийными устройствами не менее 100 пакетов в секунду.

3. Заключение

Предполагается, что экспериментальный образец ИИС будет проходить испытания в Арктических условиях. Это позволит определить круг дополнительных вопросов, которые необходимо решить для доведения экспериментального образца до требований необходимых при эксплуатации на морских транспортных судах.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ, проект № 14-19-00589 в части разработки АПК «Лазерный спектрометр», отработки методической части работы в натуральных условиях.

Работа поддержана проектом РФФИ № НК 14-02-31221 в части проведения лабораторных исследований взаимодействия лазерного излучения с биологическими морскими объектами.

Литература

1. Yentsch C.S., Menzel D.W. A method for the determination of phytoplankton chlorophyll and pheophytin by fluorescence // Deep-Sea Research. 1963. Vol. 10. pp. 221–231.
2. Yentsch, C.S., Yentsch, C.M. Fluorescence spectral signatures: The characterization of phytoplankton populations by the use of excitation and emission spectra // Journal of Marine Research. 1979. Vol. 37. pp. 471–483.
3. Chekalyuk A., Hafez M. Advanced laser fluorometry of natural aquatic environments // Limnology and Oceanography: Methods. 2008. Vol. 6. pp. 591–609.

4. Franks P.J.S., Jaffe J.S. Microscale variability in the distributions of large fluorescent particles observed in situ with a planar laser imaging fluorometer // *Journal of Marine Systems*. 2008. Vol. 69. pp. 254–270.
5. Prairie J. C., Franks P. J. S., Jaffe J. S. Cryptic peaks: Invisible vertical structure In fluorescent particles revealed using a planar laser imaging fluorometer // *Limnology and Oceanography*. 2010. Vol. 55. № 5. pp. 1940–1958.
6. Gereit F., Hauptmann P., Matz G., Mellert V., Reuter R. Oceanology International 98 Conference Proceedings “An ROV-based sensor system for maritime pollution control”, Brighton, March 1998, Vol 2, pp. 55-68.
7. Brewer P.G. Development of a laser Raman spectrometer for deep-ocean science // *Deep Sea Res.* 2004. Vol. 51. pp. 739-753.
8. Бауло Е.Н., Букин И.О., Майор А.Ю., Салюк П.А. Разработка лазерных технологий для расширения возможностей подводных аппаратов обследовательского класса для работы в Арктических условиях. *Морские интеллектуальные технологии*. 2013. Т. 1. С. 38-41.
9. Bukin O. A., Pavlov A.N., Permyakov M.S., Major A.Y., Konstantinov O.G., Maleenok A.V., Ogay S.A. Continuous measurements of chlorophyll A concentration in the Pacific Ocean by shipborne laser fluorometer and radiometer: comparison with SeaWiFS data // *International Journal of Remote Sensing*. 2001. Vol. 22. № 23. pp. 415-427.

References

1. Yentsch C.S., Menzel D.W. A method for the determination of phytoplankton chlorophyll and pheophytin by fluorescence // *Deep-Sea Research*. 1963. Vol. 10. pp. 221–231.
2. Yentsch, C.S., Yentsch, C.M. Fluorescence spectral signatures: The characterization of phytoplankton populations by the use of excitation and emission spectra *Journal of Marine Research*. 1979. Vol. 37. pp. 471–483.
3. Chekalyuk A., Hafez M. Advanced laser fluorometry of natural aquatic environments *Limnology and Oceanography: Methods*. 2008. Vol. 6. pp. 591–609.
4. Franks P.J.S., Jaffe J.S. Microscale variability in the distributions of large fluorescent particles observed in situ with a planar laser imaging fluorometer *Journal of Marine Systems*. 2008. Vol. 69. pp. 254–270.
5. Prairie J. C., Franks P. J. S., Jaffe J. S. Cryptic peaks: Invisible vertical structure In fluorescent particles revealed using a planar laser imaging fluorometer *Limnology and Oceanography*. 2010. Vol. 55. № 5. pp. 1940–1958.
6. Gereit F., Hauptmann P., Matz G., Mellert V., Reuter R. Oceanology International 98 Conference Proceedings “An ROV-based sensor system for maritime pollution control”, Brighton, March 1998, Vol 2, pp. 55-68.
7. Brewer P.G. Development of a laser Raman spectrometer for deep-ocean science // *Deep Sea Res.* 2004. Vol. 51. pp. 739-753.
8. Baulo E. N., Bukin I. O., Major A. YU., Salyuk P. A. Razrabotka lazernyh tekhnologij dlya rasshireniya vozmozhnostej podvodnyh apparatov obsledovatel'skogo klassa dlya raboty v Arkticheskikh usloviyah. *Morskie intellektual'nye tekhnologii*. 2013. Т. 1. С. 38-41.
9. Bukin O. A., Pavlov A.N., Permyakov M.S., Major A.Y., Konstantinov O.G., Maleenok A.V., Ogay S.A. Continuous measurements of chlorophyll A concentration in the Pacific Ocean by shipborne laser fluorometer and radiometer: comparison with SeaWiFS data *International Journal of Remote Sensing*. 2001. Vol. 22. № 23. pp. 415-427.

УДК 621.3.083.92

МЕТОДЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ ИЗОЛЯЦИИ СЕТЕЙ ДВОЙНОГО РОДА ТОКА С ИЗОЛИРОВАННОЙ НЕЙТРАЛЬЮ

Артемьев Андрей Владимирович

кандидат технических наук, доцент
доцент кафедры Технических средств судовождения
Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского
690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, д.50 – а
тел.: 8 (423) 241-49-68; e-mail: artemyev@msun.ru

Воробьев Всеволод Владимирович

кандидат технических наук
старший научный сотрудник научно-исследовательского института морской техники
Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского
690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, д.50 – а
тел.: 8 (423) 241-49-68; vorobyev@msun.ru

Горшков Андрей Алексеевич

аспирант
Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского
690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, д.50 – а
тел.: 8 (423) 241-49-68; e-mail: gorshkov@msun.ru

Перечесов Владимир Сергеевич

кандидат технических наук, доцент
заведующий кафедрой Электрооборудования судов
Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского
690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, д.50 – а
тел.: 8 (423) 241-49-68; e-mail: perechesov@msun.ru

Аннотация

В статье приведены понятия сетей двойного рода тока с изолированной нейтралью. Дан краткий обзор существующих способов автоматизированного контроля сопротивления изоляции подобных сетей: метод уравнивающего моста; метод наложения постоянного напряжения разной полярности; метод наложения переменного напряжения; метод, учитывающий постоянную составляющую напряжения контролируемой сети до начала этапа измерения. Описано негативное влияние емкости сети двойного рода тока с изолированной нейтралью на быстрдействие устройств контроля сопротивления изоляции и возможные способы исключения данного влияния. Подробно рассмотрен способ контроля сопротивления изоляции сетей двойного рода тока методом наложения двухступенчатого напряжения. Описана конструкция устройства контроля сопротивления изоляции сетей двойного рода тока с изолированной нейтралью построенного на методе наложения двухступенчатого напряжения.

Ключевые слова: изоляция, судовая сеть, изолированная нейтраль, сопротивление, напряжение, метод наложения, двухступенчатое напряжение

METHODS FOR AUTOMATIC MONITORING OF INSULATION RESISTANCE OF AC/DC SHIP UNGROUNDED NETWORKS

Artemyev Andrei Vladimirovich

Associate professor, Cand. Sci. Tech.
Associate professor of department of Technical aids to navigation
Maritime state university named Admiral Nevelskoi
50 – a, Verkhneportovaya st., 690059, Vladivostok, Russia
tel.: 8 (423) 241-49-68; e-mail: artemyev@msun.ru

Vorobyev Vsevolod Vladimirovich

Cand. Sci. Tech.

Senior scientific researcher of R&D Institute of Marine Engineering
Maritime state university named Admiral Nevelskoi
50 – a, Verkhneportovaya st., 690059, Vladivostok, Russia
tel.: 8 (423) 241-49-68; vorobyev@msun.ru

Gorshkov Andrei Alekseevich

Postgraduate student
Maritime state university named Admiral Nevelskoi
50 – a, Verkhneportovaya st., 690059, Vladivostok, Russia
tel.: 8 (423) 241-49-68; e-mail: gorshkov@msun.ru

Perechesov Vladimir Sergeevich

Associate professor, Cand. Sci. Tech.
Head of department of Ships electrical equipment
Maritime state university named Admiral Nevelskoi
50 – a, Verkhneportovaya st., 690059, Vladivostok, Russia
tel.: 8 (423) 241-49-68; e-mail: perechesov@msun.ru

Abstract

The paper gives a concept of double current type circuits with insulated neutral. A quick overview of existing methods for automatic monitoring of insulation resistance of such circuits is provided: method of balanced bridge; method of superimposing direct current of different polarity; method of superimposing alternating current; method, accounting direct current component of the checked circuit prior to the measuring stage commencement. Negative influence of the double current type circuits with insulated neutral capacitance upon the quick operation of the insulation resistance monitoring devices is described, as well as possible ways of eliminating this influence are. The method of monitoring insulation resistance of double current type circuits by superimposing two-step voltage is considered in depth. The design of the insulation resistance of double current type circuits monitoring device, based on superimposing two-step voltage method is described.

Key words: insulation, ship's power mains, insulated neutral, resistance, voltage, method of superimposing, two-step voltage

1. Введение

Для надежного и бесперебойного снабжения приемников электроэнергии, снижения рисков возникновения пожаров и взрывов, повышения электробезопасности обслуживающего персонала повсеместное распространение на судах получили судовые электроэнергетические системы (СЭЭС) с изолированной нейтралью (IT системы).

Согласно правилам Российского морского регистра судоходства [1] для каждой СЭЭС с номинальным напряжением выше 50 В переменного тока и 110 В постоянного тока должен применяться непрерывный или периодический (с интервалами не более 300 сек) контроль величины сопротивления изоляции токоведущих частей относительно корпуса судна.

Техническое состояние электрической изоляции, контролируется по значению ее сопротивления относительно корпуса. Данный контроль осуществляется устройствами контроля изоляции (УКИ).

Функция УКИ заключается в измерении сопротивления изоляции сетей под рабочим напряжением, с оказанием минимального влияния на систему. По результатам измерения производится оценка, путем сравнения с уставкой, задаваемой, как правило, по условиям электробезопас-

ности, и, в случае превышения которой, подается сигнал на включении сигнализации.

Последние десятилетия, благодаря массовому внедрению преобразовательной техники на основе силовой электроники, получили распространения так называемые сети двойного рода тока.

Для сети двойного рода тока характерно присутствие, помимо переменного синусоидального напряжения, постоянной составляющей напряжений фаз контролируемой сети относительно корпуса судна. Величина постоянной составляющей оказывает существенное влияние на результаты измерений, сопротивление изоляции сети может в разы отличаться от показаний приборов использующих методы наложения постоянного напряжения.

Для контроля сопротивления изоляции сетей двойного рода тока с изолированной нейтралью разработано множество методов. Основной проблемой использование большинства из них является низкое быстродействие из-за существенной эквивалентной емкости сети относительно корпуса судна.

2. Сеть двойного рода тока

Сетью двойного рода тока называется сети переменного тока, гальванически связанные с

цепями постоянного тока. Примерами таких сетей являются сети, содержащие различные управляемые электроприводы, системы автоматики, в которых питание осуществляется от сети или источника переменного тока через выпрямители, и т. п.

В подобных сетях величина эквивалентного сопротивления изоляции [2,3] определяется пятью составляющими: сопротивлениями изоляции $R_{изА}$, $R_{изВ}$, $R_{изС}$ фаз сети переменного тока и сопротивлениями изоляции и $R_{из}^+$, $R_{из}^-$ полюсов цепи постоянного тока.

Традиционные методы измерений в сетях переменного тока оказываются непригодными для сетей двойного рода тока. Это связано тем, что в сети двойного рода отрицательный и положительный полюса имеют определенные потенциалы относительно изоляции корпуса.

Разница этих потенциалов, через полупроводниковый выпрямитель переносятся на цепи переменного тока, смещая значение напряжения фаз относительно корпуса.

Для иллюстрации присутствия постоянной составляющей в сетях двойного рода тока произведем компьютерное моделирование схемы по-

казанной на рисунке 1 в SPICE-симулятор LTSpice, предназначенном для моделирования работы аналоговых и цифровых электрических цепей.

В результате моделирования были получены временные диаграммы напряжения между фазой и корпусом сети двойного рода тока. На рисунке 2 а диаграмма напряжения при равенстве сопротивлений изоляции полюсов цепи постоянного тока, на рис. 2 б и в при разностях сопротивлений в один порядок.

Как видно из диаграмм, при равенстве сопротивлений изоляции полюсов относительно земли (корпуса) $R_{из}^+$, $R_{из}^-$, переменная напряжение одной из фаз относительно земли никак не смещено. При разнице сопротивлений на один порядок имеем смещение напряжения в положительную или отрицательную сторону относительно нуля. Равномерное изменение сопротивления изоляции обоих полюсов относительно корпуса характерно для небольших по размерам устройств, так как в этом случае наиболее вероятно равномерное воздействие внешней среды на объект в целом.

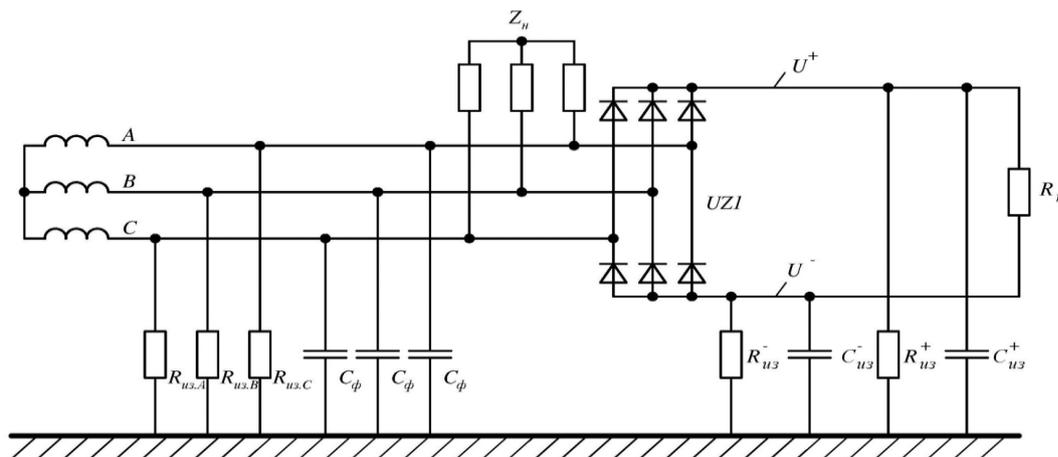


Рис. 1. Схема замещения сети двойного рода тока

Для мощных устройств, имеющих большие габариты и разветвленные кабельные соединения внешнего воздействия на изоляцию положительного и отрицательного полюсов будут не равномерны в большинстве случаев. Дальнейшем это приводит к неравенству значений сопротивления изоляции полюсов относительно корпуса, внося постоянную составляющую в работу участка сети переменного тока.

Обычные методы контроля сопротивления изоляции, используемые в сетях постоянного или переменного тока в большинстве случаев оказываются не пригодны для сетей двойного рода тока [2,3].

3. Методы контроля сопротивления изоляции сетей двойного рода тока

Устройств и способов для измерения сопротивления изоляции сетей двойного рода тока достаточно много. Как правило, они основаны на способах, применимых для сетей постоянного или переменного тока.

Использование наложение постоянного напряжения на контролируемую сеть двойного рода тока, с предварительным измерением постоянной составляющей для учета в процессе измерения применено УКИ SIM-Q производства DEIF [4].

Прибор выпускается в двух вариантах:

- SIM-Q предназначен для применения с преобразователями частоты в диапазоне от 20 до 500 Гц;

- SIM-Q LF предназначен для применения с преобразователями частоты в диапазоне от 5 до 500 Гц.

Основным недостатком таких приборов является очень большое время измерения, которое при значении емкости сети в 50 мкФ составляет 450 с, а при 500 мкФ - 2400 с.

Простым и достаточно универсальным способом контроля сопротивления изоляции сетей с изолированной нейтралью является метод наложения на контролируруемую сеть измерительного напряжения низкой частоты порядка 1,5-20 Гц.

Известны отечественные разработки прибора с генератором оперативного напряжения частотой 20 Гц, выполненные применительно к электроустановкам угольных разрезов (разработки ДонуГИ).

Фирма Schneider-Electric, Франция, выпускает приборы Vigilohm IM10, IM20 и IM400 с оперативным источником частотой 2,5 Гц [5].

При этом применение подобного метода ограничено сетями с небольшой емкостью относительно земли, т.к. сложно отфильтровать ем-

костную составляющую тока утечки. В работах, выполненных в Центральном научно-исследовательском институте судовой электротехники и технологии в конце 1980-х годов, была доказана возможность решения проблемы контроля сопротивления изоляции сетей постоянного и переменного тока емкостью до 10-20 мкФ при выборе частоты измерительного напряжения равной 2 Гц [6]. При емкостях сети порядка сотен мкФ этот способ не может быть использован, т. к. частоту измерительного напряжения в таких случаях следовало бы принимать равной 0,01 Гц, для уменьшения влияния емкостного сопротивления, что чрезмерно усложняет систему измерения.

Одним из решений [7], позволяющим отфильтровывать емкостную составляющую в токе утечки является метод наложения переменного напряжения, с изменяющейся частотой. Т.к. активный ток утечки не зависит от частоты, и с изменением частоты происходит изменение только емкостной составляющей тока.

Самым распространенным методом используемым для измерения сопротивления изоляции в сетях двойного рода тока является метод наложения постоянного напряжения разной полярности.

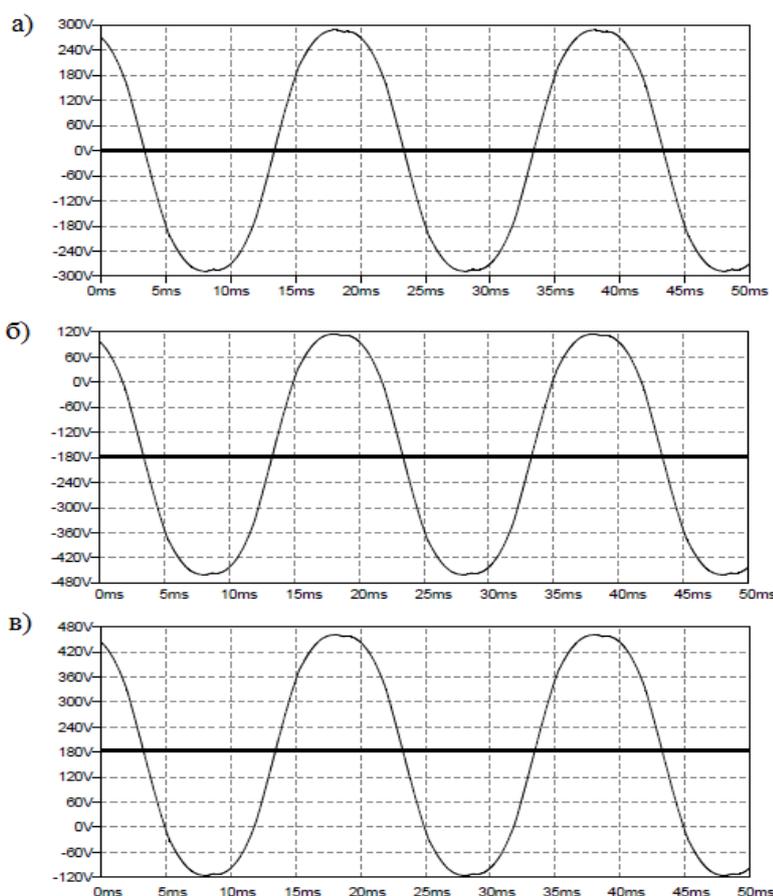


Рис. 2. Временные диаграммы напряжения между корпусом и фазой снятые в процессе моделирования сети двойного рода тока: а) при $R_{ИЗ}^+ = R_{ИЗ}^-$; б) при $R_{ИЗ}^+ < R_{ИЗ}^-$; в) при $R_{ИЗ}^+ > R_{ИЗ}^-$.

Суть метода в том, что в измерительную цепь включают измерительный источник стабилизированного напряжения, а после завершения переходного процесса измеряют силу тока, протекающего по измерительной цепи. Измеренная величина и направление тока фиксируются. Затем меняют полярность измерительного напряжения и снова производят фиксацию установившихся величин и направления тока в измерительной цепи. Алгебраическая сумма измеренных токов позволяет однозначно определить величину сопротивления изоляции. Практическая формула, применяемая при расчетах по этому методу, имеет вид:

$$R_{\text{экв.из}} = \frac{E_{\text{изм}}^+ - E_{\text{изм}}^-}{I^+ - I^-} - R_{\text{доп}} \quad (1)$$

где $R_{\text{экв.из}}$ – сопротивление изоляции контролируемой сети; $R_{\text{доп}}$ – прецизионное дополнительное сопротивление в измерительной цепи, включаемое последовательно с источником измерительного напряжения и сопротивлением изоляции; I^+ и I^- – соответствующие токи в измерительной цепи.

С некоторой модификацией этот метод используется мировым лидером в сфере контроля сопротивления изоляции компанией «W.Bender GmbH» [8].

В сеть подаются импульсы разной полярности с одинаковой амплитудой. Приборы при по-

мощи встроенного микропроцессора вычисляют емкость сети, на основе которой автоматически задается длительность импульсов. Данный метод назвали «Adaptive Measuring Pulse» или AMP. На точность подобного метода влияют широкополосные помехи, создаваемые преобразовательной техникой, что создает определенные пределы на использование метода в сетях с двойным родом тока.

Для решения данной проблемы компания «W.Bender GmbH» разработала метод AMPPlus, отличающийся от предыдущего возможностью подавления помех цифровой фильтрацией.

Еще одним прибором использующий метод чередования полярности напряжения используется в отечественном УКСИ ЦМ1628 [9] производства завода «Вибратор». В устройстве, для ускорения заряда емкости сети на первом этапе наложения используется источник тока измерения, с последующим его переходом на постоянное стабилизированное напряжения для измерения величины тока утечки, далее подключается источник тока с переходом на постоянное напряжение отрицательной полярности.

В замен метода с чередованием полярности может быть применен наложения ступенчатого напряжения (рис.3.), имеющий по сравнению с чередованием полярности более простую реализацию, т.к. требует использования одного источника напряжения, уровень которого изменяется путем регулирования цепи обратной связи.

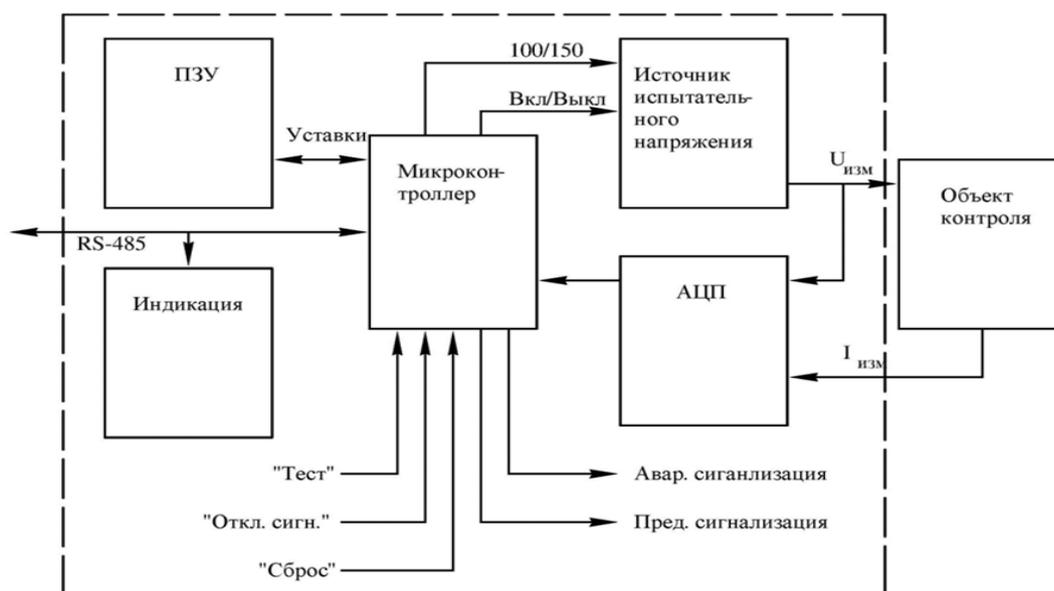


Рис. 3. Структурная схема УКИ построенного на основе метода наложения ступенчатого напряжения

Литература

1. Российский морской регистр судоходства. Правила классификации и постройки морских судов: в 3 томах.// Т.2. – СПб.: Российский морской регистр судоходства, 2014. – 765 с.

2. Иванов Е.А., Кузнецов С.Е. Методы контроля изоляции судовых электроэнергетических систем: учеб. пособие. СПб.: Элмор, 1999. - 80 с.
3. Соломенцев К.Ю. Методы и устройства контроля сопротивления изоляции и емкости для систем управления электроэнергетическими объектами: диссертация ... кандидата технических наук. - Новочеркасск, 2009. - 225 с.
4. Сайт компании ДВК Электро, представителя фирмы DEIF в России - <http://www.dvk-electro.ru/01panelInstr/resist.html>
5. Vigilohm. Catalog Schneider-Electric. 2014 - <http://www.schneider-electric.com/documents/catalogue>
6. Калашников Н.С., Кустов А.Г. Перспективные методы контроля сопротивления изоляции разветвленных электрических сетей. // «ЭлектроФорум»
7. Trafox Superintend - <http://www.trafox.fi>
8. Bender Main catalog 2014
http://www.bender-de.com/fileadmin/products/c/Bender-Main-Catalogue_HK_en.pdf
9. Мегометр цифровой ЦМ1628: Руководство по эксплуатации - СПб.: ОАО «Приборостроительный завод «ВИБРАТОР» - 21с.

References

1. Rossijskij morskoy registr sudohodstva. Pravila klassifikacii i postrojki morskix sudov: v 3 tomah. T.2. – СПб.: Rossijskij morskoy registr sudohodstva, 2014. – 765 s.
2. Ivanov E.A., Kuznecov S.E. Metody kontrolya izolyacii sudovyh ehlektroehnergeticheskix sistem: ucheb. posobie. SPb.: EImor, 1999. - 80 s.
3. Solomencev K.YU. Metody i ustrojstva kontrolya soprotivleniya izolyacii i emkosti dlya sistem upravleniya ehlektroehnergeticheskimi ob"ektami: dissertaciya ... kandidata tekhnicheskix nauk.: - Novocherkassk, 2009. - 225 s.
4. Sajt kampanii DVK EHlektro, predstavatelya firmy DEIF v Rossii - <http://www.dvk-electro.ru/01panelInstr/resist.html>
5. Vigilohm. Catalog Schneider-Electric. 2014 - <http://www.schneider-electric.com/documents/catalogue>
6. Kalashnikov N.S., Kustov A.G. Perspektivnye metody kontrolya soprotivleniya izolyacii razvetv-lennyh ehlektricheskix setej. «EHlektroForum»
7. Trafox Superintend - <http://www.trafox.fi>
8. Bender Main catalog 2014
http://www.bender-de.com/fileadmin/products/c/Bender-Main-Catalogue_HK_en.pdf
9. Megometr cifrovoj CM1628: Rukovodstvo po ehkspluatacii - SPb.: ОАО «Приборостроител'nyj za-vod «VIBRATOR» - 21s.

УДК 629.12.001.2

**РАЗРАБОТКА АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСОВ ДЛЯ
МАЛОГАБАРИТНЫХ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ
В ЦЕЛЯХ МОНИТОРИНГА МОРСКИХ АКВАТОРИЙ****Букин Олег Алексеевич**

доктор физико-математических наук, профессор
проректор по научной работе
Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского
690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, д.50 – а
тел.: 8 (423) 241-44-95; e-mail: o_bukin@mail.ru

Матецкий Владимир Тимофеевич

старший научный сотрудник научно-исследовательского института морской техники
Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского
690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, д.50 – а
тел.: 8-950-295-55-75

Буров Денис Викторович

кандидат физико-математических наук
директор научно-исследовательского института морской техники
Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского
690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, д.50 – а
тел.: 8-904-627-12-30; e-mail: burov@msun.ru

Прощенко Дмитрий Юрьевич

научный сотрудник научно-исследовательского института морской техники
Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского
690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, д.50 – а
тел.: 8-924-232-49-64; e-mail: dima.prsk@mail.ru

Коровецкий Денис Александрович

студент
Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского
690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, д.50 – а
тел.: 8-950-292-00-05

Перцев Алексей Олегович

студент
Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского
690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, д.50 – а
тел.: 8-964-436-22-02; e-mail: peretsmob@mail.ru

Маркин Михаил Евгениевич

аспирант
Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского
690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, д.50 – а
тел.: 8-914-652-66-79; e-mail: markin@msun.ru

Майор Александр Юрьевич

доктор технических наук
старший научный сотрудник научно-исследовательского института морской техники
Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского
690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, д.50 – а
тел.: 8-950-295-55-75; e-mail: mayor@iacp.dvo.ru

Шмирко Константин Александрович

кандидат физико-математических наук
младший научный сотрудник научно-исследовательского института морской техники
Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского
690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, д.50 – а
тел.: 8-924-233-23-61

Салюк Павел Анатольевич

кандидат физико-математических наук, доцент
заведующий лабораторией
Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева
Дальневосточного отделения Российской академии наук
690041, Владивосток, ул. Балтийская, 43
тел.: (423) 231-14-00; e-mail: salyuk@gmail.com

Аннотация

В работе приводятся результаты разработки методик и аппаратно-программных комплексов, предназначенных для измерения параметров ледовых полей на морских акваториях, регистрации разливов нефти, а также концентрации хлорофилла-А с использованием малогабаритных беспилотных летательных аппаратов (МБПЛА). В качестве измерителей толщины льда рассмотрены два аппаратно-программных комплекса (АПК). Первый предназначен для проведения измерений дистанционно, с использованием георадара, второй – акустический, параметрический, с посадкой МБПЛА на лёд. Сделана оценка технических параметров акустического, параметрического измерителя. АПК лазерной спектроскопии обеспечивает регистрацию растворенных в морской воде органических веществ (РОВ), хлорофилла-А и сигнала комбинационного рассеяния (КР) воды. В этом АПК монтируется поляризационная камера для детектирования нефтяной плёнки на морской поверхности. Приводится разработанная для МБПЛА схема многоканального лазерного спектрометра лидарного типа.

Ключевые слова: мониторинг акваторий, морские акватории, беспилотный летательный аппарат, аппаратно-программный комплекс

DEVELOPMENT OF HARDWARE-SOFTWARE SYSTEMS FOR SMALL UNMANNED AIRCRAFT DEVICES TO MONITOR SEA AREAS**Bukin Oleg Alexeevich**

Professor, Dr.Sci. Phys.-math.
Vice-rector
Maritime state university named Admiral Nevelskoi
50 – a, Verkhneportovaya st., 690059, Vladivostok, Russia
tel.: 8 (423) 241-44-95; e-mail: o_bukin@mail.ru

Matetskiy Vladimir Timofeevich

Senior research scientist of R&D Institute
Marine Engineering of Maritime state university named Admiral Nevelskoi
50 – a, Verkhneportovaya st., 690059, Vladivostok, Russia
tel.: 8-950-295-55-75

Burov Denis Viktorovich

Cand. Sci. Phys.-math.
Director of R&D Institute of Marine Engineering
Maritime state university named Admiral Nevelskoi
50 – a, Verkhneportovaya st., 690059, Vladivostok, Russia
tel.: 8-904-627-12-30; e-mail: burov@msun.ru

Proshenko Dmitriy Yurievich

Research scientist of R&D Institute of Marine Engineering
Maritime state university named Admiral Nevelskoi
50 – a, Verkhneportovaya st., 690059, Vladivostok, Russia
tel.: 8-924-232-49-64; e-mail: dima.prsk@mail.ru

Korovetskiy Denis Aleksandrovich

Student
Maritime state university named Admiral Nevelskoi
50 – a, Verkhneportovaya st., 690059, Vladivostok, Russia
tel.: 8-950-292-00-05

Pertsev Aleksey Olegovich

Student

Maritime state university named Admiral Nevelskoi
50 – a, Verkhneportovaya st., 690059, Vladivostok, Russia
tel.: 8-964-436-22-02; e-mail: peretsmob@mail.ru

Markin Mikhail Evgenievich

Postgraduate student
Maritime state university named Admiral Nevelskoi
50 – a, Verkhneportovaya st., 690059, Vladivostok, Russia
tel.: 8-914-652-66-79; e-mail: markin@msun.ru

Mayor Alexander Yurievich

Dr.Sci. Tech.
Senior research scientist of R&D Institute of Marine Engineering
Maritime state university named Admiral Nevelskoi
50 – a, Verkhneportovaya st., 690059, Vladivostok, Russia
tel.: 8-950-295-55-75; e-mail: mayor@iacp.dvo.ru

Shmirko Konstantin Aleksandrovich

Cand. Sci. Phys.-math.
Junior research scientist of R&D Institute of Marine Engineering
Maritime state university named Admiral Nevelskoi
50 – a, Verkhneportovaya st., 690059, Vladivostok, Russia
tel.: 8-924-233-23-61

Salyuk Pavel Anatolievich

Associate professor, Cand. Sci. Phys.-math.
Head of laboratory
Pacific Oceanological Institute named Academician Illichev
of Far Easter Branch of Russian Academy of Science
43, Baltiyskaya st., 690041, Vladivostok, Russia
tel.: (423) 231-14-00; e-mail: salyuk@gmail.com

Abstract

The paper presents the results of the development of methods and hardware-software designed for measuring ice floes in the sea areas, registration of oil spills, as well as chlorophyll-A concentration using a small unmanned aerial vehicle. Two hardware-software complexes were considered for measuring ice thickness. The first is designed for measurements remotely using GPR. The second - acoustic, parametric with small unmanned aerial vehicle landing on the ice. The estimation of the technical parameters of acoustic, parametric meter was done. Hardware-software complex laser spectroscopy provides registration dissolved in seawater organic matter, chlorophyll-A and Raman signal of water. This hardware-software complex is mounted camera to detect the polarization film of oil on the sea surface. The actuators are designed for multi-channel scheme lidar laser spectrometer type.

Key words: small unmanned aerial vehicle, the measurement of the thickness of the ice, laser spectroscopy, the safety of navigation, environmental monitoring

1. Введение

Освоение ископаемых ресурсов шельфа Ледовитого океана обуславливает необходимость развития морской транспортной инфраструктуры северного морского пути (СМП), важнейшей частью которой является обеспечение безопасности мореплавания. Основой безопасной эксплуатации СМП являются надежные прогнозы ледовой обстановки, для описания которой используется комплекс параметров, таких как сплоченность, возраст, толщина, размер ледяных полей, состояние поверхности, скорость и направление дрейфа и т.д. Массивы требуемых параметров получают дистанционными методами с использованием космических аппаратов. Обеспечивая глобальность съемки, дистанционные методы не

дают требуемого для судовождения пространственного разрешения сплоченности льда и точности оценки его толщины. Для актуализации и уточнения подспутниковых данных требуются оперативные локальные наблюдения сплоченности льда и его толщины на дистанциях в радиусе до 3-5 миль от судна. Одним из возможных типов носителей измерительного оборудования на такие дистанции могут быть малогабаритные беспилотные летательные аппараты (МБПЛА) [1]. Преимуществом использования МБПЛА являются экономичность, возможность размещения на любом типе судна, отсутствие экипажа, оперативность развёртывания. МБПЛА, снабженные аппаратно-программными комплексами для проведения мониторинга ледовой обстановки, могут зна-

чительно повысить эффективность прохождения ледовых полей. Кроме того, при размещении на них специализированного оборудования дистанционного обнаружения нефтяной пленки на поверхности воды, возможно проведение локального мониторинга нефтяных загрязнений морских акваторий.

Для решения вышеуказанных задач мореплавания в условиях СМП и экологического мониторинга морских акваторий разрабатывается аппаратно-программный комплекс с возможностью интегрирования на МБПЛА.

Разрабатываемый измерительный комплекс, в составе: - система визуализации высокого разрешения с поляризационной камерой; - система позиционирования; - радиочастотный дистанционный и акустический контактный измерители толщины льда; - лазерный спектрометр для обнаружения нефтяных пленок на морской поверхности и определения концентрации хлорофилла-А. Вышеперечисленные измерительные системы предполагается размещать в различных сочетаниях на МБПЛА.

Малая величина полезной нагрузки, носимой МБПЛА, налагает специфические требования к измерительному оборудованию по массогабаритным параметрам и энергопотреблению. Удовлетворение этим параметрам требует привлечения новых технологий и методик измерения.

В измерительном комплексе используются как существующие, удовлетворяющие предъявляемым требованиям приборы и устройства, так и оригинальные разработки.

2. Малогабаритный беспилотный летательный аппарат

Предварительные оценки необходимых летательных характеристик МБПЛА были получены в ходе испытаний в арктических широтах ранее разработанного нами МБПЛА – М-1 [2]. Исходя из условий и допустимых параметров работы измерительного оборудования, а также обеспечения безопасного и экономически эффективного мореплавания в ледовой обстановке СМП были выявлены следующие основные требования к разрабатываемому летательному аппарату (ЛА):

- контролируемый полёт с удалением от судна не менее 3- 5-ти миль, при ветре любого направления относительно направления полета, до 5 м/с;
- полет с навесными модулями целевой нагрузки весом до 5 кг;
- время полета до одного часа;
- простое управление обученными членами экипажа судна.

Анализ рынка МБПЛА показал, что среди предлагаемых моделей нет приемлемых по критерию надежности в арктических условиях эксплуатации и отвечающих предъявляемым требованиям по заявленным летным характеристикам.

Вместе с тем, рынок комплектующих устройств МБПЛА достаточно насыщен для создания ЛА, отвечающего заданным требованиям. В сотрудничестве с компанией FOXTECH NOVBY CO., LTD такой ЛА был разработан и изготовлен. Основные технические характеристики МБПЛА приведены в таблице 1

Таблица 1

Характеристика	Значение
Полётное время	50минут
Максимальный полётный вес	до 25кг
Максимальная полезная нагрузка	до 12кг
Дальность полёта	До 5 миль

На основе опыта эксплуатации коптера М-1 в арктических условиях и анализа существующего рынка, принято решение использовать моторы и пропеллеры компании T-motor, обеспечивающие заданные летные характеристики при оптимальном соотношении цены-качества. Проведенные испытания показали соответствие реальных технических характеристик двигателей заявленным.

Энергоснабжение МБПЛА осуществляется аккумуляторами RV Endurance емкостью 24,4Ач/1360гр, имеющими наиболее высокое соотношение емкость/масса.

Дистанционное управление ЛА осуществляется с помощью малогабаритных электромеханических преобразователей.

Навигация ЛА производится счислением относительно координат судна по бортовому лагу и компасу. Кроме того, для целей навигации и управления МБПЛА оборудован аналоговой видеокамерой высокого разрешения, передающей изображение по радиоканалу полосой 8 МГц на несущей частоте 1.2 ГГц. Изображение полетной обстановки поступает в судовой компьютер и отображается на дисплее в реальном времени. Здесь же отображаются данные навигационных приборов.

Система теленаблюдения выполняет так же целевую задачу по определению сплоченности льда. Программа обработки изображений производит построение ледовой карты с привязкой ЛА к координатной сетке. При повторных вылетах ЛА рассчитывает характеристики ледового дрейфа. Встроенный программный сервис позволяет проводить оценку состояния поверхности льда, его торосистость, получать линейные размеры разводий и полыней, а так же их площади.

3. Георадар для измерения толщины и структуры льда

В качестве дистанционного средства измерения толщины льда предложено использовать радиочастотное устройство - «Пикор-Лёд», совместной разработки ОАО ФПК «ЭКСТРА» и ОАО «КБОР», являющееся сверхвысокочастотным геолокатором высокого разрешения. Основой устройства является микросхема однокристалль-

ного, микромощного, микроволнового, сверхширокополосного радиолокатора NVA6100 [3], разработанного фирмой Novelda, Норвегия. Главной особенностью этого радиолокатора является сверхвысокая временная разрешающая способность – 26, 52 или 280 пс. Столь высокое разрешение обеспечивается за счет излучения видеоимпульса чередующейся полярности в форме производной от импульса вида Гаусса, с шириной спектральной полосы до 10 ГГц. Реализованное в радиолокаторе пространственное разрешение достигает четырех миллиметров для свободного пространства.

Излучение и прием осуществляется щелевыми полосковыми антеннами бегущей волны типа Вивальди. Главным преимуществом таких антенн является широкополосность, превышающая несколько ГГц. Данные, получаемые радиолокатором, выдаются через SPI и далее USB интерфейсом в ноутбук. Формат данных – кадры из 512 -и 32-х битных слов. Программный комплекс компьютера выполняет операции по инициализации и управлению режимами радиолокатора, определяет границы льда, переводит временной масштаб данных в линейный, отображает и хранит результаты обработки.

По данным разработчика, устройство «Пикор-Лед» позволяет измерять толщины пресноводного льда до 2-х м, с погрешностью, не превышающей 2 см. Масса локатора с антеннами менее 2-х кг. Прибор может измерять в движении со скоростью до 40 км/час.

В краткой статье [4] сообщается, без обсуждения результатов, об опыте использования устройства «Пикор-Лёд» в высокоширотной морской экспедиции «Арктика-2012»

Наши испытания устройства «Пикор-Лед» по измерению толщины морского льда показали, что принимаемый сигнал слаб и имеет многослойную, прерывистую структуру, не позволяющую однозначно определить истинные границы льда. Это связано, по-видимому, с потерями энергии в сложной структуре морского льда, в котором одновременно присутствуют как твердая, так и жидкая фазы воды в виде рассола. Кроме того, существует анизотропия, связанная с ориентированной монокристаллической структурой льда, а так же наличием капилляров вертикальной направленности во льду, вносящие вклад в депляризацию сигнала. Эти и, возможно, другие факторы существенно ослабляют принимаемый сигнал, ухудшая соотношение сигнал/шум. Предполагается, что ситуация изменится, если применить антенны с большей направленностью. Так в статье [5] исследовалась зависимость направленных свойств антенной решетки элементов Вивальди. Здесь получены антенные решетки с коэффициентом направленного действия 20 дБ и уровнем боковых лепестков не выше минус 12 дБ. Далее необходима разработка программного обеспечения для устранения мешающих многократных отражений сигнала локатора. Несмотря

на проблемы с определением толщины морского льда георадаром, данные, получаемые с его помощью, могут быть весьма полезны благодаря возможности получения структуры льда при непрерывности получаемого ряда в движении. Для обеспечения объективности получаемых данных о толщине морского льда необходимо проводить контрольные измерения иным методом, например, контактным акустическим.

4. Акустический измеритель толщины льда

Задача измерения толщины льда успешно решается при измерениях со стороны водной среды. Таким, наиболее простым и точным является метод альтиметрии, в котором, измерением гидростатического давления, определяется заглубление нижней поверхности льда. Далее к нему добавляется рассчитанная по известной плавучести надводная часть толщины. Метод пригоден для измерения сколь угодно больших толщин льда. Применение этого метода при измерении из воздушной среды требует наличия открытой воды и принципиально менее точен, поскольку меньшая часть льда (1/6-1/15), возвышается над поверхностью воды.

Для измерения толщины льда из воздушной среды более пригоден акустический метод, основанный на эхолокации. В сравнении с дистанционными методами измерения толщины морского льда акустический метод дает более надежные данные, не оставляющие места их субъективной интерпретации. Вместе с тем у метода есть существенный недостаток, снижающий эффективность его использования для площадных съемок – необходимость в непосредственном контакте измерительного прибора со льдом в процессе измерения. Несмотря на это, метод может быть весьма полезен в ледовой разведке, как эталонный, позволяющий калибровать косвенные дистанционные методы, эффективные при площадных съемках, но дающие менее надежные данные. Точность измерения толщины льда акустическим методом зависит от того, насколько точно известна скорость звука в нем. Скорость звука в морском льду исследовалась на протяжении десятков лет, как в естественных условиях, так и в лабораторных. Экспериментальные данные имеют значительный разброс результатов отдельных измерений, связываемых, в основном, с различием погодных условий при льдообразовании и возрастом льда. Так, например, погодные условия при льдообразовании влияют на однородность кристаллической структуры льда, пространственную ориентацию и размеры монокристаллов, а так же на содержание газа во льду. Молодые однолетние льды содержат больше солей, многолетние - распреснены и более плотные. Всё это приводит к вариациям скорости звука. Практически значимые результаты могут быть получены статистическим обобщением данных, полученных исследованиями на различных типах

льда, в диапазоне изменчивости температуры воздуха. По экспериментальным данным [6], [7] в годовалых льдах толщиной до 110 см скорость продольных волн изменяется в пределах 3150-3350 м/с, при изменениях температуры от -5° до -25 °С. Скорость звука в многолетних льдах, в том же диапазоне температуры изменяется, в среднем, от 3300 до 3650 м/с. Отсюда видно, что изменчивость скорости звука внутри типа около 10%. При совместном измерении температуры воздуха, погрешность измерения можно уменьшить до 2-3%. Акустический метод измерения толщины морского льда отягощен проблемой высокого затухания энергии во льду на частотах приемлемых с позиции допустимого размера и веса антенн. Существуют эмпирические частотные зависимости [8], [9] затухания звука вида:

$$\beta = C_1 f + C_2 f^2$$

в диапазоне частот 200 – 1100 кГц.

где $c_1 = 4.8 \cdot 10^{-2}$ дБ/(м*кГц), $c_2 = 0.4 \cdot 10^{-4}$ дБ/(м*кГц²) и вида:

$$\beta = C_1 f + C_2 f^4$$

в диапазоне частот 10 – 500 кГц.

Где $c_1 = 4.45 \cdot 10^{-2}$ дБ/(м*кГц), $c_2 = 2.18 \cdot 10^{-10}$ дБ/(м*кГц⁴).

Оценки, проведенные для частоты 100 кГц, дают предел измеряемой толщины для молодого льда до ≈ 0.5 м. Из оценок энергетических потерь на распространение в толще льда и отражения от границы лёд-вода следует, что для измерения толщин льдов более 0.5 м. необходимо использовать низкие частоты, не превышающие 20-30 кГц. Непосредственное излучение столь низких частот сопряжено с необходимостью использования антенн, имеющих недопустимо большой вес для перемещения с помощью МБПЛА. Выход из этого положения видится в использовании параметрической антенны для низкочастотного зондирования льда. Оптимизм здесь обоснован многообразием нелинейных эффектов в твердых кристаллических веществах с локальными неоднородностями. Наличие динамической нелинейности параметров, существенных для распространения звука, создает условия для взаимо-

действия коллинеарных акустических лучей, в результате которого образуются гармоники и интересные нас комбинационные частоты. В [10] дана оценка эффективности нелинейного преобразования в твердых телах, составляющая ≈ 0.05%. Эффективность нелинейных преобразований зависит от нелинейного параметра среды, который для обычных жидкостей и твердых тел не превышает нескольких единиц [11]. Морской лёд занимает особое место среди твердых кристаллических веществ, поскольку является двухфазным веществом. В нём всегда есть центры кристаллизации, в которых происходит переход малого элемента вещества из одного фазового состояния в другое. В области фазового перехода существует аномальная нелинейность, превышающая любые другие типы нелинейности твердого кристаллического вещества. При большом числе центров кристаллизации в некотором объеме вещества, интегральное значение упругих свойств приобретет существенное отличие от свойств в однофазном состоянии, с возникновением аномальной нелинейности. Механизм образования аномальной нелинейности связан с термодинамическим эффектом поглощения. Поглощаясь в веществе, проходящая акустическая волна, за счет тепловыделения, вызывает возвратно поступательные фазовые переходы с модуляцией упругости. Влияние эффекта локальных фазовых переходов на нелинейность среды можно оценить с привлечением результатов теоретических исследований, проведенных для жидкой фазы вещества с центрами кристаллизации в работе [12]. Здесь приведена оценка параметра нелинейности в кристаллизующейся воде при степенной функции распределения центров кристаллизации. Параметр нелинейности в такой жидкости увеличивается более чем на три порядка. Во льду процессы кристаллизации проходят как на его поверхности, так и в глубине, особенно ярко они должны проявляться на границах фаз.

На рисунке 1 приведена блок-схема акустического, параметрического измерителя толщины льда.

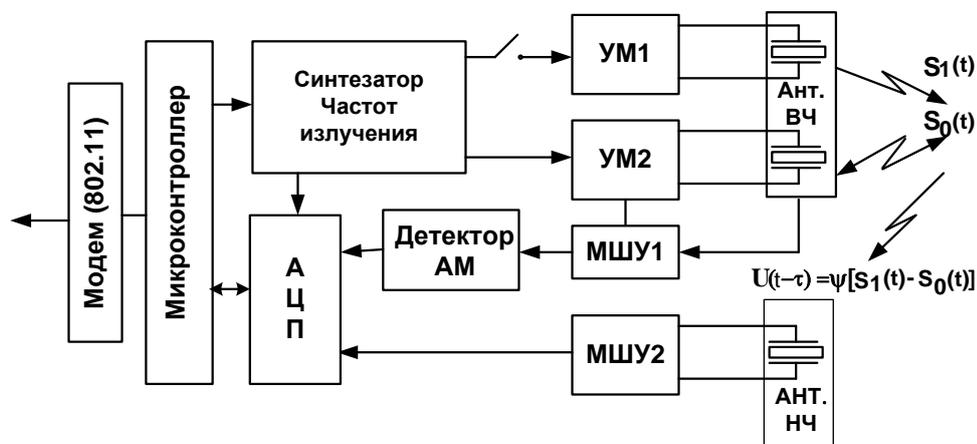


Рис. 1. Блок-схема акустического измерителя толщины льда

Блок-схема включает в себя Микроконтроллер, синтезатор частот излучения, усилители мощности УМ1, УМ2, две антенны высокочастотной накачки, низкочастотную приемную антенну, маломощные усилители МШУ1, МШУ2, детектор амплитудной модуляции, аналого-цифровой преобразователь, модем беспроводного Ethernet.

В параметрическом режиме измерения, двухканальный синтезатор, под управлением микроконтроллера, вырабатывает два коротких радиоимпульса высокочастотной накачки. Несущая частота радиоимпульса поступающего на УМ1 модулирована псевдошумовой последовательностью со спектральной полосой до 30 КГц. На УМ2 поступает радиоимпульс без дополнительной модуляции несущей. Выходы усилителей мощности нагружены высокочастотными антеннами накачки, с перекрывающимися диаграммами направленности. В результате нелинейного взаимодействия сигналов накачки, выделяется низкочастотный, шумоподобный акустический сигнал, который распространяется к нижней поверхности льда и обратно, где принимается низкочастотной антенной, усиливается в МШУ2 и далее оцифровывается. Режим прямого высокочастотного эхолотирования осуществляется по стандартной схеме совмещенного излучения/приема. В этом режиме канал с модуляцией несущей псевдошумовым сигналом отключается, прием отраженного сигнала производится высокочастотной антенной, подключенной к полосовому маломощному усилителю. Далее, после детектирования, низкочастотная огибающая радиоимпульса подается на аналого-цифровой преобразователь. Данные АЦП считываются микроконтроллером и передаются при помощи беспроводного Ethernet модема, в бортовой компьютер судна обеспечения. Здесь, в параметрическом режиме измерения, путем взаимно-корреляционной обработки, определяется задержка между излученной и принятой псевдослучайными последовательностями, соответствующая времени распространения импульса в удвоенной толщине льда. В режиме высокочастотного эхолотирования производится непосредственное измерение интервала времени между излученным и принятым сигналами. Далее полученные интервалы времени умножаются на скорость звука, взятую с учетом поправок на температуру поверхности льда. При толщине льда более одного метра вводятся поправки (рекурсивно), учитывающие особенности многолетнего льда.

Измерения проводятся при посадке МБПЛА на лед, для обеспечения непосредственного контакта с ним акустических антенн. Процесс измерения состоит из двух этапов. На первом – реализуется традиционная схема зондирования короткими акустическими импульсами с высокочастотным заполнением. На втором этапе измерения проводятся в параметрическом режиме. Для уменьшения инструментальной погрешности

производится осреднение результатов по нескольким посылкам.

Основные расчетные технические параметры акустического измерителя толщины льда:

- частота высокочастотного излучения – 120 КГц;
- толщина измеряемого льда при прямом ВЧ зондировании (молодой лед) ≤ 0.5 м;
- погрешность измерения толщины льда при прямом ВЧ зондировании $< 10\%$;
- толщина измеряемого льда в параметрическом режиме > 3 м.;
- погрешность измерения толщины льда в параметрическом режиме $< 15\%$;
- импульсная мощность излучения при прямом ВЧ зондировании – 2500 Вт.;
- импульсная мощность излучения в параметрическом режиме – 2×2500 Вт.;
- максимальное энергопотребление - ≤ 6 Вт.;
- автономность по энергетической обеспеченности 300 измерений;
- вес измерителя толщины льда - ≤ 2 кг.
- время измерения (без учета маневров МБПЛА при посадке на лёд) < 1 с.

5. Лазерный спектрометр для обнаружения нефтяных пленок на морской поверхности

Для дистанционной регистрации растворенных органических веществ (РОВ), хлорофилла-А и сигнала комбинационного рассеяния (КР) воды предлагается лидарная экспериментальная схема измерения, интегрируемая на МБПЛА (рис. 2а).

В качестве излучателя предполагается использовать полупроводниковый лазер (1) с длиной волны 405 нм и модуляцией излучения до 20 КГц. Для приема сигнала флуоресценции предлагается следующая приемная система регистрации (2), структурная схема которой представлена на рис. 2б.

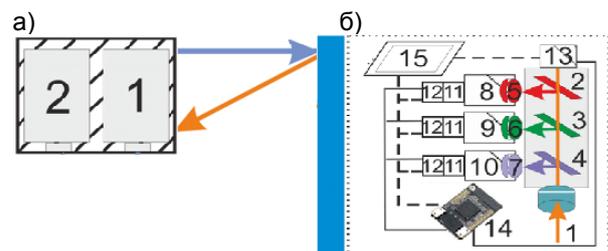


рис. 2а. – общая схема лазерного спектрометра и принцип регистрации сигнала флуоресценции; б – структурная схема приемника сигнала

Характерная спектральная характеристика принимаемого сигнала флуоресценции при возбуждении на данной длине волны представлена на рис. 3.

Обратнорассеянный сигнал (1) поступает на систему делителей, состоящую из дихроичных зеркал, с центрами полос отражения, соответствующие сигналам флуоресценции хлорофилла-

А (зеркало Shemrock FF614-SDi01 с максимумом отражения на длине волны 680 нм (2)), POB (зеркало Shemrock (500-550 нм) (FF555-Di03 с максимумом отражения на длине волны 525 нм (3)) и комбинационного рассеяния воды (зеркало Shemrock с максимумом отражения на длине волны 468 нм (4)). Отраженные сигналы направляются на соответствующие узкополосные фильтры FF01-680/42-25 (5), FF03-525/50-25 (6) и FF01-470/22-25 (7). Далее выделенные спектральные компоненты регистрируются фотоэлектронными умножителями (ФЭУ) H7827-011 (8), H7827-001 (9), H7827-001 (10) и преобразуются усилителями (11) с синхронными детекторами (12) для последующей оцифровки. Для предотвращения повреждения ФЭУ от засветки будет использоваться еще один дополнительный ФЭУ (13). При достижении прошедшего сигнала максимально допустимого значения будет осуществ-

ляться выключение питания ФЭУ микрокомпьютером типа Black Swift (14). Оцифровка сигнала ФЭУ и фотодиода осуществляется внутренним многоканальным АЦП микрокомпьютера. Полученные данные будут сохраняться на USB-накопитель с привязкой к координатам, поступающим от датчика системы глобального позиционирования.

Для расширения возможностей лазерного спектрометра предполагается использовать устройство для регистрации и картирования сликовых областей на морской поверхности. Оно состоит из черно-белой видеокамеры и поляризатора с совмещёнными оптическими осями. Поляризатор устанавливается в плоскости перпендикулярной к оптической оси камеры, его вращение осуществляется с постоянной угловой скоростью при помощи шагового двигателя.

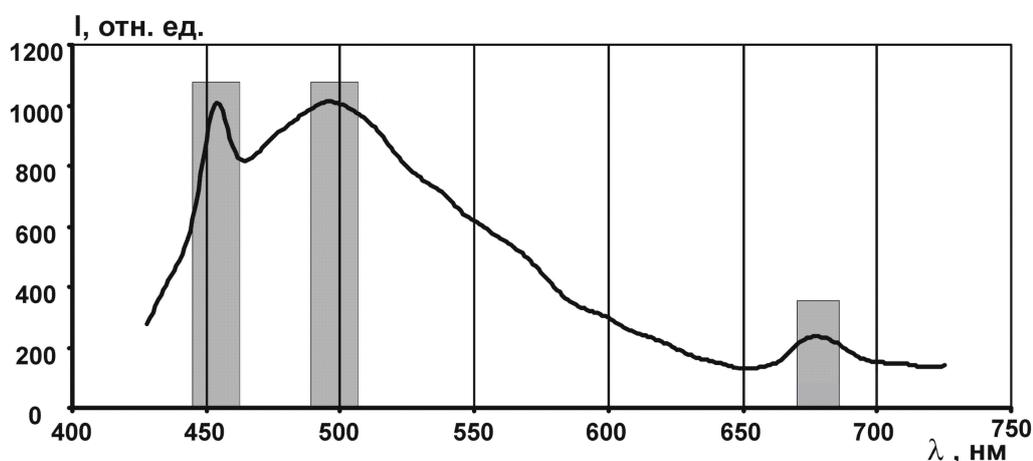


Рис. 3. Спектр флуоресценции морской воды

Принцип работы устройства заключается в измерении интенсивности отраженного излучения при трех различных ориентациях оси поляризатора ($\pm 45^\circ$, 0°). На основании этих снимков восстанавливаются значения интенсивности P поляризованной компоненты отраженного морской поверхностью излучения. Далее осуществляется поиск сликовых областей, для которых вычисляются значения контрастов в соответствии с выражением:

$$K = (I_p^{slick} - I_p^{clear}) / I_p^{clear},$$

где I_p^{slick} , I_p^{clear} – интенсивность P поляризованной компоненты от сликовой и чистой морской поверхности соответственно.

Далее выполняется их сравнение с расчетными значениями для интересующих нас типов сликов при заданной геометрии эксперимента. Наиболее близкие к расчётным значения контрастов помечаются, привязываются к географическим координатам и передаются/сохраняются на накопителе для дальнейшего анализа.

Предварительные исследования [13,14] показали, что контраст между сликом и чистой поверхностью во многом зависит от условий наблюдения и геометрии эксперимента, в частности, сюда относятся скорость и направление вет-

ра по отношению к наблюдателю, расположение наблюдателя относительно солнца, распределение освещенности и степени поляризации по небосводу. Более того, наибольший контраст (~25%) достигается при регистрации P поляризованной компоненты отраженного излучения при углах наблюдения $\sim 10^\circ$ к горизонту. В случае малых скоростей ветра (<1.5 м/с) наблюдается инверсия контрастов, что выражается в большей яркости сликов по отношению к чистой поверхности. В этом случае величина контраста достигает (~20%). Для пасмурного неба ориентация камеры должна быть вдоль направления ветра, а при ясном небе – в плоскости солнечного вертикала. Необходимо отметить, что использование бликовых максимумов контраста, наблюдающихся при ясном небе нежелательно, в виду больших яркостей отраженного излучения и его дисперсии.

Использование в качестве платформы-носителя беспилотный летательный аппарат позволяет менять ориентацию камеру по отношению к солнцу и направлению ветра для достижения оптимальных условий наблюдения, а также варьировать высоту, для увеличения радиуса обзора камеры.

Программная часть модуля состоит из: 1) блока управления шаговым двигателем поляризатора, 2) блока управления камерой, 3) блока расчета контрастов и выделения интересующих нас слик, 4) блока географической привязки результирующего изображения, а также 5) блока сохранения/передачи результатов расчета. Блок 3 подразумевает работу с базой данных предварительно рассчитанных контрастов слик/чистая поверхность для Р поляризованной компоненты отраженного излучения для различных условий наблюдения. Блок управления и обработки планируется выполнить с использованием микрокомпьютера типа Black Swift под управлением операционной системы OpenWRT.

Результатом работы поляризационной камеры станет карта и координаты «подозрительных» участков морской поверхности, на поверхности которой возможно наличие пленок нефтепродуктов. Дальнейшее их использование подразумевает углубленное исследование определенных областей другими методами, в частности при помощи флуоресцентного лидара.

Технические характеристики устройства:

- Габариты ШхГхВ 100х100х80мм
- масса без батарей питания <250г.
- рабочее напряжение 5в, ток <400 мА

6. Заключение

Разработки АПК для МБПЛА позволяет по-новому использовать существующие измерительные системы в самых разнообразных приложениях. Особенно представляет интерес их использование для проведения ледовой разведки с морских транспортных судов, когда экипажу необходимо принимать обоснованные решения о маршруте движения судна в ледовых полях и без ледокольного сопровождения. Такая ситуация имеет место в летние периоды навигации на северном морском пути. После проведения натурных испытаний и соответствующей доработки предложенных измерительных систем, они будут доступны в плане обслуживания экипажами судов, без необходимости иметь специальный квалифицированный персонал. Будет обеспечиваться их оперативное развёртывание и проведение мониторинга с движущегося транспортного средства.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ, проект № 14-19-00589.

Литература

1. Беспилотный летательный аппарат [Электронный ресурс]. – Свободная энциклопедия Википедия. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Беспилотный_летательный_аппарат2#cite_ref-autogenerated3_2-1
2. Коровецкий Д. 61-я Международная молодежная научно-техническая конференция «Молодежь. Наука. Инновации» // Беспилотные летательные аппараты для решения задач транспортной отрасли. Владивосток 2013.
3. Электронный ресурс. – Режим доступа: <http://WWW.NOVELDA.NO>
4. Симаков В.В., Ведешин Л.А., Зеркаль А. Д. Наземно-космический мониторинг ледовой обстановки в Арктике // Исследование земли из космоса. 2013. Т.2. С. 1-2.
5. Купритс В.Ю., Мешчеряков А.А. Оптимизация расположения антенных элементов Вивальди в широкополосных антенных решетках // Доклады ТУСУРа. 2010. Т.1. №21.
6. Гаврило В.П., Гусев А.В. Применение акустических методов исследования снега и льда // Труды ААНИИ. 1975. Т. 326. С. 121-127.
7. Богородский В.В., Гаврило В.П. Лед, физические свойства. Современные методы гляциологии. -Л.: Гидрометеиздат, 1980. – 384 с.
8. Богородский В.В., Гусев А.В. Затухание звуковых волн во льду в диапазоне частот 200-1100 КГц // Акустический журнал. 1973. Т. 19. № 2. С. 133-139.
9. Langleben M.P. Attenuation of sound in sea ice 10-50 kc // J. Glaciol. 1969. V. 8. № 54. pp. 399-406.
10. Гунн Сю Фень, Зарембо Л.К., Красильников В.А. Нелинейное взаимодействие упругих волн в твердых телах // Акустический журнал. 1965. Т. 11. № 1.
11. Красильников В.А. Крылов В.В. Введение в физическую акустику, М.: Наука, 1984. С. 403.
12. Буланов В.А. О нелинейных акустических характеристиках кристаллизующейся жидкости // Сборник трудов 1-ой Всероссийской акустической конференции. Москва 2014
13. Константинов О.Г., Павлов А.Н. Комплексный контроль состояния морских акваторий оптическими методами. Часть 2. Регистрация загрязнений на морской поверхности // Оптика атмосферы и океана. 2012. Т. 25. № 10. С. 902-908.
14. Константинов О.Г., Павлов А.Н. Комплексный контроль состояния морских акваторий оптическими методами. Часть 3. Регистрация динамических процессов по слайкам на морской поверхности // Оптика атмосферы и океана. 2013. Т. 26. № 1. С. 38-45.

References

1. Bespilotnyj letatel'nyj apparat [EHlektronnyj resurs]. – Svobodnaya ehnciklopediya Vikipediya. – Rezhim dostupa: https://ru.wikipedia.org/wiki/Bespilotnyj_letatel'nyj_apparat2#cite_ref-autogenerated3_2-1

2. Koroveckij D. 61-ya Mezhdunarodnaya molodezhnaya nauchno-tehnicheskaya konferenciya «Molodezh'. Nauka. Innovacii» // *Bespilotnye letatel'nye apparaty dlya resheniya zadach transportnoy otras-li. Vladivostok* 2013.
3. EHlektronnyj resurs. – Rezhim dostupa: <http://WWW.NOVELDA.NO>
4. Simakov V.V., Vedeshin L.A., Zerkal' A. D. Nazemno-kosmicheskij monitoring ledovoj obstanovki v Arktike Issledovanie zemli iz kosmosa. 2013. T.2. S. 1-2.
5. Kuprits V.YU., Meshcheryakov A.A. Optimizaciya raspolozheniya antennyh ehlementov Vival'di v shirokopolosnyh antennyh reshetkah *Doklady TUSURa*. 2010. T.1. №21.
6. Gavrilov V.P., Gusev A.V. Primenenie akusticheskikh metodov issledovaniya snega i l'da // *Trudy AANII*. 1975. T. 326. S. 121-127.
7. Bogorodskij V.V., Gavrilov V.P. Led, fizicheskie svoystva. *Sovremennye metody glyciologii*. -L.: Gidrometeoizdat, 1980. – 384 s.
8. Bogorodskij V.V., Gusev A.V. Zatuhanie zvukovyh voln vo l'du v diapazone chastot 200-1100 KGc *Akusticheskij zhurnal*. 1973. T. 19. № 2. S. 133-139.
9. Langleben M.P. Attenuation of sound in sea ice 10-50 kc // *J. Glaciol*. 1969. V. 8. № 54. pp. 399-406.
10. Gunn Syu Fen', Zarembo L.K., Krasil'nikov V.A. Nelinejnoe vzaimodejstvie uprugih voln v tver-dyh telah *Akusticheskij zhurnal*. 1965. T. 11. № 1.
11. Krasil'nikov V.A. Krylov V.V. *Vvedenie v fizicheskuyu akustiku*, M.: Nauka, 1984. S. 403.
12. Bulanov V.A. O nelinejnyh akusticheskikh karakteristikah kristallizuyushchejsya zhidkosti *Sbornik trudov 1-oj Vserossijskoj akusticheskoy konferencii*. Moskva 2014
13. Konstantinov O.G., Pavlov A.N. Kompleksnyj kontrol' sostoyaniya morskikh akvatorij opticheskimi metodami. *CHast' 2. Registraciya zagryaznenij na morskoj poverhnosti Optika atmosfery i okeana*. 2012. T. 25. № 10. S. 902-908.
14. Konstantinov O.G., Pavlov A.N. Kompleksnyj kontrol' sostoyaniya morskikh akvatorij opticheskimi metodami. *CHast' 3. Registraciya dinamicheskikh processov po slikam na morskoj poverhnosti // Op-tika atmosfery i okeana*. 2013. T. 26. № 1. S. 38-45.

УДК 621.313.47.05.15

ШУМОВАЯ ДИАГНОСТИКА ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ МОРСКОГО ТРАНСПОРТА

Клоков Владимир Викторович

кандидат технических наук, доцент
директор морского института информационных технологий
Морской государственной университет им. адм. Г.И. Невельского
690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, д.50 – а
тел.: 8-908 44-99-089; e-mail: klokov@msun.ru

Лосев Валерий Лазаревич

кандидат технических наук, доцент
проректор по учебной работе
Дальневосточный институт коммуникаций
690013, г. Владивосток, ул. Каплунова, д.7
тел.: 8 (423) 2-611-633, e-mail: losev.valery@gmail.com

Игнатьев Николай Игоревич

ассистент кафедры Электроэнергетики и электротехники
Дальневосточный федеральный университет
690950, Владивосток, ул. Суханова, 8
тел. 8-924-123-23-24, 8 (423) 25-25-319

Силин Николай Витальевич

доктор технических наук, доцент
заведующий кафедрой Электроэнергетики и электротехники
Дальневосточный федеральный университет
690950, Владивосток, ул. Суханова, 8
тел. 8 (423) 25-25-319; e-mail: silin22@mail.ru

Аннотация

В работе демонстрируются возможности применения методики шумового контроля технического состояния высоковольтного оборудования по спектру его собственного электромагнитного излучения, обладающей увеличенной глубиной и повышенной надежностью диагностирования. Приведены спектры электромагнитного излучения для трёх единиц типового высоковольтного оборудования. Полная дефектность контролируемого оборудования устанавливается после определения дефектностей основных конструктивных элементов, расположенных снаружи металлического корпуса этого оборудования. Методика базируется на апробированной экспериментами развитой излучающей модели электроэнергетического оборудования, учитывающей влияние на энергетический спектр электромагнитного излучения внешних конструктивных элементов. Приведены результаты реализации методики на примере типового высоковольтного оборудования с различным сроком службы. Сформулированы критерии оценки технического состояния для внешних конструктивных элементов, а также полной дефектности оборудования.

Ключевые слова: высоковольтные вводы, электромагнитный шум, энергетический спектр, информативные частотные полосы, критерии дефектностей

THE NOISE DIAGNOSTICS OF MARITIME TRANSPORT ELECTRICAL EQUIPMENT

Klokov Vladimir Viktorovich

Associate professor, Cand. Sci. Tech.
Director of the Maritime Institute of Information Technologies
Maritime state university named Admiral Nevelskoi
50 – a, Verkhneportovaya st., 690059, Vladivostok, Russia
tel.: 8-908 44-99-089; e-mail: klokov@msun.ru

Losev Valeriy Lazarevich

Associate professor, Cand. Sci. Tech.
Vice-Rector of Academic Affairs

Far-Eastern Institute of Communications
7, Kaplunova st., 690013, Vladivostok, Russia
tel.: 8 (423) 2-611-633, e-mail: losev.valery@gmail.com

Ignatev Nikolay Igorevich

Assistant of Power industry and electrical engineering department
Far Eastern Federal University
8, Sukhanova st., 690950, Vladivostok, Russia
tel. 8-924-123-23-24, 8 (423) 25-25-319

Silin Nikolay Vitalevich

Associate professor, Dr. Sci. Tech.
Head of Power industry and electrical engineering department
Far Eastern Federal University
8, Sukhanova st., 690950, Vladivostok, Russia
tel. 8 (423) 25-25-319; e-mail: silin22@mail.ru

Abstract

Possibilities of application of a noise technique of monitoring of technical state of the high-voltage equipment on a range of its own electromagnetic radiation, possessing increased depth and the increased reliability of diagnosing, are shown in operation. Ranges of an electromagnetic radiation of seven units of the standard high-voltage equipment are given. Full deficiency of the controlled equipment is set after determination of basic constructive elements deficiencies. The technique is based on the developed radiating model of the electrical power equipment approved by experiments considering influence on an energy spectrum of an electromagnetic radiation of external constructive elements of this equipment. Results of implementation of a technique on the example of diagnosing of standard high-voltage equipment with different service life are given. Criteria of an assessment of technical condition for external constructive elements and also full deficiency of the equipment are formulated.

Key words: high-voltage leads-in, an energy spectrum, electromagnetic noise, the informative frequency bands, criteria for estimation technical state

1. Введение

Современные суда и береговые службы обеспечения интенсивно пополняются высоковольтной аппаратурой. Эксплуатация такой аппаратуры требует своевременной диагностики ее работоспособности.

В процессе деградации динамических систем (физических, химических, биологических, социальных и пр.) интенсивности их шумов с равномерным и фликкерным спектрами возрастают на 60-80дБ при умеренных изменениях средних параметров систем на 20-30%. Вследствие этого шумовые методики диагностирования дефектностей таких систем эффективны, обладают высокой чувствительностью и непрерывно совершенствуются [1,2].

В [3] показана возможность применения шумовой методики для оценки технического состояния высоковольтного электротехнического оборудования (ВВЭО) на основе анализа спектров его собственного электромагнитного излучения. В основе методики лежит шумовая излучающая модель ВВЭО [4,5]. Согласно этой модели энергетический спектр излучения вертикальной поляризации ВВЭО, состоящий из широкого набора квазигармонических составляющих, обусловлен действием шумов ионизации с равномерным спектром (включая шумы лавинной ионизации) в

диэлектрической изоляции оборудования (фарфоровой, целлюлозной, бумажной, масляной, воздушной и пр.). Эти шумы фильтруются резонансными колебательными цепями оборудования и излучаются в окружающее пространство вводами этого оборудования, выступающими в роли вибраторных антенн вертикальной поляризации. В [3] показано, что регистрация и анализ энергетических спектров позволяет оценивать дефектность внешних конструктивных элементов ВВЭО, в том числе и используемого на морском транспорте.

Процедуру диагностики в этом случае можно разбить на четыре этапа:

1. Определение резонансных частот и информационных полос для внешних конструктивных элементов.
2. Регистрация энергетических спектров и выделение в них наиболее информативных частотных полос.
3. Определение уровней дефектностей внешних конструктивных элементов.
4. Оценка уровня дефектности оборудования в целом.

В данной работе процедура использования предлагаемой методики показана на примере оценки технического состояния типового ВВЭО.

2. Энергетические спектры высоковольтного оборудования

Внешние конструктивные элементы типового ВВЭО представляют собой высоковольтные вводы, расположенные снаружи корпуса. Процедура шумовой диагностики предусматривает наличие энергетических спектров собственного электромагнитного излучения. На рис. 1, 2 представлены результаты регистрации таких спектров для трёх единиц ВВЭО с малым сроком (до года) эксплуатации, снятые при номинальном режиме работы оборудования в частотных диапазонах 5-37МГц и 30-200МГц. В рамках данной статьи будем называть это оборудование как Т1, Т2 и Т3.

3. Описание модели диагностирования

На первом этапе с помощью известных соотношений [6] и пакетов программ ("MMANA", "MATLAB", "CADGen", "ANSYS") рассчитываются резонансные частоты $(f_{vi})_n$ и информативные частотные полосы излучений $(\Delta f_{vi})_n$ антенн вертикальной поляризации внешних конструктивных элементов.

Здесь и далее: v – индекс, указывающий на вертикальную поляризацию излучения антенн; $i = 1, 2, \dots, i_{max}$ – порядковый номер ввода, i_{max} – полное число вводов; $n = 1, 2, 3, \dots$ – числа натурального ряда, соответствующие номерам гармоник резонансных частот излучений антенн.

Вышеперечисленные резонансные частоты и информативные частотные полосы, значения которых для данных автотрансформаторов рассчитаны и приведены в [7], указаны на рис. 1-2.

На втором этапе во всех энергетических спектрах диагностируемого ВВЭО выделяются наиболее информативные частотные полосы $(\Delta f_{vi})_1$ для внешних конструктивных элементов, каковыми являются частотные полосы для основной (первой) гармоники: $(\Delta f_{v1})_1, (\Delta f_{v2})_1, (\Delta f_{v3})_1$.

Третий этап. Оценка уровня дефектности внешних конструктивных элементов

Определяются интегральные мощности колебаний в каждой из вышеуказанных наиболее информативных частотных полос $(\Delta f_{vi})_1$ излучений внешних конструктивных элементов (вводов) ВВЭО.

Расчёт значений интегральных мощностей электромагнитных колебаний вертикальной поляризации, излучаемых в каждой из наиболее информативных частотных полос (исключая гибридную частотную полосу $(\Delta f_{v0})_1$ [7]), проводится путем регистрации числа пиков излучений с интенсивностями равными или выше граничного уровня γaI , характеризующего в указанных частотных полосах излучений антенн $(\Delta f_{vi})_1$ опасное развитие дефектов в "i"-ом вводе. Численное значение граничного уровня γaI для наиболее информативных частотных полос выбран равным $\gamma aI = -156$ дБ(Вт)/Гц (см. [3]).

С учётом вышесказанного для ВВЭО, энергетические спектры излучений которых представ-

лены на рис. 1-2, в наиболее информативных частотных полосах имеем следующее:

Т1 и Т2 – интенсивности всех пиков для каждого высоковольтного ввода ниже уровня γaI .

Т3 – интенсивности 4-х пиков $a_{11}^1, c_{11}^1, d_{11}, g_{11}$, приходящихся на наиболее информативную частотную полосу ввода 1, равны или выше уровня γaI .

Т3 – интенсивности 2-х пиков a_{21}, b_{21}^1 , приходящихся на наиболее информативную частотную полосу ввода 2, равны или выше уровня γaI .

Т3 – интенсивности всех пиков, приходящихся на наиболее информативные частотные полосы вводов 3, 4, 5, ниже уровня γaI .

Информация о числе пиков, превышающих граничный уровень, позволяет сформулировать следующие критерии дефектности по "i"-ым вводам (внешним конструктивным элементам) ВВЭО.

Слабая дефектность ввода – в наиболее информативной частотной полосе излучения этого ввода присутствуют не более 2-х пиков с интенсивностями равными или выше граничного уровня γaI

Умеренная дефектность ввода – в наиболее информативной частотной полосе излучения этого ввода присутствуют 3-4 пика с интенсивностями равными или выше граничного уровня γaI .

Сильная дефектность – в наиболее информативной частотной полосе ввода присутствуют 5 и более пиков с интенсивностями равными или выше граничного уровня γaI .

На четвёртом этапе определяем полные дефектности диагностируемого ВВЭО.

Для этого предварительно сформулируем критерии оценки полной дефектности оборудования, которые должны учитывать данные определения дефектности основных внешних конструктивных элементов. Кроме того, следует иметь в виду, что вероятность полного отказа оборудования пропорциональна числу конструктивных элементов с сильной дефектностью.

Слабая полная дефектность ВВЭО соответствует слабым дефектностям всех его основных конструктивных элементов.

Умеренная полная дефектность ВВЭО соответствует умеренным дефектностям хотя бы одного из основных конструктивных элементов при слабых дефектностях остальных конструктивных элементов.

Сильная полная дефектность ВВЭО соответствует сильным дефектностям от одного до половины его основных конструктивных элементов при слабых и (или) умеренных дефектностях остальных конструктивных элементов.

Опасная полная дефектность ВВЭО соответствует сильным дефектностям более половины его основных конструктивных элементов при слабых и (или) умеренных дефектностях остальных конструктивных элементов.

Полученные данные позволяют определить полные дефектности диагностируемого ВВЭО (см. Таблицу).

Выводы

1. Работа ВВЭО сопровождается мощным собственным электромагнитным излучением, причем в качестве излучателей выступают высоковольтные вводы, играющие роль вибраторных антенн.

2. Источником электромагнитного излучения являются шумы ионизации с равномерным спектром, которые возникают в изоляции и конструктивных элементах, затем фильтруются резонансными колебательными цепями оборудования и излучаются в окружающее пространство.

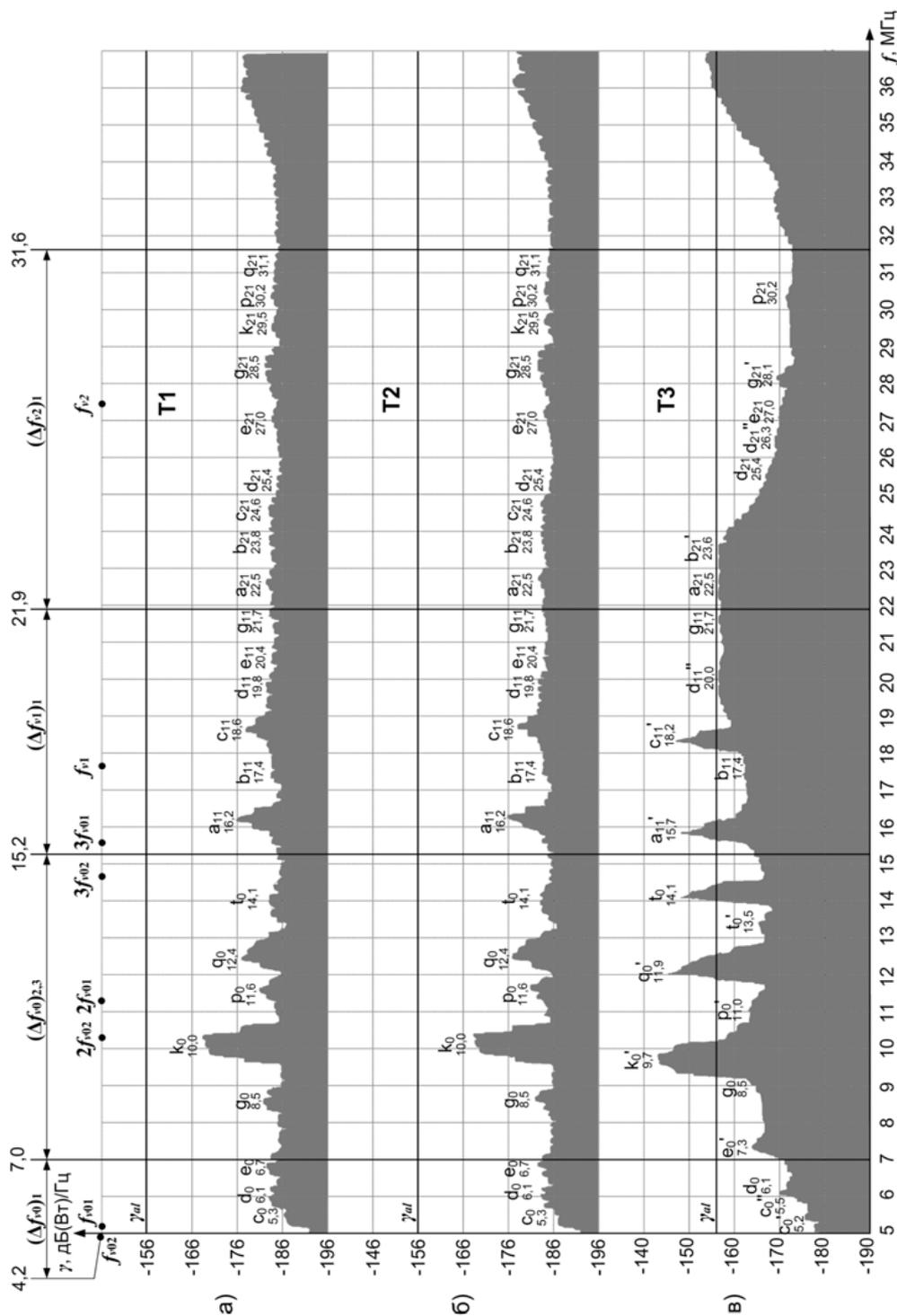


Рис. 1. Энергетические спектры излучений вертикальной поляризации на частотах 5-37 МГц для трех единиц оборудования (первичное включение): а) Т1, б) Т2, в) Т3

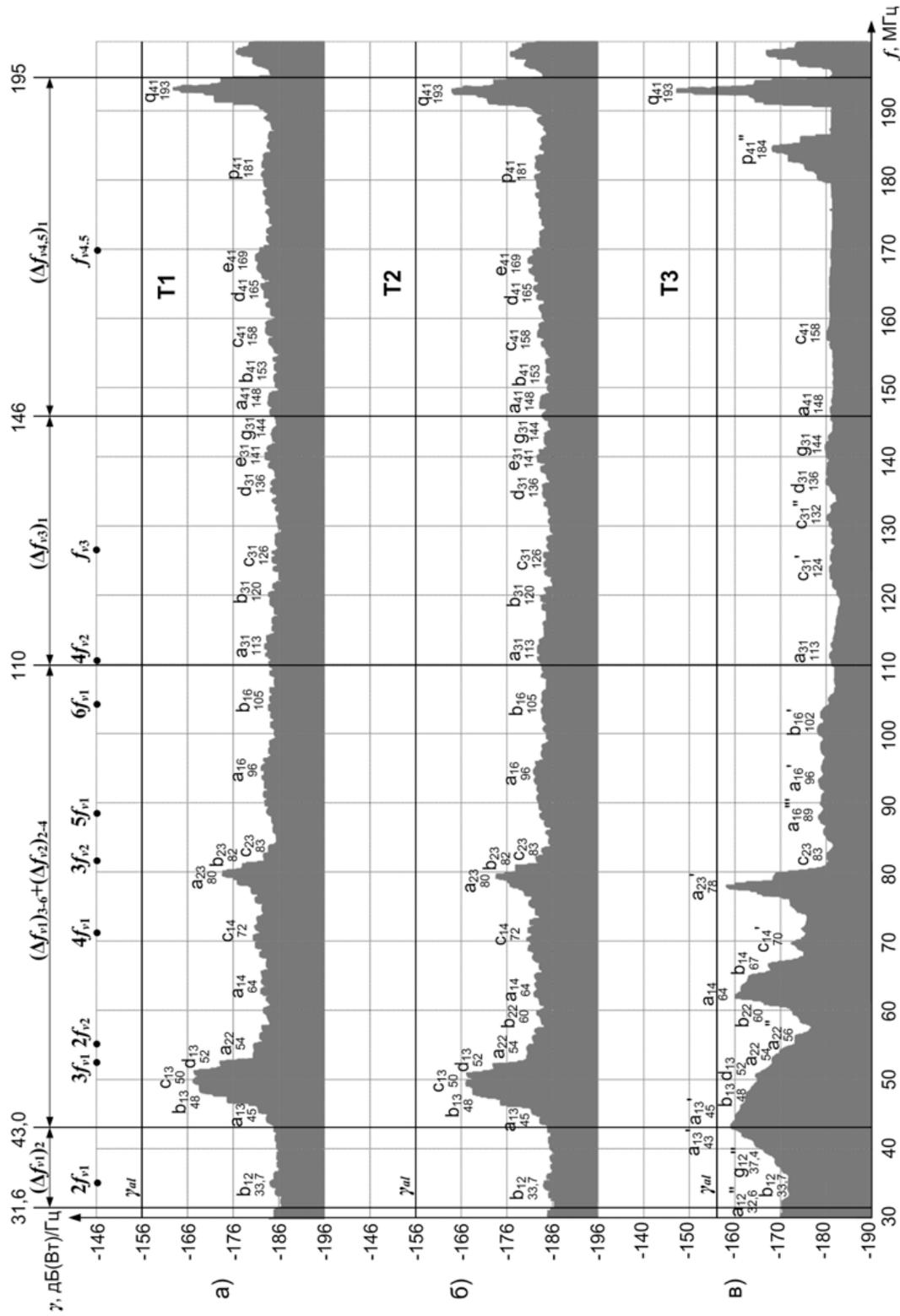


Рис. 2. Энергетические спектры излучений вертикальной полярности на частотах 30-205 МГц для 3-х единиц оборудования (первичное включение): а) Т1, б) Т2, в) Т3

Таблица

Результаты оценки дефектности вводов 1-5 и полной дефектности оборудования

оборудование	степень дефектности ввода					степень полной дефектности оборудования
	1	2	3	4	5	
T1 (МС)	слабая	слабая	слабая	слабая	слабая	слабая
T2 (МС)	слабая	слабая	слабая	слабая	слабая	слабая
T3 (МС)	умеренная	слабая	слабая	слабая	слабая	умеренная

3. Процедура диагностики предусматривает использование критериев, позволяющих определять дефектность не только внешних конструктивных элементов, но и давать оценку полной дефектности оборудования.

4. Проведенные исследования имеют практическую значимость при разработке новых спектральных способов оценки технического состояния трансформаторного оборудования.

Литература

1. Бржезинский А.А., Лосев В.Л., Ри Бак Сон Диагностика электронных и биологических систем по фликкер-шуму // Сборник трудов 10 сессии Российского акустического общества. М.: РАЕН, 2000. - С. 131-134.
2. Патент RU 2311652 С1, опубликован М.: Бюллетень, 27.11.2007.
3. Losev V, Silin N, Belushkin M, Klokov V, Kinsht N, Popovich A. Diagnostics of high electric equipment according to its electromagnetic emission spectrum // Proceedings of the 18-th International Zurich Symposium on Electromagnetic Compatibility. Munich, Germany, September 24-27, 2007. - pp. 12-17.
4. Losev V, Silin N, Belushkin M, Klokov V. Emitting model of the high-voltage electric equipment // Proceedings of the 18-th International Zurich Symposium on Electromagnetic Compatibility. Munich, Germany, September 24-27, 2007. - pp. 36-38.
5. Losev V. Generating electromagnetic fluctuations by electric condenser // Proceedings of the 18-th International Zurich Symposium on Electromagnetic Compatibility. Munich, Germany, September 24-27, 2007. - pp. 39-40.
6. Киншт Н.В., Лосев В.Л., Силин Н.В., Попович А.Б. О способе контроля высоковольтного оборудования на основе анализа спектров его собственного электромагнитного излучения // Промышленная энергетика. – 2007. - № 4. - С. 24-29.
7. Клоков В.В., Лосев В.Л., Попович А.Б., Силин Н.В., Шевердин Д.Г. Развитая шумовая излучающая модель электроэнергетического оборудования // Электро, 2011. - №2. – С. 19-24.

References

1. Brzhezinskij A.A., Losev V.L., Ri Bak Son Diagnostika ehlektronnyh i biologicheskikh sistem po flikker-shumu Sbornik trudov 10 sessii Rossijskogo akusticheskogo obshchestva. M.: RAEN, 2000. - S. 131-134.
2. Patent RU 2311652 C1, opublikovan M.: Byulleten', 27.11.2007.
3. Losev V, Silin N, Belushkin M, Klokov V, Kinsht N, Popovich A. Diagnostics of high electric equipment according to its electromagnetic emission spectrum Proceedings of the 18-th International Zurich Symposium on Electromagnetic Compatibility. Munich, Germany, September 24-27, 2007. - pp. 12-17.
4. Losev V, Silin N, Belushkin M, Klokov V. Emitting model of the high-voltage electric equipment Proceedings of the 18-th International Zurich Symposium on Electromagnetic Compatibility. Munich, Germany, September 24-27, 2007. - pp. 36-38.
5. Losev V. Generating electromagnetic fluctuations by electric condenser // Proceedings of the 18-th International Zurich Symposium on Electromagnetic Compatibility. Munich, Germany, September 24-27, 2007. - pp. 39-40.
6. Kinsht N.V., Losev V.L., Silin N.V., Popovich A.B. O sposobe kontrolya vysokovol'nogo oborudovaniya na osnove analiza spektrov ego sobstvennogo ehlektromagnitnogo izlucheniya // Promyshlennaya ehnergetika. – 2007. - № 4. - S. 24-29.
7. Klokov V.V., Losev V.L., Popovich A.B., Silin N.V., Sheverdin D.G. Razvitaya shumovaya izluchayushchaya model' ehlektroehnergeticheskogo oborudovaniya // EHlekto, 2011. - №2. – S. 19-24.

УДК 621.3.083.5

МОДЕРНИЗАЦИЯ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ОСТАТОЧНОЙ ЕМКОСТИ СУДОВЫХ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ

Артемьев Андрей Владимирович

кандидат технических наук, доцент
доцент кафедры Технических средств судовождения
Морской государственной университет им. адм. Г.И. Невельского
690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, д.50 – а
тел.: 8 (423) 241-49-68; e-mail: artemyev@msun.ru

Воробьев Всеволод Владимирович

кандидат технических наук
старший научный сотрудник научно-исследовательского института морской техники
Морской государственной университет им. адм. Г.И. Невельского
690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, д.50 – а
тел.: 8 (423) 241-49-68; vorobyev@msun.ru

Перечесов Владимир Сергеевич

кандидат технических наук, доцент
заведующий кафедрой Электрооборудования судов
Морской государственной университет им. адм. Г.И. Невельского
690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, д.50 – а
тел.: 8 (423) 241-49-68; e-mail: perechesov@msun.ru

Шаталов Валерий Васильевич

кандидат технических наук, профессор
Морской государственной университет им. адм. Г.И. Невельского
690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, д.50 – а
тел.: 8 (423) 241-49-68; e-mail: shatalov@msun.ru

Аннотация

Описываются, выявленные при опытной эксплуатации, недостатки изделия. Анализированы причины, изложены пути устранения конструктивных недочетов. Предложены изменения в схемотехнике ранее разработанного прибора, включающие в себя: способы защиты от неправильного подключения к цепям прибора исследуемых аккумуляторов, изменения в узле регулировки нагрузочного тока для повышения устойчивости к самовозбуждению, оптимизация цепей обратной связи в системе стабилизации разрядного тока, изменения в интерфейсной части схемы связи с ПК. Описана доработка конструкции шасси и корпуса прибора, изменения в конструкции теплорассеивающих элементов, построение вентиляционных каналов и установке вентиляторов. Также проведена модернизация программного обеспечения с целью улучшения эксплуатационных характеристик и надежности устройства для измерения остаточной емкости. Приведены результаты опытной эксплуатации модернизированного изделия и дана оценка проведенной доработки.

Ключевые слова: аккумулятор, остаточная емкость, нагрузка, ток разряда, защита, вентилятор, обратная связь, схемотехника

MODERNIZATION OF DEVICE FOR MEASURING THE RESIDUAL CAPACITY OF THE BATTERIES

Artemyev Andrei Vladimirovich

Associate professor, Cand. Sci. Tech.
Associate professor of department of Technical aids to navigation
Maritime state university named Admiral Nevelskoi
50 – a, Verkhneportovaya st., 690059, Vladivostok, Russia
tel.: 8 (423) 241-49-68; e-mail: artemyev@msun.ru

Vorobyev Vsevolod Vladimirovich

Cand. Sci. Tech.

Senior scientific researcher of R&D Institute of Marine Engineering
Maritime state university named Admiral Nevelskoi
50 – a, Verkhneportovaya st., 690059, Vladivostok, Russia
tel.: 8 (423) 241-49-68; vorobyev@msun.ru

Perechesov Vladimir Sergeevich

Associate professor, Cand. Sci. Tech.
Head of department of Ships electrical equipment
Maritime state university named Admiral Nevelskoi
50 – a, Verkhneportovaya st., 690059, Vladivostok, Russia
tel.: 8 (423) 241-49-68; e-mail: perechesov@msun.ru

Shatalov Valery Vasilyevich

Professor, Cand. Sci. Tech.
Maritime state university named Admiral Nevelskoi
50 – a, Verkhneportovaya st., 690059, Vladivostok, Russia
tel.: 8 (423) 241-49-68; e-mail: shatalov@msun.ru

Abstract

The product defects identified in trial operation are studied. The reasons are analyze, the ways to improve of the structural shortcomings are set out. The changes to the circuitry previously developed device comprising are proposed: the techniques of protection against incorrect connection of the instrument to the test circuits of batteries learned, the change in load current adjustment unit for increasing of the resistance to self optimization of feedback loops in the system of stabilization of the discharge current, the changes in the interface part of the scheme PC communication. We learn the design refinement of the chassis and body of the device, the changes in the design of heat dissipating elements, the construction of ventilation ducts and installation of fans. Also software is upgraded to improve performance and reliability of the device for measuring the remaining capacity. The improvements results evaluation of the pilot operation of the upgraded product is carried out.

Key words: battery, residual capacity, battery load, discharge current, battery protection, fan, feedback, circuitry

1. Введение

Модернизируемое устройство для измерения остаточной емкости судовых аккумуляторных батарей для ГМССБ, [1] предназначено для испытания на остаточную емкость методом 10-ти часового режима разряда свинцовых аккумуляторных батарей номинальной емкостью 50...200 Ач в соответствии с п.4.3.3 ГОСТ 959-91 [2], а также щелочных аккумуляторных батарей емкостью 50...200 Ач согласно ТУ 16-90 ИЛВЕ.563330.001 ТУ [3] взамен ГОСТ 9240-79 [4].

Прибор имеет сертификат Российского морского регистра судоходства. Устройство является автономным переносным прибором, выполненным в металлическом корпусе. Все органы управления, отображения информации, клеммы для подключения аккумуляторных батарей, разъемы температурных датчиков и разъем RS232 для связи с компьютером расположены на передней панели прибора, внешний вид которой приведен на рисунке 1.

В комплект прибора входят силовые кабели для подключения аккумуляторных батарей, измерительные кабели измерения напряжений для компенсации падения напряжения в силовых кабелях и внешние датчики температуры для контроля температуры электролита батареи. С помощью пленочной клавиатуры на дисплее произ-

водится выбор типа и емкости батареи, по которым микроконтроллер производит установку регулятора тока согласно методике испытаний.

В дальнейшем работа прибора происходит автоматически, поддерживая стабильный ток разряда и контролируя напряжение на клеммах батареи. Мощность, выделяемая аккумуляторными при разряде, рассеивается в виде тепла на встроенных блоках нагрузочных сопротивлений и радиаторов линейных регуляторов тока. Отвод тепла от них обеспечивается принудительной вентиляцией.



Рис. 1. Прибор И-200

В ходе опытной эксплуатации выяснилось, что прибор в целом соответствует техническим условиям и с помощью его можно выполнять поставленные задачи контроля остаточной емкости аккумуляторных батарей. Однако, некоторое количество отказов приборов, а также результаты ремонта, показали необходимость модернизации некоторых узлов и технических решений конструкции.

2. Защита от неправильного включения

Изначально, в положительную ветвь подводящей силовой цепи прибора были включены элементы защиты от короткого замыкания – автомат защиты сети (АЗС) на токи срабатывания более 30А и переплюсовки – диод шоттки с низким прямым падением (рисунок 2).

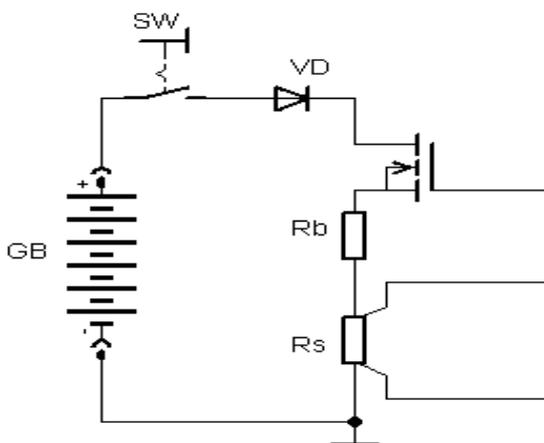


Рис. 2. Исходная схема цепей защиты

Однако необходимо учесть, что прибор обеспечивает работу сразу на два канала, и измерительные цепи и цепи управления имеют общий «нулевой» потенциал, т.е. «отрицательные» клеммы силового контура соединены внутри прибора через плату управления в одной точке (рисунок 3).

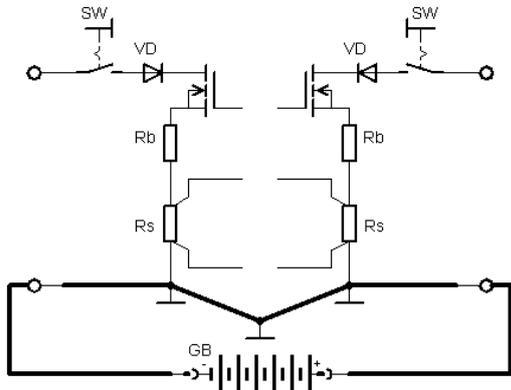


Рис. 3. Путь тока КЗ при ошибочном подсоединении батареи

В этом случае, при ошибочном подсоединении прибора к исследуемому аккумулятору остается

возможность подачи потенциала на «отрицательные» клеммы первого и второго канала.

При этом возникает ток короткого замыкания, выводящий из строя прибор, причем защита с помощью АЗС оказывается вне контура протекания этого тока и не обеспечивает аварийного отключения.

Решением данной проблемы было перенос автоматов защиты в нижнюю ветвь силового контура. Это позволило учесть все возможные пути протекания токов короткого замыкания внутри каналов при пробое силовых элементов регуляторов тока, так и сквозной ток между каналами при ошибочном подключении оператором.

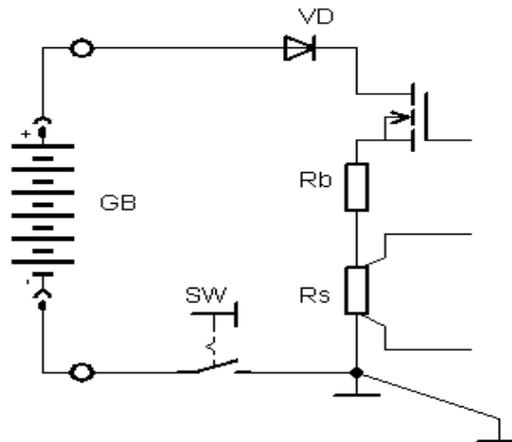


Рис. 4. Включение автомата защиты в отрицательную ветвь контура

Нужно отметить, что АЗС выполняет также функции общего выключателя прибора и обеспечивает его при подготовке к работе и окончании эксплуатации. Однако в дальнейшем, было решено вовсе заменить автоматы защиты сети, используя современные тепловые автоматы защиты с биметаллической пластиной в «отрицательной» ветви и сильноточного реле, управляемого микроконтроллером (МК) – в «положительной». В итоге была реализована возможность автоматического отключения прибора от исследуемого аккумулятора по истечении процесса разряда. В противном случае без контроля оператора происходил полный разряд батареи ниже допустимого уровня что могло привести к выходу ее из строя.

3. Стабилизация тока разряда

Схема стабилизации разрядного тока построена по классической схеме компенсационного стабилизатора тока с измерительным шунтом, дифференциальным усилителем, компаратором усиленного сигнала тока и опорного напряжения, заданного микроконтроллером узла управления и силового линейного транзисторного ключа, нагрузкой которого является блок нагрузочных сопротивлений (рисунок 5).

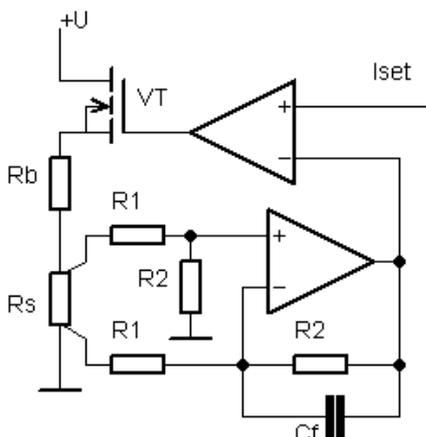


Рис. 5. Схема стабилизации разрядного тока

Измерительный шунт типовой 75ШИП1-20-0.5 (падение 75мВ при 20А протекающего тока), что обуславливает выбор достаточно большого коэффициента усиления измерительного усилителя около 60. В итоге получаем динамический диапазон напряжений на входах компаратора 0 ... 5В для использования полной шкалы ЦАП установки тока.

Выходное напряжение компаратора используется для управления силовым ключом, построенным по схеме с ОК. При этом усиление по напряжению не происходит, что повышает устойчивость к самовозбуждению всей цепи стабилизации тока.

Разработанная схема, однако, за счет вынужденного использования большого коэффициента усиления дифференциального усилителя сигнала тока очень близка к границе устойчивости и, несмотря на корректирующие АЧХ элементы, критична к разводке цепей заземления, что сложно реализуемо в системе с двумя каналами. Рассматривалась возможность уменьшения коэффициента усиления за счет использования падения напряжения на самом нагрузочном блоке резисторов, но значительное изменение их сопротивления при нагреве исключает получение требуемой точности измерения тока.

В итоге была использована компромиссная схема стабилизации тока с включением в цепь обратной связи микроконтроллера (рисунок 6).

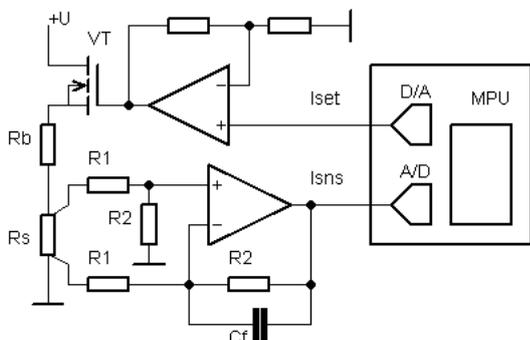


Рис. 6. Схема стабилизации разрядного тока с микроконтроллером в цепи ООС

Теперь измерительный усилитель имеет функцию инструментального усилителя сигнала тока для подачи на АЦП микроконтроллера. Узел сравнения и установки уровня тока сформирован алгоритмически в МК. На выходе ЦАП теперь вместо компаратора – масштабирующий усилитель, назначение которого – увеличить динамический диапазон управляющего напряжения, достаточного для управления силовым ключом. Такое решение позволило обеспечить высокую устойчивость системы к самовозбуждению в целом, используя ПИД регулирование, повысить точность управления током и получить возможность прямого измерения тока для текущего контроля и диагностики возникновения аварийных ситуаций превышения допустимого уровня и экстренного отключения при аварии узла управления током.

4. Узел управления током разряда

Основным элементом узла стабилизации разрядного тока являются регулирующие транзисторы, которые рассеивают часть потребляемой мощности в виде тепла. Остальную часть мощности рассеивает блок нагрузочных резисторов, сопротивление которых выбрано из следующих соображений: управляющий транзистор при максимальном токе разряда 20А должен быть практически полностью открыт и большая мощность рассеиваться на резисторах. Условие должно выполняться до минимального напряжения разряда 10В. Т.е. суммарное сопротивление с учетом падения напряжения на защитном диоде и запаса по регулировке должно лежать в пределах 0.4 Ом. Это обеспечивается параллельным соединением набора 10 резисторов номиналом 3.9 Ом (из ряда E24) габаритной мощностью 20 Вт каждый. В итоге нагрузочный модуль способен рассеять до 200 Вт даже без принудительного охлаждения и не выйти из строя.

В промежуточных значениях тока основное рассеяние тепла идет на регулирующем транзисторе. Хотя при меньших значениях тока выделяемая мощность гораздо меньше 200 Вт, обеспечение охлаждения корпуса регулирующего элемента – более сложная задача. Рассеиваемая мощность зависит от разности температур и теплового сопротивления кристалл – окружающая среда R_{th} :

$$P_{\text{диск.}} = (T_{\text{перех.}} - T_{\text{окр.ср.}}) / R_{th}$$

Предельное значение температуры кристалла лежит в пределах 120-150 С°, что гораздо ниже рабочей температуры керамического корпуса нагрузочного резистора, это обуславливает меньший температурный градиент со средой и увеличивает требования к рассеиваемой площади радиатора. Решить проблему позволяет использование параллельного включения нескольких транзисторов, благодаря чему происходит распределение тока и выделяемой мощности, а также увеличивается площадь контакта корпусов транзисторов с радиатором.

Изначально были выбраны полевые транзисторы технологии MOSFET. Они не подвержены вторичному тепловому пробоям, благодаря чему имеют более широкую область безопасной работы (ОБР), а также имеют отрицательный температурный коэффициент тока стока, что обеспечивает выравнивание токов через соединенные параллельно транзисторы. Были выбраны транзисторы фирмы International Rectifier (IR) с «вертикальной» структурой IRFZ24 с фирменным наименованием HEXFET и решено использовать их параллельное соединение группами по 5 шт.

Однако, для MOSFET свойственен и другой эффект – уменьшение порогового напряжения $V_{gs(th)}$ при повышении температуры, который конкурирует эффектом увеличения сопротивления канала. В документации отсутствуют данные по поводу этого эффекта, но экспериментально определено, что температурный коэффициент изменения $V_{gs(th)}$ лежит в пределах $-2 \dots -5 \text{ мВ/}^\circ\text{C}$.

Выравнивание тока при параллельном соединении транзисторов будет происходить только при рабочих токах транзистора выше 9А, что уже близко к предельным значениям тока транзистора. В этом случае как и для биполярных транзисторов, с учетом большого начального разброса пороговых напряжений, для выравнивания токов требуются выравнивающие резисторы в цепях истоков. Причем для MOSFET требуются номиналы резисторов на порядок больше, чем для биполярных транзисторов. По этой причине рекомендуется использование активного выравнивания токов, когда затвор каждого транзистора управляется отдельным ОУ. Это техническое решение значительно усложнит схему и монтажную часть прибора.

Обобщая сказанное, отметим, что в данном случае использование в параллельном включении полевых MOSFET транзисторов, несмотря на их надежность и дешевизну, не имеет преимуществ по сравнению с биполярными транзисторами. Поэтому в качестве регулирующих элемен-

тов были выбраны биполярные силовые транзисторы Дарлингтона SGSD100, имеющие мощность рассеяния до 130 Вт. Для увеличения надежности использована пара транзисторов, включенных параллельно, однако каждый из них работает на свою половину блока нагрузочных сопротивлений (рисунок 7).

В данном случае отсутствуют причины неравномерного распределения токов и явления вторичного теплового пробоя. Корпус транзистора TO-218 имеет превосходящий почти в 3 раза параметр теплового сопротивления корпуса TO-220.

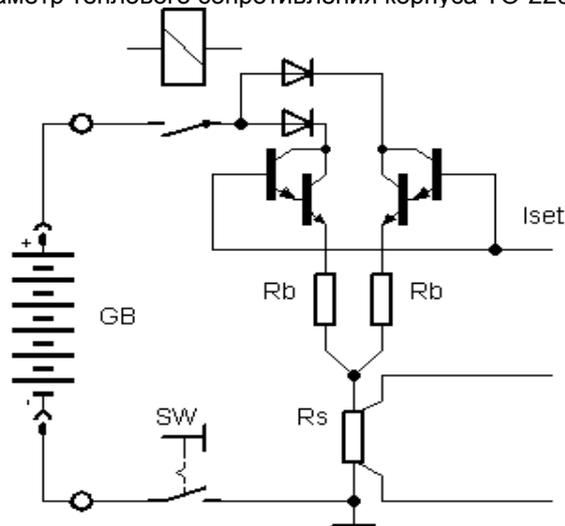


Рис. 7. Схема узла управления током

Для унификации, на отдельные радиаторы транзисторов смонтированы также защитные диоды Шоттки, а прямое соединение коллектора транзистора с анодом диодом позволяют монтировать элементы на радиатор без изолирующей фурнитуры.

Литература

1. Сборник материалов Владивостокского морского форума. 28 октября 2009г. /Владивосток: Мор.гос.ун-т, 2009.–122 с. Устройство для измерения остаточной емкости аккумуляторных батарей. Артемьев А.В., Бирюк А.О., Перечёсов В.С., Воробьев В.В. с. 77-80
2. ГОСТ 959-91. Батареи аккумуляторные свинцовые стартерные напряжением 12 В для автотракторной и мотоциклетной техники. Общие технические условия. [Текст]. – Введ. 1995. – М.: Изд-во стандартов, 1999. – IV, 16 с.: ил.; 29 см.
3. Технические условия. «Инструкция по эксплуатации ЖУИЦ. 563410.001 ИЭ – Батареи аккумуляторные стартерные емкостью выше 50 А.ч» и щелочных аккумуляторных батарей емкостью 50...200 А.ч. [Текст], 12 с.
4. ГОСТ 9240-79. Аккумуляторы и батареи аккумуляторные щелочные никель-кадмиевые с ламельными электродами в стальных сосудах. [Текст]. – Введ. 1971–03–03. – М.: Изд-во стандартов, 1982. 18 с.

Литература

1. Sbornik materialov Vladivostokskogo morskogo foruma. 28 oktyabrya 2009g. Vladivostok: Mor.gos.un-t, 2009.–122 s. Ustrojstvo dlya izmereniya ostatochnoj emkosti akkumulyatornyh batarej. Artem'ev A.V., Biryuk A.O., Perechysov V.S., Vorob'ev V.V. s. 77-80

2. GOST 959-91. Batarei akkumulyatornye svincovye starternye napryazheniem 12 V dlya avtotraktornoj i motocikletnoj tekhniki. Obshchie tekhnicheskie usloviya. [Tekst]. – Vved. 1995. – M.: Izd-vo standartov, 1999. – IV, 16 s.: il.; 29 sm.
3. Tekhnicheskie usloviya. «Instrukcieya po ehkspluatatsii ZHUIIC. 563410.001 IEH – Batarei akkumulyatornye starternye emkost'yu vyshe 50 A.ch» i shchelochnyh akkumulyatornyh batarej emkost'yu 50.....200 A.ch. [Tekst], 12 s.
4. GOST 9240-79. Akkumulyatory i batarei akkumulyatornye shchelochnye nikel'-kadmievye s lamel'nymi ehlektrodami v stal'nyh sosudah. [Tekst]. – Vved. 1971–03–03. – M.: Izd-vo standartov, 1982. 18 s.

УДК 656.61:004

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТРАНСПОРТНО-ЛОГИСТИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ С ПРИМЕНЕНИЕМ НЕЧЕТКИХ НЕЙРОСЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Левченко Наталья Георгиевна

кандидат технических наук
начальник отдела центра информационных технологий
Морской государственной университет им. адм. Г.И. Невельского
690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, д.50 – а
тел.: 8 (423) 241-49-68; e-mail: levchenko@msun.ru

Аннотация

В работе предложен метод моделирования слабо формализованного процесса с учетом не только количественных оценок, но и качественных, нечетко заданных, не поддающихся формализации критериев и связей между ними. Метод базируется на технологии нечетких нейронных сетей. Модель разрабатывается с целью последующего исследования этого процесса, прогнозирования его поведения, оптимизации функционирования. Разработка модели, ее программная реализация и исследование проводились при помощи пакета Fuzzy Logic Toolbox системы MATLAB в форме адаптивной системы нейро-нечеткого вывода. Для реализации нечеткого вывода использовался метод Сугено. Предложенная модульная архитектура построенной нечеткой нейросетевой модели может быть расширена при помощи встраивания дополнительных модулей, позволяющих расширить информационную систему управления, увеличить ее возможности за счет детализации имитируемого процесса. Набор факторов в каждом модуле может дополняться по ходу совершенствования модели, не влияя на саму систему, при этом качественно улучшая «портрет» объекта исследования – информационную систему управления транспортно-логистическим процессом. Также разработаны методики применения модели для анализа ситуации и поведения взаимодействующих элементов; обеспечения в динамическом режиме мониторинга и диагностики управленческих процессов; моделирования реальных событий и процессов; прогнозирования и предупреждения критических ситуаций.

Ключевые слова: интеллектуальные системы управления, информационная система, имитационное моделирование, морской транспорт, транспортно-логистический процесс, нейросетевые технологии, нейронные сети, нечеткая логика

MODELING OF INFORMATION MANAGEMENT SYSTEM OF TRANSPORT AND LOGISTICS PROCESSES USING FUZZY NEURAL NETWORK TECHNOLOGIES

Levchenko Natalia Georgievna

Cand. Sci. Tech.
Director of IT-technologies centre
Maritime state university named Admiral Nevelskoi
50 – a, Verkhneportovaya st., 690059, Vladivostok, Russia
tel.: 8 (423) 241-49-68; e-mail: levchenko@msun.ru

Abstract

The paper presents a method of modeling weakly formalized process taking into account not only quantitative assessments, but also qualitative, fuzzily defined, beyond the formalization of the criteria and the correlation besides them. The method is based on the technology of fuzzy neural network technologies. The model is being developed to further study this process, predicting its development and performances optimizing. The development of the model, its software implementation and research conducted using the package Fuzzy Logic Toolbox of MATLAB in the form of an adaptive system of neuro-fuzzy inference. To implement the fuzzy inference method was used Sugeno approach. Proposed modular structure to built fuzzy neural network model can be expanded with the help of integration of additional modules that allows expanding the management information system, to increase its capacity at the expense of detail of the simulated process. A set of factors in each module can be supplemented in the course of improving the model,

without affecting the system itself, thus improving quality "portrait" of the object of study - information management system of transport and logistics process. Also, methods have been developed using the model to analyze the situation and development of interacting elements; software dynamically monitoring and diagnostic management processes; simulation of real events and processes; prediction and prevention of critical situations.

Key words: intelligent control systems, information systems, simulation, marine transport, transport and logistics process, neural network technology, neural networks, fuzzy logic

1. Введение

Планирование, организация, управление и контроль процесса доставки грузов требует наличия эффективной информационной системы. Именно благодаря информации, которая опережает, сопровождает и заканчивает данный процесс, возможна оптимальная организация морских и других сообщений в системе управления транспортом, особенно в условиях неопределенности.

Эффективность информационной системы напрямую зависит от качества переработки огромного объема данных, который включает описание бизнес-процессов, информационных потоков и их параметров, учитывает внутреннюю и внешнюю среду, и далее выдает адресный анализ – варианты возможных управленческих решений. Для данной переработки необходим мощный интеллектуальный инструмент.

Искомым инструментом является имитационная модель информационной системы управления транспортно-логистическим процессом, разработанная на основе систем искусственного интеллекта, а именно на базе нейронных сетей и математического аппарата нечеткого вывода [1], [2].

2. Анализ информационной системы управления транспортно-логистическим процессом

Согласно традиционной схеме управления объектом, представленной на рисунке 1, на управляемый процесс воздействуют n значений входов xz_i , которые можно оценить в любой момент времени и r значений xn_j , которые либо невозможно никак оценить, либо это слишком дорого обходится.

Итого, входов – $(n+r)$ и m выходов – q_i . Между входным вектором $\langle XZ, XN \rangle$ и Q выходным существует некоторая связь $Q=f(XZ, XN)$. При управлении объектом важно получить определенные значения Q при любых XZ и XN . Если XZ и XN не являются управляемыми, необходимо построить систему управления так, чтобы при помощи специальных управляющих воздействий SU повлиять на значения Q . Другими словами, получаем соотношение $Q=f(XZ, SU, XN)$. Это означает, что реализовав некоторую зависимость $SU=f(XZ, Q)$, можно найти искомые управляющие воздействия на объект. Также имеется возможность внести коррективы в функционирование системы управления в виде корректирующего вектора KZ .

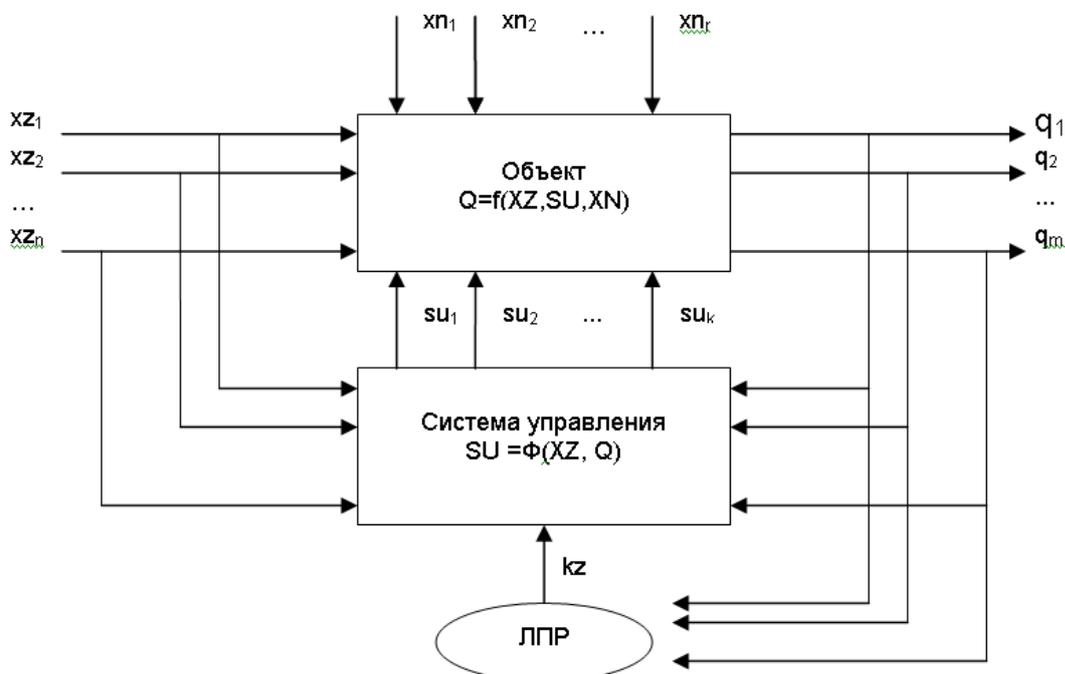


Рис. 1 Традиционная схема управления объектом

Таким образом, чтобы построить эффективную систему управления, необходимо знать две вещи. Во-первых, множество предпочтительных значений вектора Q , которые означают понимание цели функционирования объекта. Во-вторых, как задано отображение $f(\cdot)$, которое описывает функционирование объекта управления. Итак, чтобы сформулировать критерий управления, в котором воплощаются требования к системе управления, необходимо знать описание объекта, т.е. его структуру и функционирование, и цели его существования [3].

Отображение Φ является критерием управления объектом, это может быть максимизация или минимизация каких-либо значений вектора Q , поддержание их в некоторых заданных пределах, недопущение некоторых комбинаций этих значений, запрещение появления определенных временных последовательностей значения вектора Q и т.п.

Так возникает цепочка «описание объекта управления – описание целей существования объекта управления – формирование критерия управления им – проектирование и создание системы управления». Слабым звеном в этой цепочке является идентификация объекта управления и, как следствие, выявление критериев управления им. Особенно если объектами управления становятся системы плохо определенные или слабоструктурированные.

Неопределенность процесса перевозки выражается также и в том, что неизвестны все закономерности, которые в нем существуют.

Более того, влияющими факторами на объект управления, каковым является процесс грузоперевозки, или элементами его структуры являются люди, которые действуют с учетом своих личных интересов, целей и характера. При построении модели необходимо учесть неточные знания, которые относятся к субъективной категории, и не могут быть интерпретированы как полностью истинные либо ложные, либо достоверность которых выражается некоторой промежуточной мерой.

Поэтому необходимо построить имитационную модель, которая обеспечит руководству предприятия возможность правильно оценить имеющиеся достоинства и недостатки, а также отыскать источники потенциала, помогут найти, визуализировать и зафиксировать в готовом виде варианты управленческих решений в условиях неопределенности.

Транспортно-логистический процесс как объект моделирования сложен, судя по организации производимых в его ходе операций: фрахтование судов и расчеты по фрахту; прием, сдача груза; организация погрузочно-разгрузочных работ; страхование; таможенное декларирование грузов; оформление необходимой товаросопроводительной документации; заключение договора перевозки с транспортным предприятием; расчеты за транспортировку груза; консультации по расчетным и экспедиторским операциям; информи-

рование участников транспортного процесса и др.[4]. Описать поведение процесса перевозки, выбрать ту или иную схему формализации очень трудно или вообще невозможно из-за нечеткости исходной информации.

Сопровождающие процесс сведения зачастую неполные или неясны. Такие факторы как: надежность поставщика, страховщика груза или перевозчика, мера ответственности и компетенции лица, отвечающего за сохранность груза во время перевозки, техническое состояние транспортных средств, соблюдение графика поставки, погодные условия и т.п. неточны по своей природе.

Таким образом, обоснована необходимость перехода от классических моделей теории управления к логико-лингвистическим моделям. Именно в них используются логические средства преобразования данных, представленных в лингвистической форме [5], [6].

В итоге был выбран метод имитационного моделирования с применением нечетких нейросетевых технологий.

3. Разработка алгоритма управления транспортно-логистическим процессом

Тестовое моделирование логистической задачи по организации перевозки груза проводилось на примере поставки партии риса из Вьетнама, порт Хошимин, в Россию, г. Москва, различными видами транспорта, включая морской. В рамках этой задачи были определены оценивающие и влияющие на процесс перевозки факторы, а также их взаимосвязь. Используя опыт экспертной группы и учитывая нечеткие факторы, нечеткую нейросетевую модель информационной системы управления транспортно-логистическим процессом можно представить состоящей из шести модулей, каждый из которых реализовывает один блок нечеткой нейронной сети. И седьмой модуль модели – аккумуляция всех предыдущих модулей. Входными данными которой являются выходы модулей с 1-го по 6-й (рис.2).

Далее, основываясь на знаниях экспертной группы, были определены восемь вариантов перевозок и их основные операции. В каждом варианте выделяется определенное количество факторов, упорядоченных по значимости/приоритетности каждого из них, которые влияют на эффективность как отдельного процессаблока, так и всей перевозки в целом. Был выделен определенный набор критериев, который в процессе совершенствования модели может быть дополнен, не влияя на саму систему или метод, при этом качественно улучшающий «портрет» объекта исследования.

Математическое описание модели информационной системы управления транспортно-логистическим процессом может быть представлено следующим образом:

$$y_{pi} = F(y_k) \text{ или} \\ y_{pi} = F(O(x_j), M(x_j), P(x_j), A(x_j), S(x_j), Z(x_j)), \quad (1)$$

где y_{pr} – оценка эффективности перевозки;
 «Условия отгрузки от поставщика»: $y_1=O(x_j)$, где $j=1, 2$;
 «Морская доставка (фрахт)»: $y_2=M(x_j)$, где $j=3, 4, 5, 6, 7$;
 «Порт и возможности терминала»: $y_3=P(x_j)$, где $j=8, 9, 10$;
 «Автоперевозка»: $y_4=A(x_j)$, где $j=11, 12, 13$;
 «Выгрузка и хранение на складе»: $y_5=S(x_j)$,

где $j=14, 15, 16, 17$;
 «Формирование груза, отправка по ж/д»: $y_6=Z(x_j)$, где $j=18,19, 20, 21$,
 где x_j – это входные переменные каждого нечеткого нейросетевого модуля, которыми являются различные факторы – это качественные характеристики отдельного блок-процесса; y_k – выход каждого из этих шести модулей – оценка эффективности k -го блок-процесса, где $k=1,2...6$ – соответствующий номер модуля.

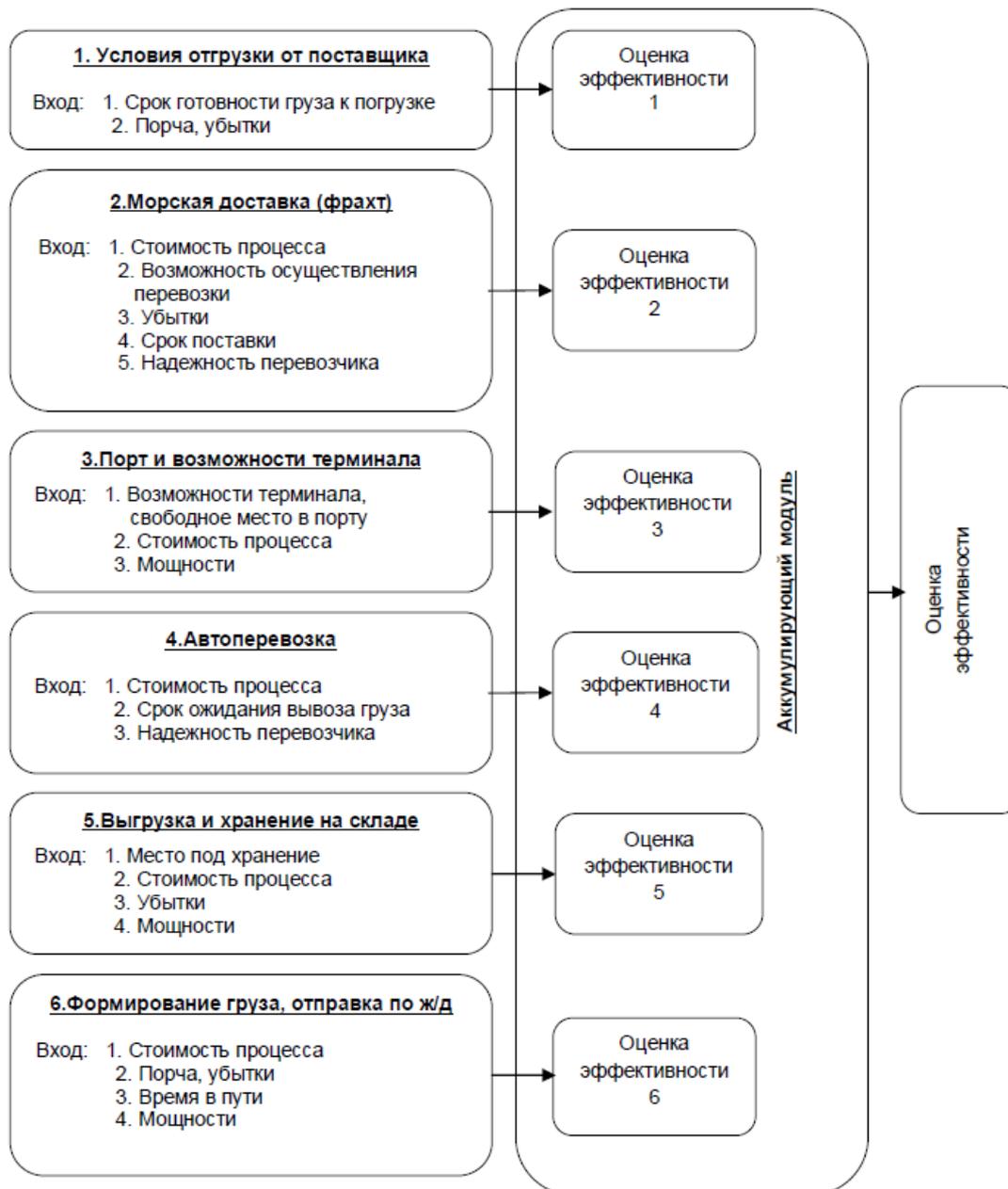


Рис. 2. Модель информационной системы управления транспортно-логистическим процессом

Каждой входной/выходной лингвистической переменной соответствует пять следующих термов: **плохо; ниже среднего; средне; хорошо; отлично (или операция отсутствует)**. Каждый из которых задан на универсуме от 0 до 1. Например, терм «Плохо» будет иметь значение Функции принадлежности отличное от 0 в значениях универсума от 0 до примерно 2. И так далее.

Учитывая, что в рамках нечеткой зоны каждого терма закон изменения каждой переменной явно нелинейный, форма функций принадлежности была выбрана гауссовой формы. Всего входных переменных 168: по двадцать одной переменной в каждой из восьми схем перевозки.

4. Разработка модели информационной системы управления транспортно-логистическим процессом

Разработка модели, ее программная реализация и исследование проводились при помощи пакета Fuzzy Logic Toolbox системы MATLAB в

форме адаптивной системы нейро-нечеткого вывода. Для реализации нечеткого вывода используется метод Сугено.

На рисунке 3 представлена нечеткая нейросетевая модель системы управления транспортно-логистическим процессом.

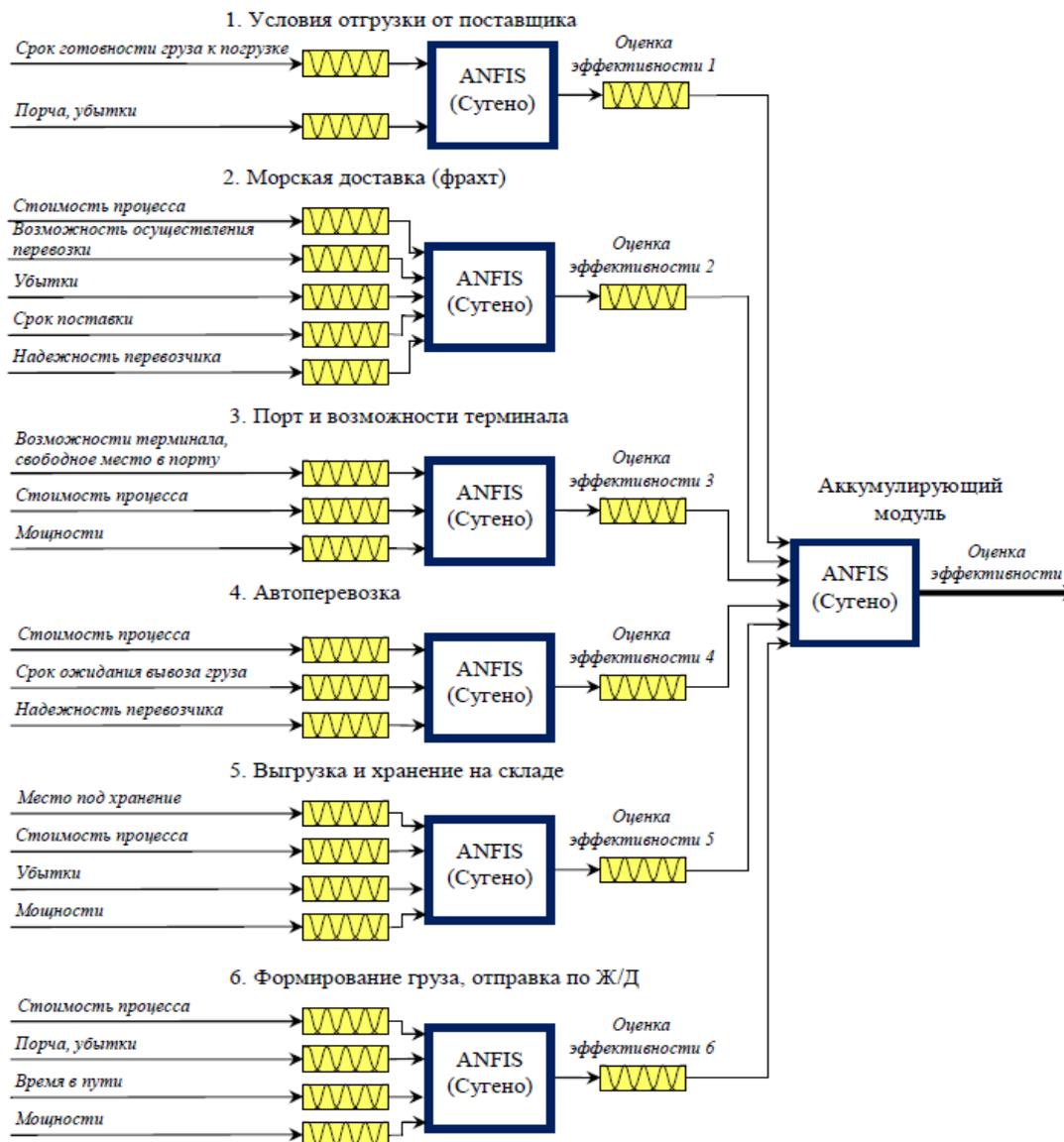


Рис. 3. Нечеткая нейросетевая модель информационной системы управления транспортно-логистическим процессом

Для обучения нечеткой нейронной сети были сформированы выборки, при этом была учтена взаимосвязь и значимость факторов относительно друг друга в каждом блок-процессе. Обучение сети производилось методом обратного распространения ошибки.

Значение уровня ошибки было установлено равным 0, количество циклов обучения равным 100. База правил нечетких продукций, составленная на основе экспертных оценок, состоит из 543 правил. Полный перебор при составлении правил равнялся бы нескольким десяткам тысяч.

В процессе обучения нечеткая нейронная сеть откорректирует заданные изначально приоритеты, построит графики функций принадлежности, компенсирует весами возможные разногласия оценок экспертов [7]. Обучение гибридной сети производилось поэтапно, по несколько выборок за один этап, постепенно увеличивая массив данных, чтобы избежать роста ошибки на тестируемом множестве.

Абсолютная погрешность моделирования каждого из семи модулей колеблется в пределах: $0 \leq \Delta x \leq 0,72$. Относительная погрешность работы

каждого из семи модулей модели колеблется в пределах: $0 \leq \delta_x \leq 0,18$ (или от 0% до 18%).

Сравнивая полученные результаты обучения и тестирования нечеткой нейронной сети всех семи модулей с соответствующими оценками экспертов, можно сделать вывод, что, модель на всех восьми вариантах перевозки груза обучена.

Результаты верификации демонстрирует почти точное совпадение оценок эффективности.

5. Факторный анализ

На имитационной модели реальной транспортно-логистической задачи был проведен факторный анализ, который выявил степень чувствительности модели к изменению значений факторов. По оценкам экспертов, анализ показал, что модель адекватно реагирует на изменение факторов и готова для применения в режиме рабочего времени. Для построения вариантов факторного анализа модели используются реальные примеры из практической деятельности транспортно-логистической компании ООО «DDP SERVICE», г. Владивосток. Для примера представлена одна из 23-х таблиц и соответствующая ей гистограмма (таблица 1, рисунок 4).

Для проведения анализа была введена относительная величина сравнения.

$$X_{огр} - X_{норм}, \quad (2)$$

где $X_{норм}$ – числовое значение термина лингвистической переменной, соответствующей фактору, по которому проводится сравнительный анализ, в штатном (обычном) режиме ТЛП; $X_{огр}$ – числовое значение термина лингвистической переменной,

соответствующей тому же фактору, но в определенных рамках ограничения его значения.

В результате, факторный анализ на аккумулярующем модуле выявил высокую степень чувствительности модели к изменению значений фактора «Выгрузка и хранение на складе» на схемах перевозки 3, 4, 7, 8.

Вариант перевозки 3
Ограничение фактора «Выгрузка и хранение на складе»

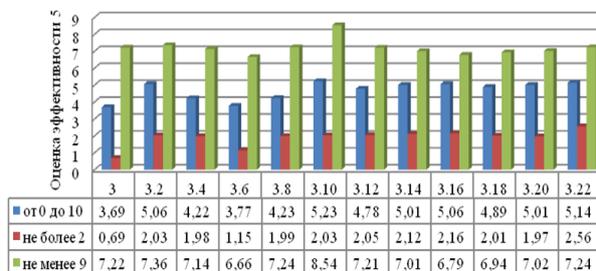


Рис. 4. Гистограмма факторного анализа на аккумулярующем модуле на примере двенадцати значений выходных переменных (3, 3.2, ...3.22) схемы перевозки 3

Самой нечувствительной к изменениям фактора является схема перевозки 6. Более чувствительной – схема 7. Этот вывод подтвердили и эксперты.

Факторный анализ показал, что модель реагирует на изменения входных переменных в соответствии с оценками экспертов в каждом рассмотренном случае и готова для применения в штатном режиме.

Таблица 1

Факторный анализ. Ограничение фактора «Выгрузка и хранение на складе». Вариант перевозки 3

№	Оценка эффективности 1 (Условия отгрузки от поставщика)	Оценка эффективности 2 (Морская доставка (фрахт))	Оценка эффективности 3 (Порт и возможности терминала)	Оценка эффективности 4 (Автоперевозка)	Оценка эффективности 5 (Выгрузка и хранение на складе)	Оценка эффективности 6 (Формирование груза, отправка по ж/д)	Оценка эффективности 8 (эксперты)	Оценка эффективности 9 (модель)	Результат ограничения оценки эффективности 5			
									не более 2		не менее 9	
									Оценка эффективности	ОБСр %	Оценка эффективности	ОБСр %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
3	3	4	4	10	5	5	4	3,69	0,69	-81	7,22	96
3.1	5	5	4	10	4	6	5	5,06	2,03	-60	7,36	45
3.2	3	3	4	10	5	5	4	4,22	1,98	-53	7,14	69
3.3	5	4	3	10	4	6	4	3,77	1,15	-69	6,66	77
3.4	3	4	4	10	4	5	4	4,23	1,99	-53	7,24	71
3.5	5	5	3	10	4	6	5	5,23	2,03	-61	8,54	63
3.6	7	3	4	10	5	6	5	4,78	2,05	-57	7,21	51
3.7	9	4	4	10	5	6	5	5,01	2,12	-58	7,01	40
3.8	7	4	4	10	4	5	5	5,06	2,16	-57	6,79	34
3.9	9	5	4	10	4	6	5	4,89	2,01	-59	6,94	42
3.10	7	3	4	10	4	5	5	5,01	1,97	-61	7,02	40
3.11	9	4	3	10	4	6	5	5,14	2,56	-50	7,24	41

6. Параметрическая оптимизация

В качестве критериев при оптимизации транспортно-логистического процесса использовались классические критерии для принятия решений менеджерами в условиях неопределенности: Максиминный, Оптимистический, Нейтральный. Эти три критерия применяются для определения оптимального решения на вычисленных при помощи модели значениях оценки эффективности процесса.

В левой части таблицы 2 для примера приведены итоговые оценки эффективности всех восьми схем перевозки. Входными данными шести модулей модели были влияющие на процесс факторы каждой из восьми схем перевозок, как проходящих в штатном обычном режиме. При-

чем, для примера в таблице приведены двенадцать вариаций выходных значений **оценок эффективности**, рассчитанных моделью на небольшом диапазоне изменения входных значений и их комбинаций. В этом случае эксперты определяли значения этих факторов, не предполагая никаких критических ситуаций. В правой части таблицы 2 приведены оптимальные значения оценок эффективности, определенных по трем критериям оптимальности.

По результатам анализа возможных решений в штатной ситуации лицам, принимающим решения, следует выбрать 6-ую схему перевозки груза (рис.5), т.к. все три критерия этой схемы показывают максимальный результат.

Таблица 2.

Анализ данных для выбора управляющих решений ЛПП

№	Оценка эффективности												Q _{MM}	Q _H	Q _N
	6.15	6.78	5.83	5.77	6.15	5.98	7.15	6.93	7.12	7.01	6.96	7.23			
1	6.15	6.78	5.83	5.77	6.15	5.98	7.15	6.93	7.12	7.01	6.96	7.23	5.77	7.23	6.59
2	7.12	7.23	6.59	7.18	7.01	6.93	7.4	8.1	7.22	7.89	7.01	8.33	6.59	8.33	7.33
3	3.69	5.06	4.22	3.77	4.23	5.23	4.78	5.01	5.06	4.89	5.01	5.14	3.69	5.23	4.67
4	4.85	4.96	5.06	5.13	6.32	5.02	6.03	5.96	5.01	4.78	5.36	5.14	4.78	6.32	5.30
5	7.80	7.96	8.01	8.12	8.36	8.01	8.95	8.36	8.36	7.69	8.13	8.12	7.69	8.36	8.16
6	8.98	9.89	9.36	10.3	9.01	9.89	9.16	9.01	8.87	9.89	9.03	10.2	8.87	10.3	9.47
7	2.96	2.76	2.01	2.78	1.83	3.06	3.07	3.23	3.16	3.25	2.96	3.01	1.83	3.25	2.84
8	3.21	3.78	4.21	3.77	2.89	3.78	3.96	4.23	4.21	4.02	3.75	3.78	2.89	4.23	3.80

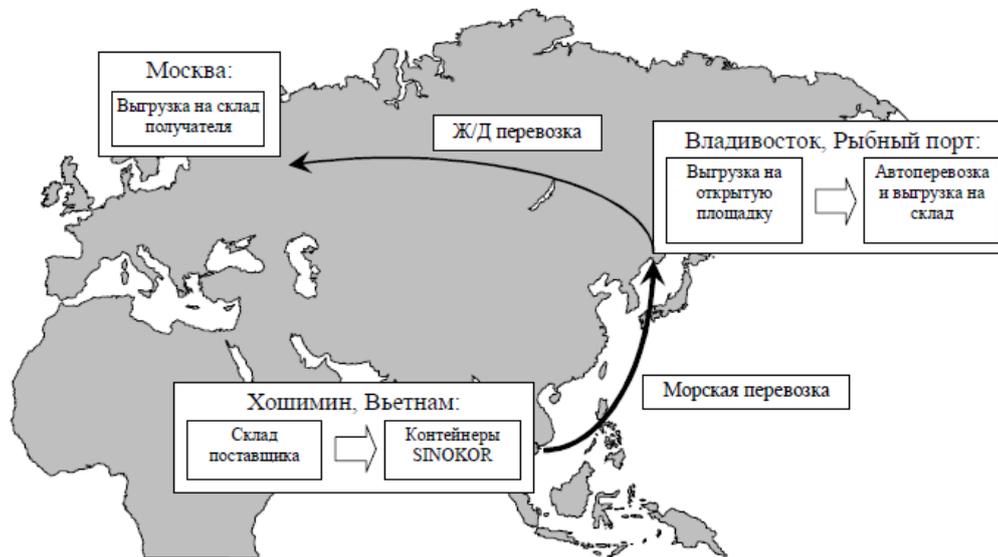


Рис. 5. Схема перевозки груза 6

В том случае, когда эксперты предполагают какую-либо критическую ситуацию, необходимо учесть изменения, влияющие на транспортно-логистический процесс. Модель позволяет просчитать все возможные ситуации, выдать прогноз, помогающий менеджерам выбрать наиболее

правильное решение в условиях какой-либо внештатной ситуации или неопределенности.

В качестве метода оптимизации также применяется и один из методов эволюционного моделирования – генетический алгоритм, основанный на процессах скрещивания, кроссовера, мутации и естественного отбора.

Особенностью эволюционного моделирования является возможность получения рациональных решений как на непрерывных, так и на дискретных множествах параметров. Целесообразность применения эволюционного метода объясняется плохой формализуемостью задачи и необходимостью получить результат для принятия решения в реальном времени. Также генетический алгоритм инвариантен к размерности задачи. Он позволяет решать задачи, структура решений которых неизвестна. Имеет высокую скорость решения за счет параллелизма алгоритма, так как каждый объект популяции может обрабатываться независимо друг от друга [8].

Различные методы нахождения оптимального решения показали схожие результаты при большей скорости генетического алгоритма.

7. Основные выводы

1. Проведенный анализ основных свойств и особенностей транспортно-логистического процесса показал, что он является динамическим, плохо формализованным и слабоструктурированным объектом управления.

2. Предложен нечеткий нейросетевой метод моделирования данного процесса с учетом не только количественных оценок, но и качественных, нечетко заданных, не поддающихся формализации критериев и связей между ними.

3. Предложенная модульная архитектура построенной нечеткой нейросетевой модели может быть расширена при помощи встраивания дополнительных модулей, позволяющих расширить информационную систему управления, увеличить ее возможности за счет детализации имитируемого процесса.

4. Набор влияющих факторов в каждом модуле может дополняться по ходу совершенствования модели, не влияя на саму систему (метод решения), зато качественно улучшая «портрет» объекта исследования – информационную си-

стему управления транспортно-логистическим процессом.

5. Разработана методика формирования базы знаний для модели с учетом не только количественных оценок, но и качественных, нечетко заданных, не поддающихся формализации критериев и связей между ними.

6. Факторный анализ выявил высокую степень чувствительности имитационной модели к изменению значений факторов. По оценкам экспертов модель адекватно реагирует на изменение факторов.

7. Разработаны методики применения модели для анализа ситуации и поведения взаимодействующих элементов, а также обеспечения в динамическом режиме мониторинга и диагностики управленческих процессов, моделирования реальных событий и процессов, прогнозирования и предупреждения критических ситуаций.

8. Определено, что задача поиска оптимального решения на модели является многокритериальной, многофакторной и относится к задачам дискретной оптимизации.

9. Имитационная модель пригодна для последующего исследования реального транспортно-логистического процесса, прогнозирования его поведения, оптимизации функционирования, для анализа различных ситуаций и поведения взаимодействующих элементов.

10. Разработаны методики выработки наиболее рациональных руководящих решений в условиях неопределенности при помощи модели: либо полным перебором возможных решений, либо при помощи генетического алгоритма.

11. Имитационная модель транспортно-логистического процесса может быть использована для мониторинга и диагностики управленческих решений в динамическом режиме, так как позволяет моделировать реальные события и процессы, прогнозировать и предупреждать критические ситуации.

Литература

1. Барский, А.Б., Нейронные сети: распознавание, управление, принятие решений. – М: Финансы и статистика, 2004. –176 с.: ил. – (Прикладные информационные технологии)
2. Танака, Т. Итоги рассмотрения факторов неопределенности и неясности в инженерном искусстве // Т. Танака. /Нечеткие множества и теория возможностей. Последние достижения: пер. с англ. / Под ред. Р.Р. Ягера. – М.: Радио и связь, 1986. – 408 с.: ил.
3. Поспелов, Д.А. Ситуационное управление: теория и практика / Д.А. Поспелов : Гл. ред. физ.-мат.лит. : М. : Наука, 1986 – 288 с.
4. Воевудский, Е.Н. Экономико-математические методы и модели в управлении морским транспортом / Е.Н. Воевудский, Н.А. Коневцева, Г.С. Махуренко, И.П. Тарасова; Под ред. Е.Н. Воевудского – М.: Транспорт, 1988. – 384 с.
5. Круглов, В.В., Борисов, В.В. Искусственные нейронные сети. Теория и практика – М.: Горячая линия–Телеком, 2001. – 382 с.
6. Рутковская, Д., Пилиньский, М., Рутковский, Л. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы. – 2-е изд. – М.: Горячая линия-Телеком, 2007 – 452 с.

7. Штовба, С.Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB / С.Д. Штовба – М.: Горячая линия–Телеком, 2007. – 288 с.
8. Батищев, Д.И., Неймарк, Е.А., Старостин, Н.В. Применение генетических алгоритмов к решению задач дискретной оптимизации. Учебно-методический материал по программе повышения квалификации «Информационные технологии и компьютерное моделирование в прикладной математике». Нижний Новгород, 2007, 85 с. [Электронный ресурс] – <http://www.unn.ru/pages/e-library/aids/2007/15.pdf>

References

1. Barskij, A.B., Nejrnyne seti: raspoznavanie, upravlenie, prinyatie reshenij. – M: Finansy i statistika, 2004. –176 s.: il. – (Prikladnye informacionnye tekhnologii) T. Tanaka. /Nechetkie mnozhestva i teoriya vozmozhnostej. Poslednie dostizheniya: per. s angl. Pod red. R.R. YAgera. – M.: Radio i svyaz', 1986. – 408 s.: il.
3. Pospelov, D.A. Situacionnoe upravlenie: teoriya i praktika D.A. Pospelov : Gl. red. fiz.-mat.lit. : M. : Nauka, 1986 – 288 s.
4. Voevudskij, E.N. EHkonomiko-matematicheskie metody i modeli v upravlenii morskim transpor-tom / E.N. Voevudskij, N.A. Konevceva, G.S. Mahurenko, I.P. Tarasova; Pod red. E.N. Voevudsko-go – M.: Transport, 1988. – 384 s.
5. Kruglov, V.V., Borisov, V.V. Iskusstvennye nejronnye seti. Teoriya i praktika – M.: Goryachaya liniya–Telekom, 2001. – 382 s.
6. Rutkovskaya, D., Pilin'skij, M., Rutkovskij, L. Nejrnyne seti, geneticheskie algoritmy i ne-chetkie sistemy. – 2-e izd. – M.: Goryachaya liniya-Telekom, 2007 – 452 s.
7. SHtovba, S.D. Proektirovanie nechetkih sistem sredstvami MATLAB / S.D. SHtovba – M.: Goryachaya liniya–Telekom, 2007. – 288 s.
8. Batishchev, D.I., Nejmark, E.A., Starostin, N.V. Primenenie geneticheskikh algoritmov k resheniyu zadach diskretnoj optimizacii. Uchebno-metodicheskij material po programme povysheniya kva-lifikacii «Informacionnye tekhnologii i komp'yuternoje modelirovanie v prikladnoj mate-matike». Nizhnij Novgorod, 2007, 85 s. [EHlektronnyj resurs] – <http://www.unn.ru/pages/e-library/aids/2007/15.pdf>

УДК 629.054

ЦИФРОВОЕ УСТРОЙСТВО УПРАВЛЕНИЯ СЕЛЬСИННЫМИ УКАЗАТЕЛЯМИ

Артемьев Андрей Владимирович

кандидат технических наук, доцент
доцент кафедры Технических средств судовождения
Морской государственной университет им. адм. Г.И. Невельского
690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, д.50 – а
тел.: 8 (423) 241-49-68; e-mail: artemyev@msun.ru

Воробьев Всеволод Владимирович

кандидат технических наук
старший научный сотрудник научно-исследовательского института морской техники
Морской государственной университет им. адм. Г.И. Невельского
690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, д.50 – а
тел.: 8 (423) 241-49-68; vorobyev@msun.ru

Горшков Андрей Алексеевич

аспирант
Морской государственной университет им. адм. Г.И. Невельского
690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, д.50 – а
тел.: 8 (423) 241-49-68; e-mail: gorshkov@msun.ru

Перечесов Владимир Сергеевич

кандидат технических наук, доцент
заведующий кафедрой Электрооборудования судов
Морской государственной университет им. адм. Г.И. Невельского
690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, д.50 – а
тел.: 8 (423) 241-49-68; e-mail: perechesov@msun.ru

Аннотация

При модернизации судового оборудования возникает необходимость управления различными сельсинными указателями (репитеры курса, аксиометры и т.д.) от цифровых информационных сетей, таких как NMEA-0183. В статье рассматривается устройство, преобразующее последовательный сигнал стандарта NMEA-0183 в выходные напряжения управления сельсином-приемником. Особенностью является использование постоянного тока низкого напряжения для формирования сигналов возбуждения и синхронизации сельсина. Величина напряжений задается широтно-импульсной модуляцией постоянного напряжения 24В. Реализовано ограничение максимальной скорости и ускорения при изменении заданного положения сельсина-приемника. В реализованном устройстве обеспечивается 100 положений сельсина-приемника на один оборот, что намного превышает требуемую точность судовых указателей. Теоретическая точность установки выходных напряжений превышает точность обработки используемых сельсинов. Использование устройства позволяет снизить температурный режим сельсинов за счет уменьшения потерь в стали.

Ключевые слова: сельсин, приемник, курс, судно, репитер, аксиометр, синхронизация, стандарт NMEA-0183

DIGITAL CONTROL UNIT OF SYNCHRONIC POINTERS

Artemyev Andrei Vladimirovich

Associate professor, Cand. Sci. Tech.
Associate professor of department of Technical aids to navigation
Maritime state university named Admiral Nevelskoi
50 – a, Verkhneportovaya st., 690059, Vladivostok, Russia
tel.: 8 (423) 241-49-68; e-mail: artemyev@msun.ru

Vorobyev Vsevolod Vladimirovich

Cand. Sci. Tech.
Senior scientific researcher of R&D Institute of Marine Engineering
Maritime state university named Admiral Nevelskoi

50 – a, Verkhneportovaya st., 690059, Vladivostok, Russia
tel.: 8 (423) 241-49-68; vorobyev@msun.ru

Gorshkov Andrei Alekseevich

Postgraduate student
Maritime state university named Admiral Nevelskoi
50 – a, Verkhneportovaya st., 690059, Vladivostok, Russia
tel.: 8 (423) 241-49-68; e-mail: gorshkov@msun.ru

Perechesov Vladimir Sergeevich

Associate professor, Cand. Sci. Tech.
Head of department of Ships electrical equipment
Maritime state university named Admiral Nevelskoi
50 – a, Verkhneportovaya st., 690059, Vladivostok, Russia
tel.: 8 (423) 241-49-68; e-mail: perechesov@msun.ru

Abstract

When modernizing the ship equipment is necessary to control the various synchronic pointers (repeaters rate, helm indicator, etc.) of digital information networks, such as the NMEA-0183. The article discusses a device that converts the serial signal standard NMEA-0183 output voltage control synchronic receiver. A feature is the use of low voltage DC for generating drive signals and synchronizing selsyn. The voltage is set PWM DC 24V. Implemented the maximum speed limit and acceleration when changing the set position of the synchro receiver. In the realized device provides 100 synchronic receiver positions per revolution, which is much higher than the required accuracy of ship pointers. Theoretical placement accuracy output voltage exceeds the accuracy of mining used selsyns. Using the device reduces the temperature regime of selsyns by reducing iron loss.

Key words: selsyn, receiver, course, ship, repeater, helm indicator, synchronization, standard NMEA-0183

Введение

При модернизации судового оборудования часто возникает проблема сопряжения старого аналогового оборудования с современными цифровыми сетями передачи информации.

Типичным примером является обновление системы курсоуказания, при которой заменяется выработавший свой ресурс гирокомпас. В старых системах дистанционная передача сигнала курса к различным потребителям, таким как репитеры, авторулевые, осуществлялось с применением сельсинов.

Современные гирокомпасы не имеют сельсинного выхода, а передают сигнал курса по шине стандарта NMEA-0183 или NMEA-2000. Также, нередко судовладельцы устанавливают на свои суда спутниковые компасы, работающие по сигналам спутниковых навигационных систем. Такие компасы гораздо долговечней гирокомпасов и используются в безопасных районах плавания, позволяя экономить ресурс основного гирокомпаса. Эти устройства передают сигнал курса только по последовательному цифровому интерфейсу.

Замена старой репитерной системы не оправданно дорога, поэтому при модернизации устанавливают так называемые трансляторы курса. Эти приборы имеют в своем составе статические инверторы напряжения и обеспечивают на выходе стандартный сельсинный сигнал, подаваемый к нескольким сельсинам-

приемникам. Распространенные трансляторы курса допускают в качестве нагрузки до 6-12 приемников, что по потребляемой мощности достигает 150-300Вт.

В данной статье описывается устройство, обеспечивающее управление одним сельсинном-приемником. Это позволяет модернизировать приемные устройства. Такое решение оправдано экономически при малом числе приемников курса и имеет некоторые другие преимущества в части экономии энергии и электромагнитной совместимости по сравнению с применением трансляторов курса.

2. Электрическая схема устройства

В качестве опытной нагрузки устройства был выбран распространенный в системах курсоуказания отечественного производства сельсин БС-1404. Его основные технические характеристики следующие.

- Напряжение возбуждения, В	110
- Максимальное напряжение синхронизации, В	51
- Потребляемый ток, А	0,44
- Частота напряжения, Гц	50
- Потребляемая мощность, Вт	16,5

Прежде чем приступить к описанию схемы стоит отметить важную особенность разрабатываемой схемы. Одной из технических характеристик сельсина является номинальная частота питающего напряжения.

При этой частоте и номинальном паспортном напряжении эта электромеханическая машина потребляет номинальный ток.

Однако, как известно, вращающий момент электрических машин зависит только от величины тока. Исходя из этого, решено питать сельсина постоянным током, снизив напряжение до уровня, обеспечивающего номинальные токи сельсина.

У сельсина БС-1404 сопротивление обмотки возбуждения около 50 Ом, а синхронизации около 75 Ом. Что требует снизить напряжение возбуждения при переходе на постоянный ток до 22В.

Соответственно, напряжение питания всей схемы выбирается стандартным, равным 24В. Из него формируются напряжение возбуждения, а также, зависящие от требуемого угла поворота, три напряжения синхронизации.

Такое напряжение, во-первых, значительно снижает требования к силовым элементам схемы, а, во-вторых, значительно снижается рассеиваемая мощность в преобразователе даже при невысоком КПД.

На рисунке 1 представлен один из трех силовых каскадов, питающих обмотку синхронизации.

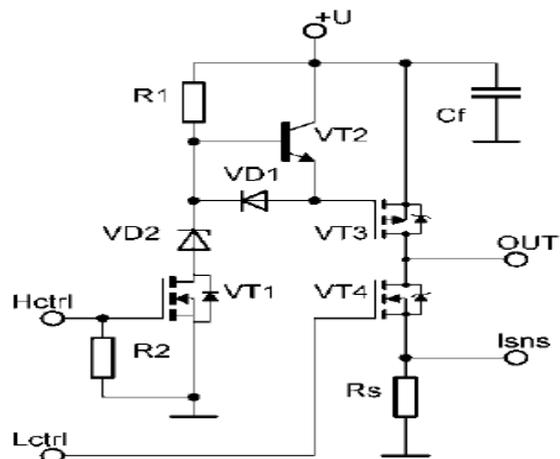


Рис. 1. Сило вой каскад

У обмотки возбуждения один конец подключается на +U, а второй конец подключен к силовому каскаду, у которого, в отличие от представленного на рисунке 1, вместо верхнего транзистора VT3 установлен диод Шоттки.

Пара выходных транзисторов VT3 и VT4 расположена в одном корпусе SOIC-8. Транзистор VT1 вместе со стабилитроном VD2 образуют схему смещения уровня. Транзистор VT2 и VD1 обеспечивают быстрое закрытие верхнего р-канального транзистора. Резистор шунта Rs служит для контроля тока. Один такой резистор установлен в цепи питания обмотки возбуждения, и один общий для трехфазного моста, питающего обмотку синхронизации. Общая функциональная схема устройства представлена на рисунке 2.

Драйвер RS-422 служит для электрического согласования уровней входа микроконтроллера с шиной NMEA-0183 и построен с использованием оптопары для гальванической развязки устрой-

ства от источника сигнала курса. С делителя напряжения микроконтроллер контролирует входное питающее напряжение и при выключении устройства сохраняет текущее положение сельсина во внутренней энергонезависимой памяти.

В качестве управляющего микроконтроллера (МК) была выбрана микросхема STM32F103C8. В этом микроконтроллере имеется прогрессивный таймер, позволяющий формировать 4 канала широтно-импульсного модулированного (ШИМ) сигнала.

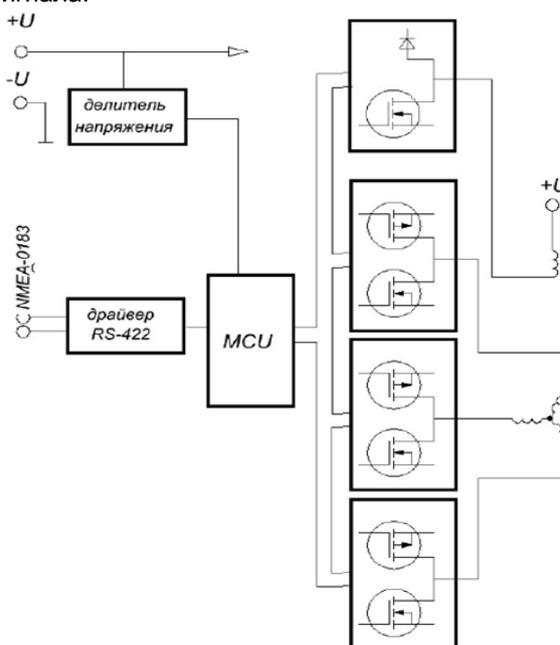


Рис. 2. Функциональная схема устройства

При этом 3 канала из них имеют комплементарный выход, позволяющий управлять верхним и нижним ключами силового каскада. Между переключениями с верхнего на нижний транзистор и обратно модуль таймера позволяет устанавливать настраиваемую бестоковую паузу. МК имеет рабочую частоту 72МГц. При выборе между дискретность ШИМ, динамическими потерями в силовых транзисторах и частотой несущей выбрана частота 15кГц. В этом случае дискретность ШИМ составила 2400 положений.

3. Реализация алгоритма изменения положения

В принимаемом от компаса предложении дискретность угла курса составляет в большинстве случаев 0,1град, реже – 0,01град. В устанавливаемых на судах репитерах при изменении курса на один градус сельсин-приемник совершает один полный оборот. Таким образом, в устройстве формируется 100 различных уровней напряжения синхронизации для плавного вращения картушки. При изменении заданного положения последовательно подавая на сельсин различные уровни напряжения, последний будет перемещаться к требуемому положению, вращая

через редуктор шкалы точного и грубого отсчетов. Общепринято, что компасы выдают предложения с текущим курсом через промежутки в 100мс. Чтобы не было рывков, а тем более проскальзывания шкал необходимо ограничивать скорость и ускорение вращения сельсина.

Алгоритм движения сельсина реализован следующим образом. В программе имеются две переменные: заданный курс Y_3 , принимаемый от гирокомпы, и текущий установленный на репитере курс Y_T . Переход текущего курса к заданному осуществляется по апериодическому закону (рисунок 3).

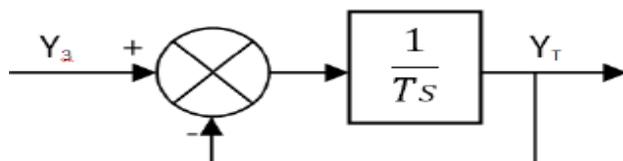


Рис. 3. Структурная схема расчета текущего положения

Таким образом, связь между заданным и текущим положением определяется передаточной функцией

$$\frac{1}{Ts + 1}$$

Постоянная времени T должна быть не слишком велика, чтобы не было запаздывания в отображении текущего курса. С другой стороны, при слишком малой T и медленном изменении курса шкала успевает переместиться на новый заданный курс и остановиться до прихода нового значения. Это приводит к тому, что картушка двигается рывками. Компромиссным решением является выбор постоянной времени равной периоду следования посылок.

При устройстве обновления выходных напряжений, а вернее, связанных с ними коэффициентов заполнения ШИМ осуществляется че-

рез каждые 1мс. Переход от модели в преобразованиях Лапласа к дискретной модели [1], с учетом частоты дискретизации 1000Гц и постоянной времени интегратора, выбранной равной частоте посылки 10Гц приводит к следующей передаточной функции интегратора

$$\frac{0.01}{z - 1}$$

Из передаточной функции видно, что для расчета следующего значения $Y_T(n)$, необходимо учитывать не только текущий заданный курс $Y_3(n)$, но и предыдущее значение $Y_T(n-1)$, а как следует из дальнейшего, для расчета ускорения потребуется положение $Y_T(n-2)$. Кроме этого, для предотвращения проскальзывания необходимо ограничивать скорость вращения

$$|\Delta Y_T(n)| = |Y_T(n) - Y_T(n-1)| < \pm \omega_{\max}$$

и ускорение

$$|\Delta Y_T(n) - \Delta Y_T(n-1)| < \pm \varepsilon_{\max}$$

Для реализации вышеуказанной передаточной функции с соответствующими ограничениями программно реализуется структурная схема, представленная на рисунке 4.

3. Заключение

Применение постоянного тока для управления сельсином приемником позволяет снизить потери электроэнергии за счет уменьшения потерь в силовой части инвертора, а также потери энергии в сельсине за счет уменьшения потерь в стали. Применение разрабатываемого устройства для каждого приемника индивидуально позволяет значительно уменьшить электромагнитные помехи, излучаемые преобразователем. Кроме этого, постоянный характер тока упрощает реализацию помехоподавляющих фильтров.

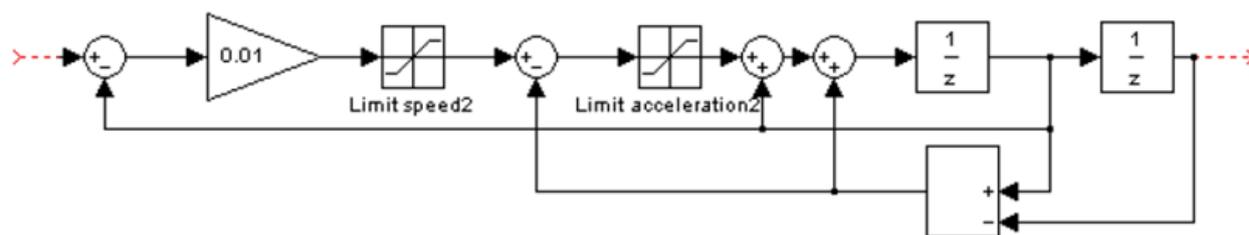


Рис. 4. Структурная схема расчета текущего положения (Y_T) с учетом ограничения скорости и ускорения вращения

Литература

1. Руководство пользователя Matlab Преобразование модели из аналоговой в дискретную форму. URL: http://www.mathworks.com/help/control/ref/c2d.html?s_cid=srchtitle
2. Микроконтроллер STM32F103C8. URL: <http://www.st.com/web/catalog/mmc/FM141/SC1169/SS1031/LN1565/PF164476>
3. AVR446: Linear speed control of stepper motor. Application Note. URL: <http://www.atmel.com/images/doc8017.pdf>

References

1. Rukovodstvo pol'zovatelya Matlab Preobrazovanie modeli iz analogovoj v diskretnuyu formu. URL: http://www.mathworks.com/help/control/ref/c2d.html?s_cid=srchtile
2. Mikrokontroller STM32F103C8.
URL: <http://www.st.com/web/catalog/mmc/FM141/SC1169/SS1031/LN1565/PF164476>
3. AVR446: Linear speed control of stepper motor. Application Note. URL: <http://www.atmel.com/images/doc8017.pdf>

Управление в социальных и экономических системах

УДК 378.162

ПОДХОД К ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОСНОВНЫХ АКТИВОВ УНИВЕРСИТЕТА ПО ПОДГОТОВКЕ КУРСАНТОВ МОРСКИХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ

Лялина Жанна Ивановна

кандидат экономических наук, доцент
заведующая кафедрой Финансы и кредит
Дальневосточный федеральный университет
690950, Владивосток, ул. Суханова, 8
тел. 8 (423) 265-24-24; e-mail: lyalina61@mail.ru

Кривец Валерия Викторовна

кандидат экономических наук, доцент
доцент кафедры Финансы и кредит
Дальневосточный федеральный университет
690950, Владивосток, ул. Суханова, 8
тел. 8 (423) 265-24-24; e-mail: krivet@mail.ru

Гончарова Татьяна Гарриевна

кандидат экономических наук, доцент
доцент кафедры Финансы и кредит
Дальневосточный федеральный университет
690950, Владивосток, ул. Суханова, 8
тел. 8 (423) 265-24-24

Аннотация

В работе предлагается комплексный подход к оценке эффективности использования основных материальных активов университета по подготовке специалистов морских профессий. Подход предполагает использование наряду с традиционными отчетными показателями Морского университета показателей рыночной эффективности. Учитывая, что имущество университетов служит общественным интересам, оценка рыночной эффективности в этом случае имеет ряд специфических особенностей, учет которых и предложен в работе. Основная задача, решаемая таким комплексным подходом к системе показателей для оценки – нахождение баланса между успешным осуществлением университетом своей основной, уставной деятельности и хозяйственной эффективностью в части использования имущества. Внедрение системы показателей для анализа состояния и оценки доходности имущества позволит получать качественную и объективную информацию по составу и состоянию имущественного комплекса университета; осуществлять оперативное управление деятельностью вуза в соответствии с изменениями внешней среды; планировать деятельность по достижению целей университета в части повышения эффективности использования имущественного комплекса.

Ключевые слова: морские специальности, профессиональная подготовка, многоуровневое обучение, имущественный комплекс, показатели эффективности

THE APPROACH OF THE ASSESSMENT OF EFFECTIVENESS OF THE UNDERLYING ASSETS OF THE UNIVERSITY TRAINING OF CADETS OF SEA SPECIALTIES

Lalina Jeanne Ivanovna

Associate professor, Cand. Sci. Economic.
Head of department of Finance and Credit
Far Eastern Federal University
8, Sukhanova st., 690950, Vladivostok, Russia
tel. 8 (423) 265-24-24; e-mail: lyalina61@mail.ru

Krivets Valeriya Victorovna

Associate professor, Cand. Sci. Economic.
Associate professor of department of Finance and Credit
Far Eastern Federal University
8, Sukhanova st., 690950, Vladivostok, Russia
tel. 8 (423) 265-24-24; e-mail: krivet@mail.ru

Goncharova Tatiana Garrievna

Associate professor, Cand. Sci. Economic.
Associate professor of department of Finance and Credit
Far Eastern Federal University
8, Sukhanova st., 690950, Vladivostok, Russia
tel. 8 (423) 265-24-24

Abstract

The approach is based on the idea of a market economy dictated by the need for complex analysis and evaluation of the effectiveness of fixed tangible assets of the state educational institutions. The idea is expressed in the fact that in addition to traditional accounting indicators on the use of assets of universities, and to apply the common market efficiency indicators used, in particular, the management of commercial real estate. Given that the property is not owned by universities educational institutions, and most importantly, is not private, commercial, and social public interests, the assessment of market efficiency of the property has a number of specific features, which records in the paper is proposed. The main problem to be solved in such a comprehensive approach to the system of indicators to assess - the balance between the successful implementation of its main university, authorized activity and economic efficiency in the use of the property. The introduction of a system of indicators for the analysis of the profitability and valuation of the property will allow to receive quality and objective information on the composition and condition of the property complex of the university; operational management of the university in accordance with changes in the external environment; plan activities to achieve the goals of the University in terms of efficiency of the property complex.

Key words: marine specialty training, multi-level training, property complex, performance indicators

Введение

Рыночные отношения требуют рационального использования выделенного и закрепленного государственного имущества, как собственного, так и приобретенного за счет внебюджетных средств. Это тем более важно для морских университетов, осуществляющих подготовку кадров в сфере судостроения и судоходства. Дальний Восток России, являясь воротами в страны АТР, остро нуждается в специалистах данного профиля, получивших образование на самом высоком качественном уровне, и способных конкурировать с выпускниками университетов аналогичной направленности стран соседей по АТР. Эффективность решения этой весьма значимой в социально-экономическом плане общественной задачи невозможно представить без соответствующей эффективности по отношению к использованию ресурсов ведущего университета по подготовке специалистов морских профессий, которым является МГУ им. Адм. Г.И. Невельского.

Долгое время критерием эффективности в имущественной сфере университета оставалось целевое расходование средств, тогда как сегодня стоит вопрос рационального и результативного использования ресурсов. Оценка состояния имущественного комплекса образовательного учреждения, определение приоритетов его развития, повышение эффективности управления имуществом университетов в целом, все это крайне важные задачи. К тому же их решение абсолютно

согласно Концепции осуществления Министерством образования и науки Российской Федерации полномочий собственника в отношении имущества подведомственных организаций (в части объектов движимого и недвижимого имущества), утвержденной Приказом Министерства образования и науки Российской Федерации № 310 от 18.04.2012г.

Университеты сегодня должны на постоянной основе проводить работу по рациональному использованию движимого и недвижимого имущества, обеспечению его сохранности, снижению расходов на его содержание, повышению доходности.

Спецификой образовательных учреждений является тот факт, что эффективное использование имущественного комплекса университета это в первую очередь обеспечение образовательным учреждением выполнения своей основной функции, - подготовки специалистов морских профессий, и только во вторую и по возможности забота о доходности в коммерческом смысле.

Также, необходимо учитывать особенную фондоемкость процесса обучения морским специальностям, в том числе, размер инвестиций в учебные суда и др. оборудование.

Эффективное управление основными активами университета по подготовке специалистов морских профессий немыслимо без адекватного анализа и оценки их доходности. Соответственно цель настоящей работы предложить комплексную

методику, учитывающую как рыночные реалии функционирования университетов, так и их нацеленность на общественно значимый процесс многоуровневого обучения моряков и кораблестроителей, включая подготовку специалистов высшей квалификации, - докторов и кандидатов наук.

Информационная основа оценки эффективности активов морского университета

Любая оценка в общем случае всегда требует адекватной информационной основы, без которой она не может быть объективной.

В отношении движимого и недвижимого имущества университета информация может быть собрана, во-первых, из данных бухгалтерского учета и отчетности, во – вторых, из статистических отчетов, а также из документов, правоустанавливающих и технических, которые целесообразно формировать в привязке к каждому конкретному объекту.

Так же важным источником информации является непосредственно визуальный осмотр имущества. Также применяется рыночная и иная внешняя, необходимая аналитику информация. Ниже приводится детализация источников информации, разбитая по пяти указанным направлениям.

Часть исходных данных, а именно отчетные формы (пункты 1 и 2 таблицы 1), перечисленные выше, являются требованиями соответствующих контролирующих органов, и отражают их информационные потребности. Соответственно официальных отчетов может быть недостаточно для целей эффективного управления активами в рамках самой организации. Другой вопрос, что информационная база, которую необходимо создать в морском университете, должна позволять оперативно формировать, в том числе и официальные отчетные формы в части материально-имущественных активов образовательного учреждения.

Наилучшим способом организации информации представляется составление индивидуальной карточки для каждого объекта, с возможностью последующей группировки локальных данных в сводные таблицы для официальной отчетности и также в любые массивы по различным критериям в зависимости от целей аналитика.

Разумеется, столь емкую задачу не решить без помощи современных компьютерных технологий и соответствующего программного обеспечения. Разработка программного продукта может быть осуществлена как силами соответствующих специалистов морского университета, так и путем приобретения готового программного обеспечения у специализированной компании.

Однако прежде чем информационная основа будет сформирована, необходимо определить непосредственно перечень анализируемого имущества, а также провести его всестороннюю про-

верку по критериям физического состояния, экономического и правового.

Подготовка информации, таким образом, должна проводиться в несколько этапов, которые показаны на схеме (Рис. 1).

После того, как база будет сформирована и соответствующие массивы данных получены можно переходить к обработке информации с помощью комплексной системы показателей.

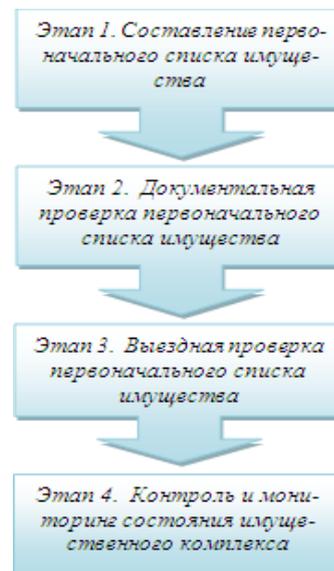


Рис. 1. Этапы подготовки информации для оценки эффективности имущественного комплекса морского университета

Система показателей оценки доходности активов

Показатели оценки доходности активов в составе имущественного комплекса морского университета могут достаточно сильно различаться, что связано в первую очередь с их функциональным предназначением. Поэтому далее для простоты изложения сконцентрируемся на особенностях анализа и оценки эффективности использования недвижимого имущества.

Как уже указывалось, показатели доходности недвижимости морского университета нельзя ассоциировать исключительно с понятием доходности, что характерно для коммерческого имущества и недвижимости, которые должны были бы приносить прямой доход собственнику. Деятельность морского университета ориентирована, в первую очередь, на решения задач профессионального образования и прикладной науки.

Кроме этого, государственное имущество в составе комплекса морского университета обычно разного уровня подчиненности, а операции с имуществом университета регламентированы определенными правилами и законами.

Иными словами, имущественный комплекс университета, это не капитал, для извлечения дохода, а ресурс, призванный обеспечивать эффективность обучения специалистов морских

профессий. Данное обстоятельство оказывает влияние на выбор методов и подходов к оценке эффективности университетского имущественного комплекса.

Представляется, что зачастую доходность в данном контексте будет определяться экономией

затрат как на приобретение и при аренде профильных активов в случае необходимости подобных транзакций, так и главным образом, затрат на содержание объектов имущественного комплекса университета.

Таблица 1

Источники информации для оценки эффективности активов морского университета

№	Группа источников	Источники данных
1	Отчетная бухгалтерская информация	Баланс государственного (муниципального) учреждения (ф. 0503730 здесь и далее в соответствии с Приказом Минфина РФ от 25 марта 2011 г. N 33н "Об утверждении Инструкции о порядке составления, представления годовой, квартальной бухгалтерской отчетности государственных (муниципальных) бюджетных и автономных учреждений" С изменениями и дополнениями от 26 октября 2012 г.); Справка по консолидируемым расчетам учреждения (ф. 0503725); Справка по заключению учреждением счетов бухгалтерского учета отчетного финансового года (ф. 0503710); Отчет об исполнении учреждением плана его финансово-хозяйственной деятельности (ф. 0503737); Отчет о принятых учреждением обязательствах (ф. 0503738); Отчет о финансовых результатах деятельности учреждения (ф. 0503721); Пояснительная записка к Балансу учреждения (ф. 0503760);
2	Отчетная статистическая информация	Сведения об образовательной организации, осуществляющей образовательную деятельность по образовательным программам высшего профессионального образования (форма ВПО-1 в соответствии с Приказом Росстата от 27.08.2013 N 344 (ред. от 21.08.2014 приказ № 529) «Об утверждении статистического инструментария для организации Министерством образования и науки Российской Федерации»); Сведения о материально-технической и информационной базе, финансово-экономической деятельности образовательного учреждения, реализующего программы высшего профессионального образования (форма ВПО-2 в соответствии с Приказ Росстата от 28.01.2014 N 54 «Об утверждении статистического инструментария для организации Министерством образования и науки Российской Федерации Федерального статистического наблюдения за деятельностью образовательных организаций»)
3	Данные идентифицирующие объекты имущественного комплекса	Сведения из документов, правоустанавливающих (свидетельства о правах, договора и др.) и технических (технические, кадастровые паспорта, паспорта транспортных средств и технические паспорта на оборудование), которые целесообразно формировать в привязке к каждому конкретному объекту, а так же информация, полученная в ходе визуального осмотра имущества. Данные экономического характера (доходы, расходы, связанные с содержанием объекта имущественного комплекса). Привязка данных может осуществляться путем формирования карточки каждого объекта, в которой будут содержаться соответствующие данные.
4	Рыночные данные	Данные рынка недвижимости (целевые сегменты рынка) о продаже, сдаче в аренду аналогичных объектов. Данные рынка движимого имущества (целевые сегменты рынка) о продаже, сдаче в аренду аналогичных объектов. Данные о параметрах рынка, в частности ликвидности объектов, ставках капитализации, доле операционных расходов и т.п. Источником организованной рыночной информации выступают независимые эксперты, консультанты, оценщики, риэлторы и другие профессиональные участники рынка, а также публикуемые данные в открытом доступе. Альтернативный подход сбор и анализ первичных рыночных данных профильных сайтов, силами сотрудников соответствующих департаментов университета.
5	Иная информация	Иные данные, на усмотрение аналитика, которые, по его мнению, могут оказывать влияние на характеристику доходности активов. В частности различные методики и методические рекомендации, в том числе официально утвержденные, иные нормативные документы, статьи по теме и т.п.

К слову, особенно это справедливо для движимых вещей, машин, оборудования, транспорта и плавсредств, поскольку в отношении подобных объектов вообще крайне редко приходится говорить о прямых доходах от их функционирования, даже в рамках предпринимательской деятельности.

В большинстве вариантов анализ эффективности имущественного комплекса морского уни-

верситета ограничивается оценкой обеспеченности материальными средствами приведенного контингента. В группу критериев оценки включают отношения какой-либо значимой количественной характеристики объектов (площади зданий, количества единиц (вычислительной техники или библиотечного фонда), бухгалтерской стоимости) к количеству студентов приведенного контингента. Данные показатели в частности предусмотре-

ны в соответствующей форме (форма № 1-Мониторинг утв. Зам. Министра образования и науки РФ от 03.04.2014г. № АК-39/05вн, п. 5).

Другой известный подход оценки эффективности сводится к учету финансовых показателей анализа, в частности, кривые динамики и структуры, оборачиваемости активов и рентабельности, инвестиционной активности и другие.

Неоспоримым достоинством указанных подходов на наш взгляд является их достаточно простая реализуемость с информационной точки зрения. Вместе с тем, представляется, невозможно серьезно говорить об оценке доходности имущества в составе комплекса морского университета, в том числе и недвижимого, если не ориентироваться при этом на рыночные данные.

Основными из используемых рыночных данных служат: арендная ставка, расходы на содержание недвижимости, чистый операционный доход, рыночная стоимость, ставка капитализации дохода. Эти показатели, могут быть установлены как силами соответствующих служб морского университета в ходе мониторинга рынка, так и с привлечением независимых специалистов - оценщиков. Кроме того, эти данные могут устанавливаться детально для каждого объекта или

укрупнено, например, исходя из средних значений стоимости 1 м² площадей соответствующего функционального назначения.

По результатам сбора соответствующей информации, при выполнении непосредственно оценки эффективности использования активов морского университета, как представляется, можно рассчитать и проанализировать результаты по ряду факторов, характеризующих рыночную эффективность. Приводим их ниже в Таблице 2.

В этой таблице представлены рекомендуемые показатели, основанные на рыночных данных в отношении арендной платы, стоимости недвижимости и ставки капитализации. Могут, также, применяться в составе моделей и критериев эффективности разнообразные вариации этих показателей могут.

Можно рекомендовать расчет, который соизмерим по смысловой нагрузке показателю P2 (см. Таблицу 2), поскольку также помогает привести к сопоставимому виду для целей сравнения доход от основной или иной хозяйственной деятельности морского университета и доход от недвижимости как таковой.

Таблица 2

Система показателей оценки доходности имущества университета, основанная на рыночных данных

Наименование	Расчет показателя	Интерпретация показателя
P1 Отклонение арендной платы фактической от рыночного показателя	$P1 = \text{АПф} - \text{АПр}$, где АПф – фактическая арендная плата АПр – рыночная арендная плата	Положительное значение разницы показателей позитивно, отрицательное – негативно. Чем выше фактическая аренда, чем рыночная, тем лучше.
P2 Отклонение чистого дохода от деятельности от рыночной арендной платы	$P2 = \text{ЧДо} (\text{ЧДи}) - \text{АПр}$, где ЧДо – чистый доход от образовательной деятельности ЧДи – чистый доход от иной хозяйственной деятельности АПр – рыночная арендная плата	Позитивно только превышение фактического чистого дохода бизнеса над рыночной арендной платой
P3 Отклонение чистого дохода от аренды от рынка	$P3 = \text{ЧДаф} - \text{ЧДар}$, где ЧДаф – фактический чистый доход ЧДар – рыночный размер чистого дохода	Положительное значение разницы показателей позитивно, отрицательное – негативно. Чем выше фактический чистый доход от аренды, чем аналогичный рыночный показатель, тем лучше.
P4 Отклонение фактических расходов от рынка	$P4 = (\text{АПр} \times \text{Др}) - \text{Рфо}$, где АПр – рыночная арендная плата Др – рыночное значение доли суммарных расходов в арендной плате Рфо – суммарные расходы по факту	Позитивно, если фактические расходы ниже аналогичного рыночного значения, обратная ситуация негативна. В крайнем случае, допустимо равенство фактических и рыночных расходов.
P5 Отклонение рыночной стоимости объекта от остаточной бухгалтерской (кадастровой) стоимости	$P5 = \text{Ср} - \text{Сб} (\text{Ск})$, где Ср – рыночная стоимость Сб – бухгалтерская (остаточная) стоимость объекта Для недвижимости есть вариант использования вместо Сб показателя кадастровой стоимости Ск. При $\text{Ср} \geq \text{Ск}$ эффективность для университета выше, так как за более дорогой ресурс университет платит меньшие налоги.	Нормативное значение данного показателя не существует. Оценка по рыночной стоимости дает более реальное представление об активах университета. А при сравнении с доходами от использования этих активов (либо расходами в связи с использованием этих активов), складывается более реалистичная картина эффективности.
P6 Отклонение доходности использования объектов	$P6 = \text{Рф} - \text{Рр}$, где Рф – рассчитывается как $\text{ЧДаф} / \text{Ср}$ – фактический чистый доход деленный на рыночную стоимость Рр – рыночный показатель (или рассчитывается как $\text{ЧДар} / \text{Ср}$ – рыночный размер чистого дохода, деленный на рыночную стоимость).	Нормативное значение данного показателя не существует. Собственность используется тем эффективнее, чем больше разница: $\text{Рф} \geq \text{Рр}$

Для этого необходимо к суммарным годовым расходам на содержание имущественного комплекса активов морского университета (в разрезе выбранного объекта объекта, либо по группе объектов) добавить норматив годового чистого операционного дохода от имущества, полученный как произведение его рыночной стоимости на ставку капитализации аналогичных объектов. Итоговую сумму сравнить с годовым размером арендной платы, на основании рынка аналогичных объектов, скорректированной на рыночный коэффициент потерь (от вакантных площадей и при сборе платы). Соответственно если фактический показатель был бы больше рыночного, то университет бы недополучал разницу в расходах.

Что касается движимого имущества, то выделение дохода, приходящегося непосредственно на оборудование морского университета и машины, как указывалось ранее, такая задача менее определенная, поскольку рынка аренды такого имущества практически нет. Поэтому в тех редких случаях, когда рыночные арендные платежи за в отношении оборудования и машин, включая транспортные средства и учебные суда, все же могут быть установлены, система анализа показателей будет схожа с рассмотренной системой для основных активов морского университета и недвижимого имущества. Для остальных объектов можно рекомендовать анализ, основанный на концепции ресурсосбережения, а так же следует мониторинг рыночной стоимости имущества и анализ ее отклонения от остаточной стоимости по учету университета.

В результате учета, рыночного подхода к оценке эффективности основных активов морского университета наряду с традиционными подходами, улучшается возможность комплексного и, что важно, более объективного представления об использовании имущественного комплекса акти-

вов морского университета. Это в свою очередь, способствует улучшению управления имуществом для осуществления профессиональной подготовки специалистов морских профессий.

Заключение

Предложенная в работе система показателей основана на рыночной информации и дополняет традиционные подходы к оценке эффективности использования имущества применительно к оценке эффективности активов университета по подготовке специалистов морских профессий.

Основная задача связана с нахождением баланса между успешным осуществлением морским университетом своей многоуровневой профессиональной подготовки и хозяйственной эффективностью в части использования имущества.

Системы предложенных показателей позволяет:

- оценивать качество информации в отношении имущественного комплекса морского университета;
- улучшить оперативное управление имуществом университета в соответствии с изменениями рыночной конъюнктуры;
- Улучшить планирование учебной и научной работы с использованием имущественного комплекса.

Таким образом, рекомендуемая система показателей позволяет в процессе управления имущественным комплексом университета решать учебные и научные задачи и, при этом, реагировать на изменения как структуры имущества университета, так и внешней экономической ситуации, тем самым способствуя повышению эффективности и конкурентоспособности морского университета.

Литература

1. Федеральный закон РФ "Об образовании в Российской Федерации" № 273-ФЗ от 29.12.2012г. ст. 23
2. Постановление Правительства РФ № 538 от 26.07.2010г. "О порядке отнесения имущества автономного или бюджетного учреждения к категории особо ценного движимого имущества"
3. Концепция осуществления Министерством образования и науки Российской Федерации полномочий собственника в отношении имущества подведомственных организаций (в отношении объектов движимого и недвижимого имущества), утвержденной Приказом Министерства образования и науки Российской Федерации № 310 от 18.04.2012г.
4. Методика расчета показателей мониторинга эффективности образовательных организаций высшего образования 2014 года. На основе данных формы «Мониторинг по основным направлениям деятельности образовательной организации за 2013 г. (форма № 1-Мониторинг)» утв. Зам. Министра образования и науки РФ от 03.04.2014г. № АК-39/05вн.
5. Методика анализа и мониторинга эффективности использования федеральной собственности в оперативном управлении образовательных учреждений.
6. Багрин В. П. Выделяем и учитываем особо ценное движимое имущество. // Журнал «Финансовый справочник бюджетной организации», 2012
7. Никулина И.Е., Жданова А.Б. Технология формирования консолидированного бюджета в УНИВЕРСИТЕТЕ // Финансовый менеджмент № 5, 2007г.

References

1. Federal'nyj zakon RF "Ob obrazovanii v Rossijskoj Federacii" № 273-FZ ot 29.12.2012g. st. 23
2. Postanovlenie Pravitel'stva RF № 538 ot 26.07.2010g. "O poryadke otneseniya imushchestva avtonomnogo ili byudzhetnogo uchrezhdeniya k kategorii osobo cennogo dvizhimogo imushchestva"
3. Koncepciya osushchestvleniya Ministerstvom obrazovaniya i nauki Rossijskoj Federacii polnomochij sobstvennika v otnoshenii imushchestva podvedomstvennyh organizacij (v otnoshenii ob"ektov dvizhimogo i nedvizhimogo imushchestva), utverzhdennoj Prikazom Ministerstva obrazovaniya i nauki Rossijskoj Federacii № 310 ot 18.04.2012g.
4. Metodika rascheta pokazatelej monitoringa ehffektivnosti obrazovatel'nyh organizacij vysshego obrazovaniya 2014 goda. Na osnove dannyh formy «Monitoring po osnovnym napravleniyam deyatel'nosti obrazovatel'noj organizacii za 2013 g. (forma № 1-Monitoring)» utv. Zam. Ministra obrazovaniya i nauki RF ot 03.04.2014g. № AK-39/05vn.
5. Metodika analiza i monitoringa ehffektivnosti ispol'zovaniya federal'noj sobstvennosti v operativnom upravlenii obrazovatel'nyh uchrezhdenij.
6. Bagrin V. P. Vydelyaem i uchityvaem osobo cennoe dvizhimoe imushchestvo. // Zhurnal «Finansovyj spravochnik byudzhetnoj organizacii», 2012
7. Nikulina I.E., Zhdanova A.B. Tekhnologiya formirovaniya konsolidirovannogo byudzheta v UNIVERSITETE // Finansovyj menedzhment № 5, 2007g.

УДК 656.615.071.4

ОБОСНОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕСУРСА ДОКЕРОВ-МЕХАНИЗАТОРОВ МОРСКОГО ПОРТА

Степанец Виктория Евгеньевна

кандидат технических наук
заведующая кафедрой Управления морским транспортом
Морской государственной университет им. адм. Г.И. Невельского
690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, д.50 – а
тел.: 8 (423) 230-12-52, 251-76-36; e-mail: vikulson751@mail.ru

Валькова Светлана Сергеевна

соискатель кафедры Управления морским транспортом
Морской государственной университет им. адм. Г.И. Невельского
690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, д.50 – а
тел.: 8 (423) 230-12-52, 251-76-36; e-mail: vlvalkov@yandex.ru

Рычкова Виктория Феликсовна

начальник управления морским научно-исследовательской работы
Морской государственной университет им. адм. Г.И. Невельского
690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, д.50 – а
тел.: 8 (423) 230-12-52, 251-76-36; e-mail: rychkova@msun.ru

Аннотация

Одной из основных задач успешного функционирования экономики является достижение баланса между объемами работ и используемыми ресурсами. Это требование становится особо важным в условиях рыночной экономики. Соответственно такая задача является актуальной для морского порта как предприятия, действующего в сфере перевозок грузов. Под ресурсами мы понимаем широкий спектр объектов обеспечения производственного процесса, и в первую очередь трудовые ресурсы, среди которых докеры-механизаторы занимают особое место, как специфическая категория профессиональных рабочих. В статье приведено сравнение вариантов выбора структурного подразделения для закрепления докеров-механизаторов: в виде сквозных укрупненных комплексных бригад, каждая из которых закрепляется за производственным перегрузочным комплексом или стивидорной компаний; в виде общего резерва трудовых ресурсов, которые закрепляются за «трудовой» компанией. Сравнение проведено на базе группы стивидорных компаний одного из Дальневосточных портов.

Ключевые слова: морской порт, докер-механизатор, производственный перегрузочный комплекс, «трудовая» компания, теория массового обслуживания

RATIONALE FOR ORGANIZING THE USE OF THE RESOURCE OF MACHINE-OPERATORS IN A SEAPORT

Stepanets Viktoriya Evgen'evna

Cand. Sci. Tech.
Head of department of Maritime transport management
Maritime state university named Admiral Nevelskoi
50 – a, Verkhneportovaya st., 690059, Vladivostok, Russia
tel.: 8 (423) 230-12-52, 251-76-36; e-mail: vikulson751@mail.ru

Val'kova Svetlana Sergeevna

Applicant of department of Maritime transport management
Maritime state university named Admiral Nevelskoi
50 – a, Verkhneportovaya st., 690059, Vladivostok, Russia
tel.: 8 (423) 230-12-52, 251-76-36; e-mail: vlvalkov@yandex.ru

Rychkova Viktoriya Feliksovna

Head of research department
Maritime state university named Admiral Nevelskoi
50 – a, Verkhneportovaya st., 690059, Vladivostok, Russia
tel.: 8 (423) 230-12-52, 251-76-36; e-mail: rychkova@msun.ru

Abstract

One of the main tasks of the successful functioning of the economy is to achieve a balance between workload and resources used. This requirement becomes particularly important in a market economy. Consequently, this problem is relevant to seaport as businesses operating in the field of cargo transportation. Under resources, we understand a wide range of facilities ensure the production process, and especially labor resources, among which the dockers-machine operators have a special place, as a specific category of professional workers. Describe compare the choices the best structure team unit in order to consolidate the machine-operators: in the form of a cross-cutting larger integrated brigades, each of which fixing the port's production complex or stevedoring companies; as a general reserve of manpower, which is set for the «labour» company. Compare hosted on the basis of group stevedoring companies of the one of the far Eastern seaport.

Key words: *seaport, machine-operators, «labour» company, transshipment complex, theory of mass service*

Введение

Эволюция системы управления использованием ресурса докеров-механизаторов (Д-М) прошла сложный путь развития [1], в котором можно выделить два основных этапа. На первом этапе весь ресурс Д-М находился в ведении базы резерва грузового района. Сначала из общего резерва трудовых ресурсов, который был закреплен за грузовым районом, были сформированы комплексные бригады (КБ), затем укрупненные комплексные бригады (УКБ) и, далее, сквозные укрупненные комплексные бригады (СУКБ). Очередной этап развития форм организации труда в порту был связан с использованием механизма внутреннего хозрасчета как инструмента увеличения заинтересованности первичных трудовых коллективов в конечных результатах своего труда. Попытка внедрить на базе СУКБ бригадный хозрасчет и создать хозрасчетные сквозные укрупненные комплексные бригады (ХСУКБ) успехом не увенчалась, т. к. СУКБ на момент их создания не имели постоянного места работы, а, соответственно, и установленного объема работ для эффективного планирования и оценки выполнения плана. Преодолеть это препятствие позволило решение о соединении ресурса Д-М с материально-технической базой портов. В этой связи в целях повышения действенности хозрасчета приказом Министра морского флота [2] были созданы производственные перегрузочные комплексы (ППК).

Таким образом, вторым основным этапом изменения механизма управления использованием Д-М явилось ликвидация грузовых районов и создание ППК. При этом СУКБ Д-М были выведены из подчинения администраций грузовых районов и закреплены за ППК.

Опыт функционирования ППК с закрепленным контингентом Д-М показал, что эффективное их использование обеспечивается только в периоды роста или относительной стабильности загрузки ППК объемами грузопереработки. Однако, появ-

ление знакопеременной динамики грузопотоков, резкое изменение структуры грузопотоков, преобразование части ППК в стивидорные компании и другие факторы вызвали с одной стороны, избыток в Д-М, а с другой стороны, ограничили возможность как сокращения их численности (сокращение численности Д-М сформированных СУКБ повлечет изменение заданной интенсивности обработки судна), так и возможность маневрирования ресурсом Д-М (взаимодополняющие условия).

1. Использование аппарата ТМО для оценки эффективности создания «трудовых» компаний

В настоящее время назрел вопрос о необходимости осуществления возврата к общей базе резерва Д-М в рамках «трудовой» компании, но на новом качественном уровне – без постоянного закрепления Д-М в бригадах различных форм.

Далее возникают: задача обоснования целесообразности образования «трудовой» компании, в которую будут объединены все Д-М порта, и задача обоснования общего количества Д-М в «трудовой» компании.

В качестве основного инструмента для реализации вышеуказанных задач авторами был выбран аппарат теории массового обслуживания (ТМО). Действительно, применительно к порту поток требований, поступающих в систему, есть поток судов, прибывающих в порт; этот поток можно с достаточной точностью считать простейшим [3], определяющимся основными параметрами: интенсивностью потока судов λ и интенсивностью обработки судов в порту μ (отношением вышеуказанных параметров применительно к морскому порту определяется коэффициентом занятости позиций норматива перегрузочных комплексов (норматива количества одно-временной обработки судов) $a = \lambda/\mu$ (аналог применяемой в ТМО характеристики – приведенной плотности потока требований)). В качестве

канала обслуживания может рассматриваться любой ресурс порта, который может ограничивать количество одновременно обрабатываемых судов. Применительно к рассматриваемой нами задаче к ним могут быть отнесены: количество СУКБ Д-М, которые могут одновременно участвовать в обработке судов или установленное количество одновременно обрабатываемых судов, что для целей исследования является однозначным.

Математическая постановка задачи будет выглядеть следующим образом. В указанную систему, т.е. порт, поступает поток судов. Если в момент прихода судна имеется хотя бы одна свободная СУКБ Д-М, то судно начинают немедленно обрабатывать. Если все СУКБ заняты, то вновь прибывшее судно становится в очередь и начинает обрабатываться только тогда, когда освободится одна из бригад. В конечном счете, необходимо ответить на следующий вопрос: какой из двух вариантов при прочих равных условиях (максимальном количестве бригад и равномерной занятости причалов) следует признать оптимальным с точки зрения минимизации потерь времени на ожидание погрузочно-разгрузочных операций: 1) закрепить СУКБ Д-М по отдельности за конкретными ППК или стивидорными компаниями порта; 2) сосредоточить все трудовые ресурсы порта (участка порта) в общей «трудовой» компании.

Исходя из изложенного, общая схема обоснования варианта закрепления Д-М за видом структурного подразделения будет выглядеть следующим образом. Выделяем участок порта и определяем суммарный грузопоток для этого участка. Если все трудовые ресурсы порта сосредоточены в общей «трудовой» компании, то мы будем иметь одну систему массового обслуживания. В случае, если каждая стивидорная компания располагает собственным контингентом Д-М, то мы должны рассматривать каждый ППК как отдельную систему массового обслуживания. Определив параметры для каждого варианта закрепления Д-М, необходимо провести сравнение конечных результатов. Полученное значение покажет преимущество того или иного варианта.

Проблему обоснования эффективности создания «трудовых» компаний целесообразно рассмотреть на конкретном примере. В качестве такого примера была выбрана группа стивидорных компаний одного из крупных Дальневосточных портов (условно обозначим их как СК №1 и СК №3 с четырьмя причалами, СК №2, с двумя причалами), обладающих равными возможностями по освоению грузопотоков в силу универсальной взаимозаменяемости причалов и практически одинаковой специализации Д-М, закрепленных за ними. Эта группа стивидорных компаний образовала относительно территориально обособленный участок порта из пяти ППК. Очевидно, что в зависимости от рассматриваемого варианта закрепления трудовых ресурсов количество бригад,

следует принять равным количеству ППК по участку порта в целом или в каждой из рассматриваемых стивидорных компаний, а объемы грузопереработки и, следовательно, потоки судов, приходящих в порт, следует считать распределенными между стивидорными компаниями участка порта пропорционально количеству ППК в соответствующей стивидорной компании (рис. 1).

2. Расчет эффективности создания «трудовой» компании в порту

Рассматривая порт как систему массового обслуживания и, применив известные формулы из аппарата теории массового обслуживания, были произведены расчеты для двух обозначенных выше вариантов.

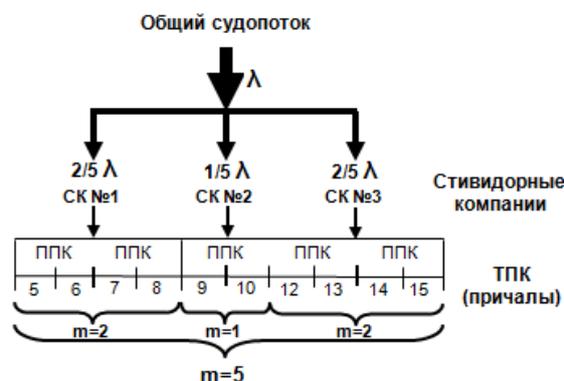


рис. 1. Распределение потока судов между стивидорными компаниями и ТПК порта

Ввиду того, что время выполнения грузовых операций не меняется при изменении варианта закрепления трудовых ресурсов, исследование вопроса об эффективности создания в порту «трудовой» компании сводится к рассмотрению указанных вариантов с точки зрения определения величины простоев судов в порту в ожидании обработки в зависимости от задаваемого коэффициента занятости позиций норматива перегрузочных комплексов (НПК). Результаты расчета представлены в табл. 1.

Таблица 1

Продолжительность простоев в ожидании обработки при различных вариантах закрепления ресурса Д-М

«Трудовая» компания		СК №1, СК №3		СК №2		СК №№1-3
a	T _{ож}	a	T _{ож}	a	T _{ож}	T _{ож}
0,3	0,000372	0,24	0,0027	0,06	1,398	1,4007
0,6	0,02	0,48	0,08	0,12	5,97	6,05
0,9	0,19	0,72	0,53	0,18	14,42	14,95
1,2	0,95	0,96	2,05	0,24	27,66	29,71
1,5	3,15	1,2	5,79	0,3	46,93	52,72
1,8	8,31	1,44	13,51	0,36	73,91	87,42
2,1	18,8	1,68	27,73	0,42	111,01	138,74
2,4	38,24	1,92	52,17	0,48	161,72	213,89
2,7	72,14	2,16	92,39	0,54	231,38	323,77

3	129,29	2,4	157,16	0,6	328,5	485,66
3,3	224,54	2,64	261,25	0,66	467,63	728,88
3,6	385,18	2,88	431,93	0,72	675,77	1107,7
3,9	668,01	3,12	725,87	0,78	1009,39	1735,26
4,2	1214,47	3,36	1284,43	0,84	1609,65	2894,08

Зависимость средней продолжительности ожидания судами начала обработки от коэффициента занятости позиций НПК графически изображена на рис. 2.

По результатам представленных расчетов был сделан вывод о том, что при любых значениях коэффициента занятости НПК в случае за-

крепления Д-М за «трудовыми» компаниями простои судов в ожидании обработки значительно меньше, чем, в случае закрепления их за конкретными ППК. На графике рис. 2 пунктирной линией обозначено фактическое значение коэффициента занятости НПК, определенного в соответствии с данными за отчетный период для той же группы стивидорных компаний.

Пересечение этой линии с кривыми изменения $T_{ож}$ и $T'_{ож}$ показывает подтверждение на практике преимущества объединения Д-М в рамках «трудовой» компании.

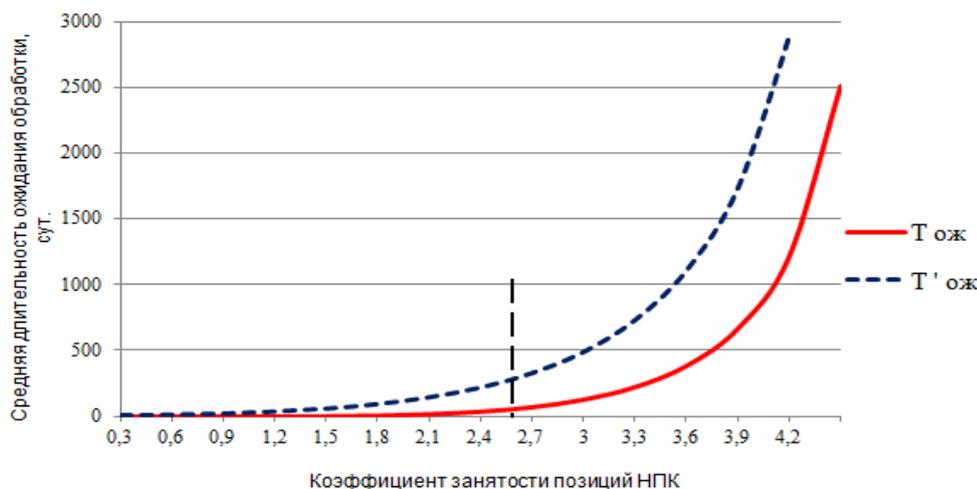


Рис. 2. Простои судов в ожидании обработки при двух вариантах организации закрепления трудовых ресурсов в порту

В этой связи закономерным является вопрос: можно ли сократить количество СУКБ Д-М в «трудовой» компании, чтобы продолжительность простоя судов в ожидании обработки не превышала аналогичные показатели для случая, когда Д-М закреплены за ППК?

Для этого были определены продолжительность простоев судов при количестве СУКБ в «трудовой» компании меньшем исходного расчетного значения ($5 > N \geq 3$). Произведенные расчеты, представленные в табл. 2 и на графике рис. 3, показали, что сокращение количества СУКБ Д-М с 5 до 4 в «трудовой» компании не приводит к увеличению простоев судов по сравнению с простоями судов в случае закрепления бригад за ППК порта.

Таблица 2

Сравнительная оценка продолжительности простоев судов в ожидании обработки при разном количестве бригад в «трудовой» компании

а	«Трудовая» компания			СК №№1-3
	$T_{ож}$ при N=5	$T_{ож}$ при N=4	$T_{ож}$ при N=3	
0,3	0,000372	0,008	0,15	1,4
0,6	0,02	0,22	2,25	6,05
0,9	0,19	1,52	10,95	14,95
1,2	0,95	5,79	34,35	29,71
1,5	3,15	16,33	86,45	52,72
1,8	8,31	38,38	194,22	87,42

2,1	18,8	80,45	419,31	138,74
2,4	38,24	157,15	944,89	213,89
2,7	72,14	296,18	2684,05	323,77
3	129,29	557,83		485,66
3,3	224,54	1104,97		728,88
3,6	385,18	2587,77		1107,7
3,9	668,01			1735,26
4,2	1214,47			2894,08

Однако, при определенном сочетании значения коэффициента занятости позиции НПК и числа СУКБ указанный ранее эффект перестает действовать.

На графике (рис. 3) видно, что при коэффициенте занятости позиции норматива перегрузочных комплексов больше 2,9 сокращение количества СУКБ Д-М в «трудовой» компании (с 5 до 4) приводит к увеличению простоев судов в ожидании обработки по сравнению с простоями судов в случае закрепления бригад Д-М за перегрузочными комплексами порта. И, тем не менее, в отчетном периоде для обслуживания стивидорных компаний в «трудовой» компании более чем достаточно иметь четыре СУКБ Д-М.

Таким образом, рассматривая Д-М как самостоятельный ресурс, имеющий возможность перераспределения между ППК, можно уменьшить общее количество бригад Д-М.

Заключение

Говоря об эффективном использовании ресурса Д-М, следует отметить, что при наличии целочисленных сформированных СУКБ Д-М исключается возможность маневрирования ресурсами.

По графику (рис. 3) видно, что в «трудовой» компании можно иметь дробное число СУКБ. Это объясняется тем, что в порту одновременно не всегда находится наибольшее число судов равное НПК. Их число изменяется от какого-то минимального значения до номинального значения (например, 2, 3 и 4). Это также может быть объяснено наличием агрегированных циклов в системе обработки транспортных средств. Другими словами, суда находятся в разной стадии обслуживания, в процессе которого Д-М (в рамках технологических линий) могут «переходить» от обработки одного судна к обработке другого.

Наличие возможности иметь дробное значение СУКБ или числа одновременно обрабатываемых судов обуславливает такие ключевые моменты в работе «трудовой» компании как: отсутствие постоянного закрепления Д-М в бригадах любых форм и формирование по заявкам ППК оперативных бригад Д-М для выполнения погрузочно-разгрузочных работ на конкретных объектах.

Следует иметь в виду, что полученный эффект не является окончательным.

Точное решение может быть получено, только оптимизируя сочетание количества технологических линий (численности Д-М) и числа одновременно обрабатываемых судов при условии, что весь контингент Д-М сосредоточен в «трудовой» компании.

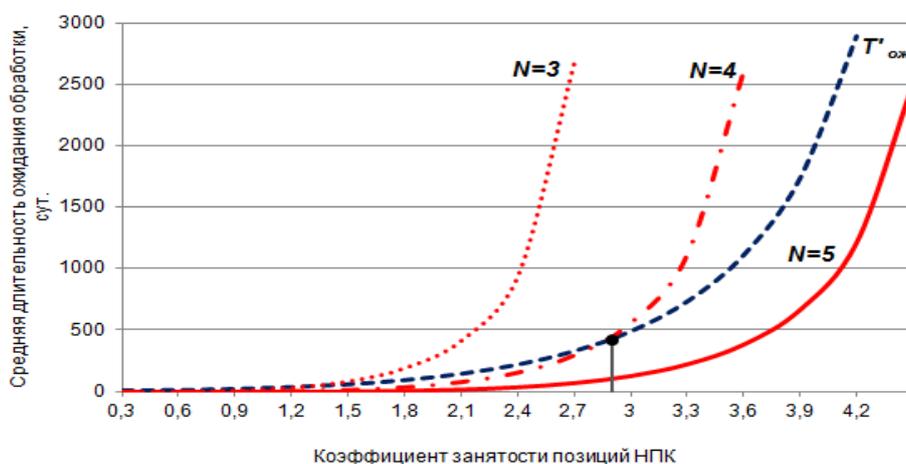


Рис. 3. Простой судов в ожидании обработки при сокращении количества СУКБ в «трудовой» компании

Литература

1. Степанец А.В., Верютина В.Е. Повышение эффективности управления использованием докеров-механизаторов морских портов. Материалы восьмой международной НПК «Проблемы транспорта Дальнего Востока» (30 сентября – 2 октября 2009 г.). Владивосток, 2009, с. 43-44.
2. «О переводе морских портов на двухзвенную/безрайонную/ структуру управления погрузочно-разгрузочными работами». Приказ Министра морского флота №7 от 14 января 1986 г.
3. Степанец А.В., Верютина В.Е., Степанец И.А., Фунтусов А.А. Управление использованием ресурса докеров-механизаторов морского порта: Монография. – Владивосток: Мор. Гос. Ун-т, 2011. – с.46-52

References

1. Stepanec A.V., Veryutina V.E. Povyshenie ehffektivnosti upravleniya ispol'zovaniem doke-rov-mekhanizatorov morskikh portov. Materialy vos'moj mezhdunarodnoj NPK «Problemy transporta Dal'nego Vostoka» (30 sentyabrya – 2 oktyabrya 2009 g.). Vladivostok, 2009, s. 43-44.
2. «O perevode morskikh portov na dvuhzvennyuyu/bezrajonnuyu/ strukturu upravleniya pogruzochno-razgruzochnymi rabotami». Prikaz Ministra morskogo flota №7 ot 14 yanvarya 1986 g.
3. Stepanec A.V., Veryutina V.E., Stepanec I.A., Funtusov A.A. Upravlenie ispol'zovaniem re-sursa dokero-v-mekhanizatorov morskogo porta: Monografiya. – Vladivostok: Mor. Gos. Un-t, 2011. – s.46-52



Научный журнал МОРСКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

190121 г. Санкт-Петербург, ул. Лоцманская д.3

e-mail: mit-journal@mail.ru

www.morintex.ru

Информация для авторов научного журнала "МОРские ИНтеллектуальные ТЕХнологии"

Для публикации статьи необходимо представление перечисленных ниже документов.

1. Сопроводительное письмо авторов
2. Электронная версия статьи, подготовленная в соответствии с требованиями к оформлению статей – инструкция прилагается ниже
3. Акт экспертизы на открытую публикацию (при необходимости)
4. Лицензионный договор

Перечисленные документы (кроме акта экспертизы) могут быть переданы в редакцию по электронной почте по адресу mit-journal@mail.ru (по этому же адресу осуществляется текущая переписка с редакцией).

По желанию авторов, документ 1 в бумажной версии и компакт-диск с документами 2 и 3 могут быть либо присланы по почте в адрес редакции, либо доставлены непосредственно в редакцию, либо переданы одному из членов редколлегии. Оригинал акта экспертизы должен быть либо прислан по почте в адрес редакции, либо доставлен непосредственно в редакцию, либо переданы одному из членов редколлегии.

На страницах журнала публикуются новые научные разработки, новые результаты исследований, новые методы, методики и технологии в области кораблестроения, информатики, вычислительной техники и управления. Это является основным требованием к статьям.

Каждая статья, принятая редколлегией для рассмотрения, проходит также внутреннюю процедуру рецензирования. По результатам рецензирования статья может быть либо отклонена, либо отослана автору на доработку, либо принята к публикации. Рецензентом может быть специалист по профилю статьи с ученой степенью не ниже кандидата наук.

Редколлегия не вступает с авторами в обсуждение соответствия их статей тематике журнала. **Журнал публикуется в цветном варианте.**

Плата с аспиранта в случае, если он является единственным автором, за публикацию статьи не взимается.

Стоимость публикации 8500 рублей по выставяемому по запросу счету.

Авторы несут ответственность за содержание статьи и за сам факт ее публикации. Редакция журнала не несет ответственности за возможный ущерб, вызванный публикацией статьи. Если публикация статьи повлекла нарушение чьих-либо прав или общепринятых норм научной этики, то редакция журнала вправе изъять опубликованную статью.

Главный редактор научного журнала
"МОРСКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ"

д.т.н. проф. Никитин Н.В.

УДК 629.12.001.2

ИНСТРУКЦИЯ ПО ПОДГОТОВКЕ СТАТЕЙ для научного журнала "МОРские ИНтеллектуальные ТЕХнологии"

Никитин Николай Васильевич

доктор технических наук, профессор, профессор кафедры проектирования судов
Санкт-Петербургский государственный морской технический университет
190008, Санкт-Петербург, ул. Лоцманская, 3
e-mail: morintex_spb@mail.ru

Аннотация

В работе предлагаются правила оформления статей для научного журнала «Морские интеллектуальные технологии» в текстовом процессоре MS Word 97-2003 по требованиям для публикации в научном журнале ВАК, а также международных реферативных баз данных Scopus и Web of Science. Инструкция представляет собой специальную заготовку, которая служит базисом для создания конкретной статьи.

Аннотация предоставляется авторами в расширенном виде. Объем: не менее 950 и не более 1800 знаков (с пробелами), то есть 100-250 слов. В аннотации должны быть четко определены цель работы, ее новизна, представлены основные выводы. Языки – русский и английский.

Типичная структура аннотации: состояние вопроса; материалы и/или методы исследования, результаты; заключение.

Методы в аннотации только называются. Результаты работы описывают предельно точно и информативно. Приводятся основные теоретические и экспериментальные результаты, фактические данные, обнаруженные взаимосвязи и закономерности. При этом отдается предпочтение новым результатам и выводам, которые, по мнению автора статьи, имеют практическое значение. Следует указать пределы точности и надёжности данных, а также степень их обоснования. Выводы могут сопровождаться рекомендациями, оценками, предложениями, описанными в статье.

Ключевые слова: Список ключевых слов должен характеризовать предметную область исследования. Недопустимо использование терминов общего характера (например, проблема, решение), не являющихся специфической характеристикой публикации. Количество ключевых слов должно быть 8-10.

GUIDELINES FOR PREPARATION OF ARTICLES FOR THE ACADEMIC PERIODICAL «MARINE INTELLIGENCE TECHNOLOGIES»

Nikitin Nikolay Vasilevich

the professor, Dr.Sci.Tech., the professor of DEPARTMENT OF SHIP DESIGN
STATE MARINE TECHNICAL UNIVERSITY OF SAINT-PETERSBURG
Lotsmanskaya, 3, St. Petersburg 190008, Russian Federation
e-mail: morintex_spb@mail.ru

Abstract

The paper suggests rules for formatting articles to be submitted for the "Maritime Smart Technologies" academic periodical in the MS Word Processor 97-2003 according to the requirements set out for publication in an academic periodical of the State Commission for Academic Degrees and Titles as well as in the international Scopus and Web of Science bibliographic databases. The guidelines represent a special template which serves as a basis for creation of a certain article.

The authors should submit an extended abstract. The abstract should contain minimum 950 and maximum 1800 characters (including spaces), i. e. 100–250 words. The abstract must cover the objective and novelty of the paper and reflect the main conclusions. The languages of the abstract should be Russian and English.

The standard structure of an abstract is as follows: the state-of-the-art summary; data for study and/or research techniques; findings; conclusion.

The techniques should only be mentioned in the abstract. The findings should be described as accurately and informatively as possible. The major theoretical and experimental results, actual data, discovered interrelations and common factors should be reflected. Still new results and conclusions which, from the author's point of view, are of practical importance are put above. The data accuracy and reliability limits as well as the degree of their verification should be indicated. The conclusions can be accompanied by recommendations, estimations, suggestions described in the article.

Key words: The list of key words must be specific for the subject field of the investigation. General terms (e. g. problem, solution) which are not specific for this publication are inadmissible. The key words should amount to 8–10.

Введение

При подготовке статей у авторов нередко возникают трудности, связанные с необходимостью жестко выдерживать требуемые форматы подготовки текстов.

Вместе с тем, в современных текстовых процессорах существуют развитые средства поддержки общезначимых и специализированных шаблонов, автоматизирующих эту деятельность. Учитывая вышесказанное, автор данной инструкции подготовил специализированный шаблон создания camera ready текстов статей, представляемых в редакцию.

Данная инструкция не обычный текст, а заготовка, которую авторы работ, представляемых в журнал, должны редактировать для получения качественных текстов статей.

Обращаясь к авторам, редакция журнала доводит до их сведения требования к оформлению статей. Суть их сводится к тому, что, с одной стороны, предоставленная авторами информация должна быть интересной и понятной международному научному сообществу без обращения к полному тексту статьи. а с другой – должны быть обеспечены возможности контекстного поиска и аналитической обработки данных.

Фамилии авторов должны быть транслитерированы, или указаны так же, как в ранее опубликованных в зарубежных журналах статьях. Должны быть представлены адресные сведения о месте работы авторов, должность, ученая степень и ученое звание.

Название организации переводится на английский язык без составных частей названий организаций, обозначающих принадлежность ведомству, форму собственности, статус организации с указанием полного юридического адреса в следующей последовательности: улица, дом, город, индекс, страна. Наиболее полный список названий учреждений и их официальной англоязычной версии можно найти

на сайте НЭБ eLibrary.ru. Название статьи, ключевые слова и аннотация также переводятся на английский язык. Все переводы должны быть высококачественными.

Название статьи должно быть информативным, можно использовать только общепринятые в международном научном общении сокращения. В переводе названия недопустимы транслитерации с русского языка, кроме непереводаемых названий собственных имен, приборов и других объектов, имеющих собственные названия, а также непереводаемый сленг, известный только русскоговорящим специалистам. Англоязычное название должно быть грамотно с точки зрения английского языка, при этом по смыслу полностью соответствовать русскоязычному названию.

Обращаем внимание авторов на необходимость обеспечить высокое профессиональное качество перевода на английский язык. Автоматизированный перевод с помощью программных систем категорически запрещается! При обнаружении экспертом Редакции низкого качества перевода статья отклоняется!

Возможности систем SCOPUS и Web of Science позволяют проводить исследования: по ссылкам, оценивать значение и признание работ конкретных авторов, научный уровень журналов, организаций и стран в целом, определять актуальность научных направлений и проблем, выявлять их точки роста и падения и т.д. Ссылка на публикацию в научной статье является одним из главных показателей качества публикации. А статья с представительным списком литературы демонстрирует профессиональный кругозор и качественный уровень исследований ее авторов

Полный текст должен быть структурированным по разделам. Структура полного текста рукописи, посвященной описанию результатов оригинальных исследований, долж-

на соответствовать общепринятому шаблону и содержать разделы: введение (актуальность), цель и задачи, материалы и методы, результаты, выводы, обсуждение (дискуссия).

1. Инсталляция заготовки Mor-Inst

Вы получили по электронной почте (или некоторым другим способом) файл **Mor-Inst.doc** и должны использовать его на своем текстовом процессоре MS Word 97-2003.

Для того, чтобы начать работу необходимо: скопировать на Ваш компьютер файл **Mor-Inst.doc**, переименовав его под фамилией первого автора (например, **nikitin.doc**).

После выполнения этих действий Ваш текстовый процессор MS Word 97-2003 готов для создания документа в формате camera ready для оформления номера.

2 Начало работы с заготовкой Mor-Inst

Итак, предположим, что Вы скопировали заготовку **Mor-Inst.doc** для своего текстового процессора MS Word 97-2003, как это определено в предыдущем разделе данной инструкции.

Теперь, после вызова текстового процессора MS Word 97-2003, из опции основного меню **File (Файл)** выбирайте подопцию **Open (Открыть)**, а на приглашение выбрать файл отметьте **nikitin.doc** и нажмите клавишу **OK**.

После этого Ваш текстовый процессор откроет документ с данной заготовкой, который существенно облегчит Вашу дальнейшую работу.

Дальнейшая подготовка статьи очень похожа на редактирование “чужого” текста и преобразование его к виду, когда он станет Вашим.

В оставшейся части настоящей инструкции последовательно обсуждаются все основные элементы, которые могут потребоваться при подготовке Вашей статьи.

Обратите внимание на то, что сами элементы заготовки уже выбраны таким образом, чтобы Ваша будущая статья удовлетворяла всем требованиям оформления camera ready текстов для публикации в журнале.

3. Основные правила подготовки статей на базе шаблона Mor-Inst

3.1. Общие замечания по объему и формату статьи

По решению редакции объемы принимаемых к публикации материалов должны отвечать следующим ограничениям

- объем статьи должен быть не более 5 стр.;

- текст доклада должен укладываться в целое число страниц.

Все материалы должны быть сформатированы для последующей печати на стандартных листах формата А4 со следующим **Layout (Параметрами страницы)** (рис. 1).

Основной текст набирается в **2 колонки**, промежуток между колонками **0,7 мм**; ширина колонки **7,9 мм**.

Нумерация страниц подготавливаемой работы **не производится**.

Каждая статья должна быть организована следующим образом (данный sampler сам является примером нужной организации текста статьи):

- УДК.
- Заголовок работы.

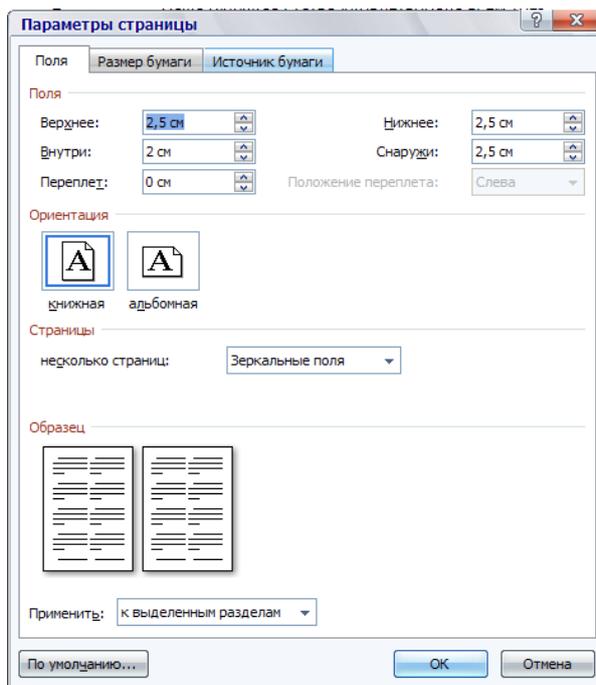


Рис. 1. Общий Layout страницы

- Имя (полностью), Отчество (полностью), Фамилия (полностью).

- Ученое звание и ученая степень (полностью).

- Должность, организация.

- Адрес автора (телефон и электронный адрес, если имеется).

- Если авторов несколько, их фамилии упорядочиваются по алфавиту.

- Аннотация работы (не менее 950 и не более 1800 знаков (с пробелами), то есть 100-250 слов).

- Ключевые слова (8-10).

- Разделы и подразделы основного текста (нумерация сквозная арабскими цифрами у разделов и номер раздела + нумерация сквозная арабскими цифрами у данного подраздела; номер раздела и номер подраздела отделяются друг от друга точкой; после номера раздела (подраздела) ставится точка, а название раздела (подраздела) начинается с заглавной буквы, после заголовков точка не ставится).

- В конце работы (перед списком литературы) может быть нумерованный раздел **Благодар-**

ности, где, как правило, указываются спонсоры (например, номер гранта РФФИ) данной работы.

– Список использованных источников, собранных в нумерованном разделе **Литература** – После списка литературы размещается список литературы в романском алфавите в нумерованном разделе **References**

– Все заголовки разделов и подразделов центрируются.

– Ссылки на литературу в тексте работы заключаются в квадратные скобки и даются сквозной нумерацией арабскими цифрами.

Заголовок работы, ФИО, ученое звание, ученая степень, должность, организация, адрес авторов (телефон и электронный адрес, если имеется), аннотация работы и ключевые слова публикуются на русском и английском языках.

3.2. Шрифты, используемые при подготовке статьи

Все шрифты, используемые при подготовке статьи, выбираются из набора **Arial**. Если Вы пользуетесь данным sampler'ом, все размеры будут выставлены правильно и Вам останется только следовать им. Если же Вы пользуетесь твердой копией данного sampler'a, то используйте следующие размеры шрифтов:

- для названия статьи **Arial 13 прописной, жирный**;

- для УДК и идентификации автора (ов) статьи **Arial 9 курсив**;

- для адреса (ов) автора (ов) статьи **Arial 9**;

- для аннотации **Arial 9, границы текста +10 мм слева и -10 мм справа**;

- для текста статьи **Arial 9,5, абзацный отступ 5 мм**;

- для списка литературы **Arial 10,5, жирный, по центру, интервал сверху 12 пт, снизу 4 пт, абзацный отступ 0**;

- для заголовков разделов статьи **Arial 10,5, жирный по центру, интервал сверху 12 пт, снизу 4 пт, абзацный отступ 0**;

- для заголовков подразделов статьи **Arial 9,5, курсив по центру, интервал сверху 12 пт, снизу 4 пт, абзацный отступ 0**;

- для подрисуночных подписей **Arial 8,5, курсив, по центру, интервал сверху 4 пт, снизу 9,5 пт, абзацный отступ 0**;

- для подстраничных ссылок **Arial 8,5, абзацный отступ 0,5**.

3.3. Использование графического материала

В работе допускается использование рисунков, схем, экранных форм и др. графических материалов (обратите внимание на то, чтобы рисунки сохранялись как **цветные** или **черно-белые**

картинки) как **внедренных объектов**¹. Каждое графическое изображение должно представлять собой **единый, цельный объект**.

По возможности используйте для графического материала минимально требуемое разрешение. Это существенно уменьшает объем пересылаемого материала.

Во всех случаях обращайтесь внимание на то, чтобы текстовые подписи на рисунках были набраны с использованием тех же шрифтов, что и основной текст и меньшим размером.

3.4. Использование таблиц

В работе допускается использование таблиц, подготовленных стандартными средствами MS Word 97-2003. В качестве примера ниже дается представление таблицы, подготовленной с помощью этих средств (табл. 1).

Таблица набирается меньшим кеглем.

Слово таблица **Arial 8,5, курсив, вправо, абзацный отступ 0**.

Название таблицы **Arial 8,5, жирный, по центру, интервал снизу 4 пт, абзацный отступ 0**.

Текст в таблице **Arial 8,5**.

Таблица 1

Пример таблицы

N/N	Колонка-1	Колонка-2	Колонка-3	Колонка-4
1.	фффф	ыыыы	111	Ммм
2.	фффф	ыыыы	111	Ммм
3.	фффф	ыыыы	111	Ммм
4.	фффф	ыыыы	111	Ммм

Перед и после таблицы одна пустая строка основного текста.

ФОРМУЛЫ И РИСУНКИ НЕ РАЗМЕЩАТЬ В ТАБЛИЦЕ!!!

3.5. Использование формул

В работе допускается использование формул любой сложности, поддерживаемых компонентой MS Equation.

Если формула появляется в тексте как отдельная строка, она должна быть центрирована и, при необходимости, помечена сквозной нумерацией арабскими цифрами в круглых скобках. Если формула появляется внутри текста, обращайтесь внимание на размеры используемых шрифтов, чтобы они были «состыкованы» с размерами текста работы.

Ниже приводятся примеры формул в тексте и в отдельной строке.

¹ Статьи с рисунками, нарисованными в тексте документа с помощью панели "Рисование" MS Word 97-2003, рассматриваются редакцией в индивидуальном порядке по согласованию с авторами статей.

Данный пример иллюстрирует использование формулы в тексте $\sum_{n=1}^{n=K} x_n^k \cdot 1,25$. Здесь при подготовке формулы использованы установки шрифтов by default (по умолчанию). По возможности, пользуйтесь этим способом для подготовки не только формул в тексте статьи, но формул в отдельной строке (1).

$$\forall x \in [a, b] F(x) \leq \varpi \quad (1)$$

Все формулы набираются тем же шрифтом, что и основной текст.

ФОРМУЛЫ НЕ СОХРАНЯТЬ КАК РИСУНОК!!!

Если же это, по каким-либо причинам неудобно и/или невозможно, воспользуйтесь установками, приведенными на рис. 2.

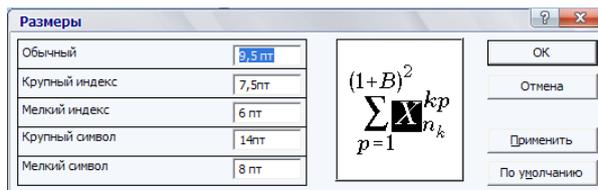
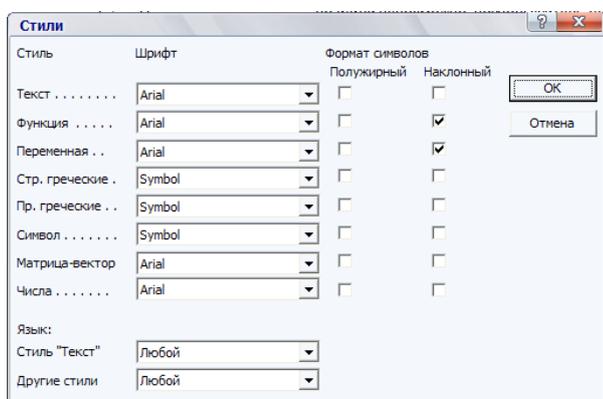


Рис. 2. Установки шрифтов и размеров в MS Equation

Обратите внимание на то, что при наборе формул в тексте, возможно изменение «интервальности». Не бойтесь этого и не пытайтесь уменьшить размер используемого шрифта до нечитаемого уровня. Аналогичное замечание справедливо и для формул, расположенных в отдельной строке.

3.6. Размещение элементов текста на две колонки

Если таблицы, формулы, рисунки превышают размер одной колонки, то их размещают на **полный формат** (на 2 две колонки).

При этом сохраняются все требования по шрифтам и размерам к этим элементам, когда они набраны на формат одной колонки.

4. Заключительные замечания

Автор данной инструкции руководствовался единственной целью – уменьшить авторам сложность подготовки статей для журнала.

Таблица 2

Пример таблицы на полный формат

N/N	Колонка-1	Колонка-2	Колонка-3	Колонка-4	Колонка-5
1.	фффф	ЫЫЫЫ	111	МММ	ТТТТ
2.	фффф	ЫЫЫЫ	111	МММ	ТТТТ
3.	фффф	ЫЫЫЫ	111	МММ	ТТТТ
4.	фффф	ЫЫЫЫ	111	МММ	ТТТТ

Пример формулы на полный формат:

$$N_y(t) = \frac{Eh}{1-\mu^2} \left[\frac{\partial v}{\partial y} - \frac{w}{R} + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial w}{\partial y} \right)^2 + \frac{\partial w_0}{\partial y} \frac{\partial w}{\partial y} \right] = \frac{Eh}{1-\mu^2} \xi(t). \quad (2)$$

Пример рисунка на полный формат:

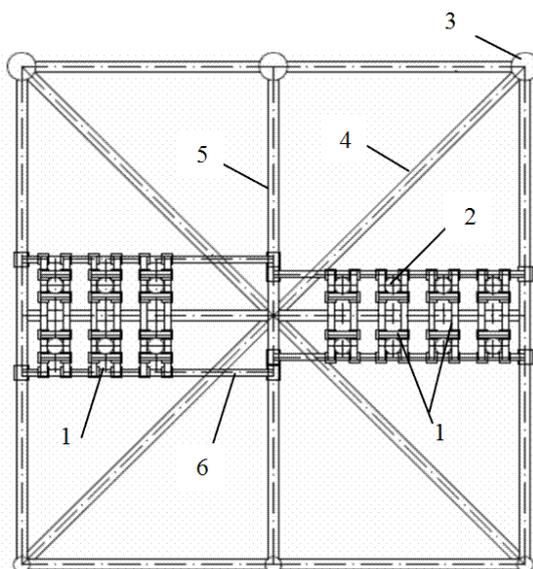


Рис. 3. Раскрепление водоотделяющих колонн с помощью жестких рам (вид в плане на диафрагму МСП):
1 – жесткие рамы; 2 – водоотделяющие колонны; 3 – вертикальные стойки опорного блока; 4 – раскосы опорного блока; 5 – распорка опорного блока; 6 – фундамент жесткой рамы

Дополнительная информация (на русском, английском или обоих языках)

Информация о спонсорстве. Необходимо указывать источник финансирования как научной работы, так и процесса публикации статьи (фонд, коммерческая или государственная организация и др.). Указывать размер финансирования не требуется.

Благодарности. Авторы могут выразить благодарности людям и организациям, способствовавшим публикации статьи в журнале, но не являющимся её авторами.

Литература и References пишется в одну колонку без переносов

Литература

В библиографии (пристатейном списке литературы) каждый источник следует помещать с новой строки под порядковым номером. Список литературы должен быть оформлен по ГОСТ Р 7.05-2008.

References

Список литературы на русском языке должен быть представлен и в романском алфавите (латинице), то есть, транслитерирован, (транслитерация – это побуквенная передача текста, написанного с помощью русского алфавита, средствами латинского алфавита), список литературы на других языках должен быть приведен на языке оригинала.

Вся транслитерация списка литературы должна быть выполнена в соответствии с системой Госдепартамента США, которая в настоящее время является наиболее распространенной.

Автоматизировать процесс транслитерации можно, воспользовавшись программным обеспечением, которое доступно по адресу www.translit.ru (в раскрывающемся списке «Варианты» выбираем вариант BGN).

Транслитерированная литература должна быть сформатирована следующим образом.

Структура библиографической ссылки на статью:
Author, A. A., Author, B. B., & Author, C. C. (2005).
Title of article. Title of Journal, 10(2), 49-53.

Материалы конференций:

Usmanov T.S., Gusmanov A.A., Mullagalin I.Z., Muhametshina R.Ju., Chervyakova A.N., Sveshnikov A.V. Trudy 6 Mezhdunarodnogo Simpoziuma "Novye resursosberegayushchie tekhnologii nedropol'zovaniya i povysheniya neftegazootdachi" (Proc. 6th Int. Technol. Symp. "New energy saving subsoil technologies and the increasing of the oil and gas impact"). Moscow, 2007, pp. 267-272.

Книги (монографии, сборники, материалы конференций в целом):

Belaya kniga po nanotekhnologiyam: issledovaniya v oblasti nanochastits, nanostruktur i nanokompozitov v Rossiiskoi Federatsii (po materialam Pervogo Vserossiiskogo soveshchaniya uchenykh, inzhenerov i proizvoditelei v oblasti nanotekhnologii [White Book in Nanotechnologies: Studies in the Field of Nanoparticles, Nanostructures and Nanocomposites in the Russian Federation: Proceedings of the First All-Russian Conference of Scientists, Engineers and Manufacturers in the Field of Nanotechnology]. Moscow, LKI, 2007.

Nenashev M.F. Poslednee pravitel'stvo SSSR [Last government of the USSR]. Moscow, Krom Publ., 1993. 221 p.

From disaster to rebirth: the causes and consequences of the destruction of the Soviet Union [Ot katastrofy k vrozozhdeniju: prichiny i posledstviya razrusheniya SSSR]. Moscow, HSE Publ., 1999. 381 p.

Kanevskaya R.D. Matematicheskoe modelirovanie gidrodinamicheskikh protsessov razrabotki mestorozhdenii uglevodorodov (Mathematical modeling of hydrodynamic processes of hydrocarbon deposit development). Izhevsk, 2002. 140 p.

Latyshev, V.N., Tribologiya rezaniya. Kn. 1: Friksionnye

Ни в одном из зарубежных стандартов на библиографические записи не используются разделительные знаки, применяемые в российском ГОСТе («//» и «—»). Название источника и выходные данные отделяются от авторов и заглавия статьи типом шрифта, чаще всего, курсивом (italics), точкой или запятой.

Шаблон для сопроводительного письма авторов

В редакцию журнала
" МОРСКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ "
190008 г.

Санкт-Петербург, ул. Лоцманская д. 3

СОПРОВОДИТЕЛЬНОЕ ПИСЬМО

Просим опубликовать в журнале " МОРСКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ " статью <заголовок статьи>.

Авторами статьи являются <перечень Ф.И.О. авторов полностью>.

Работа выполнена в <полное и сокращенное название учреждения (учреждений)>.

Текущую переписку по вопросам публикации статьи следует вести с <Фамилия И.О.>.

Координаты для обратной связи:

1. Почтовый адрес (с индексом)

2. E-mail

3. Тел. служебный и домашний (с кодом города)

Авторы согласны с тем, что редакция имеет право на литературное редактирование и доведение статьи до редакторских стандартов, принятых в рамках журнала.

Авторы разрешают публикацию статьи в открытом доступе на электронных ресурсах в PDF-формате и прилагают лицензионный договор от каждого автора(соавтора) статьи.

Подпись

<Дата>

Шаблон рецензии

В редакцию журнала
" МОРСКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ "
190008 г. Санкт-Петербург, ул. Лоцманская д. 3

РЕЦЕНЗИЯ

Статья: <Заголовок статьи>.

Статья:<Фамилии И.О. авторов>

I. Информация для редакции

1. Соответствие статьи тематике журнала:
 - статья соответствует тематике журнала (да/нет)
 - если нет, то какие альтернативные журналы могут быть предложены авторам для рассмотрения?
2. Оригинальность и значимость результатов статьи (да/нет/другие оценки):
 - результаты оригинальны
 - результаты имеют научную значимость
 - результаты имеют практическую значимость
3. Качество изложения материала статьи (да/нет/другие оценки):
 - является ли аннотация достаточно информативной
 - понятность изложения статьи
 - следует ли сократить размер статьи
 - ясно ли указана цель статьи
 - адекватно ли определено место статьи в круге других работ
 - можно ли понизить степень подробности математических выкладок
 - адекватен ли список цитированной литературы
 - все ли рисунки и таблицы уместны
 - имеются ли ошибки и технические погрешности
 - строгость изложения математических и экспериментальных результатов
 - достаточно ли обоснованы результаты и выводы статьи
4. Заключение (да/нет)
 - статья может быть принята для публикации без доработки
 - статья требует доработки и повторного рецензирования
 - статья не может быть принята для публикации
 - статью следует передать другому специалисту на рецензирование
5. Замечания и рекомендации по статье для членов редколлегии

Должность, ученое звание и научная степень

<Дата>

<Подпись рецензента>

II. Замечания и рекомендации по статье для авторов

Лицензионный договор № _____
г. Санкт-Петербург «__» _____ 20 года

Общество с ограниченной ответственностью «НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР «МОРСКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ» (ООО «НИЦ «МОРИНТЕХ»), именуемое в дальнейшем "Лицензиат", в лице заместителя генерального директора-главного редактора научного журнала «МОРСКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ» Никитин Николая Васильевича, действующего на основании Доверенности № 1-59, удостоверенной нотариусом Санкт-Петербурга Володиным А.В. 21.01.2014г, с одной стороны, и Гражданин РФ _____, именуемый в дальнейшем "Лицензиар", с другой стороны, именуемые в дальнейшем "Сторона/Стороны", заключили настоящий договор (далее - "Договор") о нижеследующем.

1. Предмет Договора

1.1. По настоящему Договору Лицензиар на безвозмездной основе предоставляет Лицензиату право использования _____,

(наименование, характеристика передаваемых материалов)

именуемого в дальнейшем "Произведение", на основе неисключительной лицензии в обусловленных Договором пределах и на определенный Договором срок.

1.2. Лицензиар гарантирует, что он обладает исключительными авторскими правами на передаваемое Лицензиату Произведение.

2. Права и обязанности Сторон

2.1. Лицензиар предоставляет Лицензиату на весь срок действия исключительных прав на Произведение следующие права:

2.1.1. право на воспроизведение Произведения (опубликование, обнародование, дублирование, тиражирование или иное размножение Произведения) без ограничения тиража экземпляров. При этом каждый экземпляр Произведения должен содержать имя автора Произведения;

2.1.2. право на распространение Произведения любым способом;

2.1.3. право на включение в составное произведение;

2.1.4. право на доведение до всеобщего сведения;

2.1.5. на использование метаданных (название, имя автора (правообладателя), аннотации, библиографические материалы и пр.) Произведений путем распространения и доведения до всеобщего сведения, обработки и систематизации, а также включения в различные базы данных и информационные системы.

2.1.6. право переуступить на договорных условиях частично или полностью полученные по настоящему договору права третьим лицам без выплаты Лицензиару вознаграждения.

2.2. Лицензиар передает права Лицензиату по настоящему Договору на основе неисключительной лицензии.

2.3. Лицензиар, в течение трех рабочих дней обязан предоставить Лицензиату Произведение в электронной версии в формате инструкции по подготовке статей для научного журнала «Морские интеллектуальные технологии» для ознакомления. В течение 30 (тридцать) рабочих дней, если Лицензиатом не предъявлены к Лицензиару требования или претензии, связанные с качеством (содержанием) или объемом предоставленному для ознакомления Произведению, Стороны подписывают Акт приема-передачи Произведения.

2.4. Дата подписания Акта приема-передачи Произведения является моментом передачи Лицензиату прав, указанных в настоящем Договоре.

2.5. Лицензиат обязуется соблюдать предусмотренные действующим законодательством авторские права, права Лицензиара, а также осуществлять их защиту и принимать все возможные меры для предупреждения нарушения авторских прав третьими лицами.

2.6. Территория, на которой допускается использование прав на Произведения, не ограничена.

2.7. Лицензиар также предоставляет Лицензиату право хранения и обработки следующих своих персональных данных без ограничения по сроку:

- фамилия, имя, отчество;
- дата рождения;
- сведения об образовании;
- сведения о месте работы и занимаемой должности;
- сведения о наличии опубликованных произведений литературы, науки и искусства.

Персональные данные предоставляются для их хранения и обработки в различных базах данных и информационных системах, включения их в аналитические и статистические отчетности, создания обоснованных взаимосвязей объектов произведений науки, литературы и искусства с персональными данными и т.п.

Лицензиат имеет право передать указанные данные для обработки и хранения третьим лицам при условии уведомления о таком факте с предоставлением сведений о третьем лице (наименование и адрес) Лицензиару.

Отзыв согласия на хранение и обработку персональных данных производится Лицензиаром путем направления соответствующего письменного уведомления Лицензиату.

3. Ответственность Сторон

3.1. Лицензиар и Лицензиат несут в соответствии с действующим законодательством РФ имущественную и иную юридическую ответственность за неисполнение или ненадлежащее исполнение своих обязательств по настоящему Договору.

3.2. Сторона, ненадлежащим образом исполнившая или не исполнившая свои обязанности по настоящему Договору, обязана возместить убытки, причиненные другой Стороне, включая упущенную выгоду.

4. Конфиденциальность

4.1. Условия настоящего Договора и дополнительных соглашений к нему - конфиденциальны и не подлежат разглашению.

5. Заключительные положения

5.1. Все споры и разногласия Сторон, вытекающие из условий настоящего Договора, подлежат урегулированию путем переговоров, а в случае их безрезультатности, указанные споры подлежат разрешению в суде в соответствии с действующим законодательством РФ.

5.2. Настоящий Договор вступает в силу с момента подписания обеими Сторонами настоящего Договора и Акта приема-передачи Произведения.

5.3. Настоящий Договор действует до полного выполнения Сторонами своих обязательств по нему.

5.4. Расторжение настоящего Договора возможно в любое время по обоюдному согласию Сторон, с обязательным подписанием Сторонами соответствующего соглашения об этом.

5.5. Расторжение настоящего Договора в одностороннем порядке возможно в случаях, предусмотренных действующим законодательством, либо по решению суда.

5.6. Любые изменения и дополнения к настоящему Договору вступают в силу только в том случае, если они составлены в письменной форме и подписаны обеими Сторонами настоящего Договора.

5.7. Во всем, что не предусмотрено настоящим Договором, Стороны руководствуются нормами действующего законодательства РФ.

5.8. Настоящий Договор составлен в двух экземплярах, имеющих одинаковое содержание и равную юридическую силу, по одному для каждой из Сторон.

6. Реквизиты Сторон.

Лицензиар:

ФИО, дата рождения, паспорт, адрес
регистрации

Лицензиат:

ООО «НИЦ «МОРИНТЕХ»
Адрес: 190121, г. Санкт-Петербург,
ул. Лоцманская д. 3
ИНН 7813074883, КПП 783901001
р/с 407028102 55080004491
Северо-западный банк ОАО
«Сбербанк России» в Санкт-Петербурге
БИК 044030653
к/с 301 018 105 000 000 006 53

Лицензиар:

Лицензиат

Заместитель Генерального директора
ООО «НИЦ «МОРИНТЕХ»
_____/Никитин Н.В./

АКТ
к лицензионному договору № _____

г. Санкт-Петербург

«___» _____ 20__ года

Общество с ограниченной ответственностью «НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР «МОРСКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ» (ООО «НИЦ «МОРИНТЕХ»), именуемое в дальнейшем "Лицензиат", в лице заместителя генерального директора-главного редактора научного журнала «МОРСКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ» Никитин Николая Васильевича, действующего на основании Доверенности № 1-59, удостоверенной нотариусом Санкт-Петербурга Володиным А.В. 21.01.2014г, с одной стороны, и Гражданин РФ _____, именуемый в дальнейшем "Лицензиар", с другой стороны, именуемые в дальнейшем "Сторона/Стороны", составили настоящий акт (далее – «Акт») к лицензионному договору № _____ от «___» _____ года (далее - "Договор") о нижеследующем.

1. Лицензиар передал, а Лицензиат принял в соответствии с условиями Договора 1 (один) экземпляр Произведения - _____ (наименование и характеристика) - и право его использования.
2. Стороны взаимных претензий по порядку и объему исполнения обязательств по Договору не имеют.
3. Настоящий Акт составлен в двух экземплярах, имеющих равную юридическую силу, по одному для каждой из Сторон.

Реквизиты Сторон.

Лицензиар:
ФИО, дата рождения, паспорт, адрес
регистрации

Лицензиат:
ООО «НИЦ «МОРИНТЕХ»
Адрес: 190121, г. Санкт-Петербург,
ул. Лоцманская д. 3
ИНН 7813074883, КПП 783901001
р/с 407028102 55080004491
Северо-западный банк ОАО
«Сбербанк России» в Санкт-Петербурге
БИК 044030653
к/с 301 018 105 000 000 006 53

Лицензиар:

Лицензиат
Заместитель Генерального директора
ООО «НИЦ «МОРИНТЕХ»
_____/Никитин Н.В./

Есть на складе издательства**Гайкович А. И.****Основы теории проектирования сложных технических систем****СПб, НИЦ МОРИНТЕХ, 2001, 432 стр.**

Монография посвящена проблеме проектирования больших разнокомпонентных технических систем. Изложение ведется с позиций системного анализа и достижений прикладной математики и информатики.

Есть в продаже: **цена 420 руб. + пересылка**

Коршунов Ю. Л.**Люди, корабли, оружие (К 70-летию 1-го ЦНИИ МО РФ)****СПб, НИЦ МОРИНТЕХ, 2002, 176 стр.**

Книга содержит историю научно-исследовательских институтов кораблестроения и морского оружия. Автор приводит большое количество фактов, характеризующих деятельность институтов на различных этапах развития флота.

Есть в продаже: **цена 280 руб. + пересылка**

Архипов А. В., Рыбников Н. И.**Десантные корабли, катера и другие высадочные средства морских десантов****СПб, НИЦ МОРИНТЕХ, 2002, 280 стр.**

Изложен опыт проведения морских десантных операций, их особенности, характерные черты и тенденции развития этого вида боевых действий. Рассмотрены наиболее существенные аспекты развития десантных кораблей, катеров и других высадочных средств морских десантов. Затронуты некоторые особенности проектирования десантных кораблей и возможные пути совершенствования расчетных методов.

Есть в продаже: **цена 320 руб. + пересылка**

Караев Р. Н., Разуваев В. Н., Фрумен А. И.**Техника и технология подводного обслуживания морских нефтегазовых сооружений.****Учебник для вузов****СПб, НИЦ МОРИНТЕХ, 2012, 352 стр.**

В книге исследуется роль подводно-технического обслуживания в освоении морских нефтегазовых месторождений. Приводится классификация подводного инженерно-технического обслуживания морских нефтепромыслов по видам работ.

Изложены основные принципы формирования комплексной системы подводно-технического обслуживания морских нефтепромыслов, включающей использование водолазной техники, глубоководных водолазных комплексов и подводных аппаратов.

Есть в продаже: **цена 1500 руб. + пересылка**

Шауб П. А.**Качка поврежденного корабля в условиях морского волнения****СПб, НИЦ МОРИНТЕХ, 2013, 144 стр.**

Монография посвящена исследованию параметров бортовой качки поврежденного корабля, судна с частично затопленными отсеками в условиях морского волнения. Выведена система дифференциальных уравнений качки поврежденного корабля с учетом нелинейности диаграммы статической остойчивости, начального угла крена, затопленных отсеков III категории.

Книга предназначена для специалистов в области теории корабля, а также может быть полезной для аспирантов, инженеров и проектировщиков, работающих в судостроительной области, занимающихся эксплуатацией корабля, судна.

Есть в продаже: **цена 350 руб. + пересылка**

Гидродинамика малопогруженных движителей: Сборник статей**СПб, НИЦ МОРИНТЕХ, 2013, 224 стр.**

В сборнике излагаются результаты исследований гидродинамических характеристик частично погруженных гребных винтов и экспериментальные данные, полученные в кавитационном бассейне ЦНИИ им. академика А. Н. Крылова в 1967–2004 гг. его эксплуатации при отработке методик проведения испытаний на штатных установках.

Есть в продаже: **цена 250 руб. + пересылка**

Гайкович А. И.

**Теория проектирования водоизмещающих кораблей и судов т. 1, 2
СПб., НИЦ МОРИНТЕХ, 2014**

Монография посвящена теории проектирования водоизмещающих кораблей и судов традиционной гидродинамической схемы. Методологической основой излагаемой теории являются системный анализ и математическое программирование (оптимизация).

Есть в продаже: **цена 2-х т. 2700 рублей + пересылка**