

МОРСКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

1001101001101111001100100011000101001110100100011000110101011110100001001001010010011
01000110110000011011011000101001001110100111001101001110100110101000011101100111001010
11001011110001001100001101101110111010001001101001110010001010010101000110101110100001
01010001101110100100010011101100001011001110101001110100110001010101101010010011001110
11010110000101011110100101001101101010110001011010101101001010011101010101101001101001
100110100110111100110010001100010100111010010001100110101011110100001001001010010011
01000110110000011011011000101001001110100111001101001110100110101000011101100111001010
11001011110001001100001101101110111010001001101001110010001010010101000110101110100001
01010001101110100100010011101100001011001110101001110100110001010101101010010011001110
11010110000101011110100101001101101010110001011010001100001010011101010001101001101001

№ 3 (37) Т. 2 2017



Труды Морского государственного университета имени адмирала Г.И. Невельского

01000110110000011011011000101001001110100111001101001110100110101000011101100111001010
11001011110001001100001101101110111010001001101001110010001010010101000110101110100001
01010001101110100100010011101100001011001110101001110100110001010101101010010011001110
110101100001010111101001010011011010101100010110101011010010100111010101 101001
1001101001101111001100100011000101001110100101011000110101011110101101 1010
01000110110000011011011000101001001110100111001101001110100110101000010 011





МОРСКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Научный журнал №3 (37) Т.2 2017 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, д.т.н., профессор, заместитель генерального директора ЦМКБ «Алмаз»

Г.А. Туричин, д.т.н., Ректор, СПбГМТУ

Члены Совета

Е.М. Апполонов, д.т.н. главный научный сотрудник ФГУП «Крыловский государственный научный центр»

А.И. Гайкович, д.т.н., профессор, генеральный директор, НИЦ "МОРИНТЕХ"

Г.Н. Муру, к.т.н., генеральный директор, 51 ЦКТИ судоремонта

Огай С. А. к.т.н., доцент ректор, Морской государственной университет им. адм. Г.И. Невельского

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

И.Г. Малыгин, д.т.н., профессор, директор, Институт проблем транспорта им. Н.С. Соломенко Российской академии наук

Пентти Куяла, профессор, университет Аалто, Финляндия

В.Н. Половинкин, д.т.н., профессор, референт генерального директора, ФГУП «Крыловский государственный научный центр»

К.В. Рождественский, д.т.н., профессор, проректор по международному сотрудничеству, СПбГМТУ

С.П. Столяров, д.т.н., профессор, декан факультета корабельной энергетики и автоматики, СПбГМТУ

Редакционная коллегия

Заместители главного редактора

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

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

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

Войлошников М.В., д.т.н., профессор, Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского

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»

В.Ю. Семенова, д.т.н., профессор, Санкт-Петербургский морской государственный университет

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>

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 и в международную реферативную базу данных Web of Science

Рукописи представляются в редакцию в электронном виде (на диске или по электронной почте: mit-journal@mail.ru)

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

Свидетельства о регистрации СМИ ПИ № ФС77-32382 от 09.06.2008, Эл № ФС72-3345 от 19.09.2008

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

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 журнала «МОРСКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ»

Редакционная деятельность научного журнала «МОРСКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ» опирается, в частности, на рекомендации Комитета по этике научных публикаций, 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



MARINE INTELLECTUAL TECHNOLOGIES

Scientific journal № 3 (37) V. 2 2017 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, Doctor of Engineering, Professor, Vice-CEO ZMKB "Almaz"

G.A. Turichin, Doctor of Engineering, Rector, Saint-Petersburg State Marine Technical University

Council Members

E.M. Appolonov, Doctor of Engineering, Chief Researcher Krylov State Research Centre

A.I. Gajkovich, Doctor of Engineering, Professor, CEO, Research Centre "Marine Intelligent Technologies"

Malygin I.G., Doctor of Engineering, Professor, CEO, Institute of Transportation Problems of the Russian Academy of Science

G.N. Muru, PhD, CEO, 51 CCIS

Ogai S.A., PhD, Associate professor, Rector, Maritime state university named Admiral Nevelskoi

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

Pentti Kujala, Professor, Aalto University, Finland

V.N. Polovinkin, Doctor of Engineering, Professor, Assistant Director General, Krylov State Research Centre

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

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

Editorial Staff

Deputy Chief Editors

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

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

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

Voyloshnikov M.V., Doctor of Engineering, Professor, Maritime state university named Admiral Nevelskoi

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"

V. Yu.Semenova, Doctor of Engineering, Professor, St. Petersburg State Marine Technical University

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

N. A Taranukha, Doctor of Engineering, Professor, Komsomolsk-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>

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 and in the international abstract Web of Science database.

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"

Registration Certificate: ПИ № ФС77-32382 of 09.06.2008, Эл № ФС72-3345 от 19.09.2008

Address: Lotsmanskaya, 3, St. Petersburg

120121, 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"

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



51 центральный конструкторско-технологический институт судоремонта

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

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

Выполнение функций проектанта по более чем 120 проектам кораблей и судов ВМФ иностранной постройки.

Разработка технической документации для обеспечения модернизации, ремонта и сервисного обслуживания кораблей и судов ВМФ.

Разработка документов по стандартизации (ГОСТ РВ, ОСТВ и др.).

Сбор и хранение копий технических условий на продукцию, разработанную по заказам Минобороны России и поставка их исполнителям ГОЗ.





Труды

**Морского государственного университета
имени адмирала Г.И. Невельского**

Proceedings

**of Maritime State University
named after admiral G.I. Nevelskoy**

СОДЕРЖАНИЕ

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И КОНСТРУКЦИЯ СУДОВ

Огай С.А., Войлошников М.В. Многоуровневый системный подход к определению многоуровневых характеристик судна ледового плавания	12
Егоров Г.В., Тонюк В.И. Концепция комбинированных судов «ВОЛГО-ДОН МАКС» класса для перевозки нефтепродуктов, грузов, контейнеров, накатной техники и негабаритов	26
Огай С.А. Нахождение функции полезности в составе критерия оптимальности при определении проектных характеристик многоцелевого судна ледового плавания.....	35

ТЕОРИЯ КОРАБЛЯ И СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА

Тарануха Н.А., Селиванов Е.И., Журбина И.Н. Проверка трехкоординатной теории подобия для сходственных тел	46
Кулеш В.А. Надбавка коррозионного износа на коррозионный износ наружной обшивки судов для работы во льдах	52
Азовцев А.И., Москаленко О.В. Усовершенствование пневмоплиц мореходного вездехода на водоопорных гусеницах	58
Кулеш В.А., Огай С.А., Пец Н.Г. Проект ледовых усилений сухогрузного судна	64
Азовцев А.И., Огай А.С., Заводовская А.И. Матричный расчет мягкооболочечных ветрозащитных закрытий с применением комбинированных моделей	71
Тарануха Н.А., Журбина И.Н., Селиванов Е.И. Эффект предельного перехода в динамических задачах с учетом демпфирования среды	81
Азовцев А.И., Огай С.А., Москаленко О.В. Метод DTNSRDC в прогнозировании мощности мореходного вездехода на воздухоопорных гусеницах грузоподъемных гусеницах грузоподъемностью 100 тонн на начальных стадиях проектирования	88

СУДОВЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ И ИХ ЭЛЕМЕНТЫ (ГЛАВНЫЕ И ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ)

Надежкин А.В., Кича Г.П., Семенюк Л.А. Оптимизация режимов комбинированной очистки моторного масла в судовых дизелях методами вариационного исчисления	93
Горелик Г.Б., Коньков А.Ю., Кончаков В.И. Возможности и перспективы применения водотопливных эмульсий в судовых дизелях в качестве альтернативного топлива	101
Чехранов С.В., Симашов Р.Р., Ханькович И.Н. Развитие теплоутилизационных технологий в судовой энергетике	107
Воробьев Б.Н., Надежкин А.В., Кича Г.П. Стохастическое моделирование разделения сложных гетерогенных систем судовых устройств на основе представлений и аппарата случайных марковских процессов	112

ТЕХНОЛОГИЯ СУДОСТРОЕНИЯ, СУДОРЕМОНТА И ОРГАНИЗАЦИЯ СУДОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Минаев А.Н., Гнеденков С.В. Машталяр Д.В., Надараи К.В., Чижиков Р.Г., Синебрюхов С.Л. Система управления процессом формирования защитных покрытий для элементов морской техники	121
Чернов Б.Б., Нугманов А.М., Фирсова Л.Ю. Кристаллизация $Mg(OH)_2$ на поверхности стали при катодной защите	127
Чернов Б.Б., Ву Ван Мынг, Нугманов А.М., Фирсова Л.Ю. Кристаллизация $CaCO_3$ на поверхности стали при катодной защите морских сооружений	133

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

Дыда А.А., Дыда П.А., Осокина Е.Б., Оськин Д.А. Робастный подход к построению систем управления курсом судна	141
---	-----

Седова Н.А., Седов В.А., Луговец А.А. Виртуальный полигон для задач судовождения с использованием среды BLENDER.....	146
Дыда А.А., Дыда П.А., Осокина Е.Б., Оськин Д.А. Синтез робастного авторулевог по критерию степени устойчивости	151

УПРАВЛЕНИЕ В СОЦИАЛЬНЫХ И ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Луговец А.А., Затепакин С.М., Рычкова В.Ф. Обзор зарубежных методов исследования морских портов	156
Луговец А.А., Затепакин С.М., Рычкова В.Ф. Описание межпортовой региональной конкуренции методом теории нечетких множеств	165
Лентарев А.А., Оловянных А.Л., Турищев И.П., Гомзяков М.В., Москаленко О.В. Повышение эффективности контрольно-надзорной деятельности дальневосточного управления государственного морского надзора с применением риск-ориентированного подхода за счет использования информационных технологий	178
Луговец А.А., Курбенков В.А. Государственное регулирование судоходства по акватории северного морского пути в части обеспечения его безопасности и совершенствования нормативно-правовой базы Российской Федерации: состояние, проблемы, решения	184
Баранова Е.Ю., Луговец А.А., Мельников А.Р., Мельникова М.А., Покидышев В.М., Сылка К.А., Фунтусов А.А. Методическое обоснование оптимизации системы транспортно-экспедиторского обеспечения доставки грузов в смешанном сообщении	193

CONTENTS

SHIP DESIGNING AND STRUCTURE

Ogai S.A., Voyloshnikov M.V. The multilevel system in the optimization of projects characteristics of ship for frozen sea	12
Egorov G.V., Tonyuk V.I. The concept of combined ships "VOLGA-DON MAX" class for the carriage combined of oil products, bulk cargoes, containers, rolling machinery and over dimensions ..	26
Ogai S.A. The function of utility and its use in the objective function for the determining of project characteristics of multipurpose ship for frozen seas	35

SHIP THEORY AND STRUCTURAL MECHANICS

Taranukha N.A., Selivanov E.I., Zhurbina I.N. Check of three-coordinated theory of similarity for likeness bodies	46
Kulesh V.A. Corrosion wear additives of shell of ships operation in ice	52
Azovtsev A.I., Moskalenko O.V. Improvement of the pneumoplicas of the seaworthy all-terrain vehicle on pneumatic-supported tracks	58
Kulesh V.A., Ogai S.A., Petc N.G. Project of ice strengthening of cargo vessel hull	64
Azovtsev A.I., Ogai A.S., Zavodovskaya A.I. Matrix-based calculation of the soft-sovering wind-proof closings based on the combined models overed	71
Taranukha N.A., Zhurbina I.N., Selivanov E.I. Effect of limiting transition in dynamic problems considering the damping of environment	81
Azovtsev A.I., Ogai S.A., Moskalenko O.V. The DTNSPDC method in forecasting at the initial projecting stages the capacity of seaworthy all-terrain vehicle on air-supported tracks with carrying capacity of 100 tons	88

SHIP POWER PLANTS AND THEIR ELEMENTS (MAIN AND AUXILIARY)

Nadezkin A.V., Kicha G.P., Semenuk L.A. The approaches of the variation solution of the combined cleaning modes of motor oil in marine oil diesel engines	93
Gorelik G.B., Konkov A.Yu., Konchakov E.I. The opportunities and the perspectives using of water-fuel emulsions for marine diesels as alternative fuel	101
Chekhranov S.V., Simashov R.R., Khankovich I.N. The development of the heat recovery technologies in marine power generation	107
Vorob'ev B.N., Nadezkin A.V., Kicha G.P. Stochastic separation modeling heterogeneous systems of ship devices on the basis of the concepts and apparatus of random markov processes ..	112

SHIP CONSTRUCTION REPAIR TECHNOLOGY AND ORGANIZATION OF SHIPBUILDING INDUSTRY

Minaev A.N., Mashtalyar D.V., Nadaraia K.V., Chizhikov R.G., Gnedonkov S.V., Sinebryukhov S.L. The protective coatings formation control system for elements of the marine equipment	121
Chernov B.B., Nugmanov A.M., Firsova L.Yu. The crystallization of $Mg(OH)_2$ on the surface of stell at cathodic protection	127
Chernov B.B., Vu Van Mung, Nugmanov A.M., Firsova L.Yu. The crystallization of $Mg(OH)_2$ on the surface of stell at cathodic protection of sea constructions	133

COMPUTER SCIENCE, COMPUTER ENGINEERING AND CONTROL SYSTEM ANALYSIS

Dyda A.A., Dyda P.A., Osokina E.B., Oskin D.A. The robust approach for creating of course control systems of ships	141
Sedova N.A., Sedov V.A., Lugovets A.A. The virtual polygon for navigation with use of the blender software	146
Dyda A.A., Dyda P.A., Osokina E.B., Oskin D.A. The robust autopilot synthesis on the base of stability degree criterion	151

THE MANAGEMENT IN SOCIAL AND ECONOMIC SYSTEMS

Lugovets A.A., Zatepyakin S.M., Rychkova V.F. The review of international methods of the study of competition between seaports	156
Lugovets A.A., Zatepyakin S.M., Rychkova V.F. The application of the fuzzy process to inter – port regional competition modeling	165
Lentarev A.A., Oloviannikov A.L., Turishchev I.P., Gomzyakov M.V., Moskalenko O.V. The risk-based approach in the implementation of control and supervisory activities of the far eastern directorate for state of maritime supervision, taking into account the emergency facilities operated supervised companies	178
Lugovets A.A., Kurenkov V.A. State regulation of sudohodstva in waters of the northern sea route to ensure safety and to improve the regulatory framework of the Russian Federation: state, problems, solutions	184
Baranova E.Yu., Lugovets A.A., Melnikov A.R., Melnikova M.A., Pokidyshev V.M., Sylka K.A., Funtusov A.A. The methodical substantiation of optimization of the system of transport and forwarding support for cargo delivery in intermodal traffic	193

О ЖУРНАЛЕ

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.

Наш журнал включен в международную реферативную базу данных 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

Аннотации выпусков журнала с 2008 по 2015 года и с № 4(30) 2015 полные выпуски размещены в научной электронной библиотеке.

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.

Our log is included in the international abstract Web of Science database.

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, postgraduate 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.

The magazine subject corresponds to the following specialities of scientific workers according 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

Дорогие коллеги!

Научная работа в Морском государственном университете имени адмирала Г.И. Невельского проводится по характерным для университета направлениям, как в сфере теории корабля и строительной механики, так и в области исследования методов проектирования судна и усовершенствования его конструкции, включая работы по вопросам создания инновационных судовых силовых установок и их элементов, новых методов обслуживания энергетических установок, работы над задачами усовершенствования технологии судостроения, судоремонта и организации судостроительного производства, изучение экономики и создание новых методов управления в судоходстве и в судостроении, исследования в области информатики и других дисциплин, связанных с развитием судоходства, судостроения и технического обслуживания морского флота, а также с усовершенствованием и с созданием новых методов обучения морским специальностям студентов и курсантов университета.

В методологическом отношении понятие морского гражданского судна выступает уникальным объектом научных исследований и усовершенствования, который служит общей основой для организации работ по перечисленным многоплановым направлениям и дает возможность их целостно совместить в единую систему, и это способствует улучшению качества и результативности самих научных исследований, а также повышению эффективности по остальным направлениям деятельности университета: в учебном процессе, в развитии сотрудничества университета с другими научными и учебными организациями, как в Российской Федерации, так и за рубежом, в подготовке специалистов высшей квалификации и в организации работы диссертационных советов и пр.

Хотелось бы отметить особое значение инновационных судов, их конструкций, элементов и оборудования, как объектов исследования и усовершенствования, для совместного развития межотраслевого сотрудничества ученых и других специалистов, занятых в сферах судоходства и судостроения. В число инновационных типов можно включить создаваемые суда в соответствии с федеральными целевыми программами и со Стратегией развития судостроения в Российской Федерации, предназначенные для использования в Арктических и замерзающих морях, в том числе, для осуществления судоходства по Северному морскому пути. трудом Морского государственного университета, желаю дальнейших успехов в научной работе.

трудом Морского государственного университета, желаю дальнейших успехов в научной работе.

Выражаю признательность издательству «Морские интеллектуальные технологии» и авторам за работу по подготовке статей и выпуска журнала



Dear colleagues!

The scientific work at Maritime State University named Admiral G.I. Nevelskoy is carried out according to the directions characteristic for the university and includes, as the researches in ship theory and structural mechanics and methods of ship designing and improving of it structures, as well as works on the creation of innovative ship power plants and their elements, the new methods of power plants maintenance and operation, on improving of the technology of ship-construction and ship repairing, the approaches of organization of shipbuilding industry, the study and the development of new approaches in management and economics in shipping and shipbuilding industries, the researches in the computer sciences and in the other programs of the improvement of shipping, shipbuilding and maintenance of merchant ships, as well as the improvement and the creation of new methods of marine specialties training for students and cadets of the university.

Methodologically the concept of merchant ship is the unique object of scientific research and improvement, which serves as the general basis for organizing of works in listed multifaceted areas, and the concept enables the areas to be integrated into the holistic system, and this contributes to improving of the quality and effectiveness of scientific research itself and of the efficiency in the other areas of the university activities: in the training process, in the development of cooperation between the university and the other scientific and educational organizations in Russian Federation and abroad, in the education of highly qualified professionals and in the organization of the specialized dissertation councils and so forth.

I would like to note of the special importance of the innovative ships under researches, the ships' structures, elements and equipment, as objects of the study and the improvement, for joint development of inter-industry cooperation of scientists and practical specialists engaged in the spheres of shipping and shipbuilding. Among the innovative classes of ships it is possible to include the newly created ones in accordance with the federal industrial programs and the Shipbuilding Development Strategy in Russian Federation, assigned for use in Arctic and freezing seas, including the ships for navigation in Northern Sea Route.

I want to gratitude the publishing house of «Marine Intellectual Technologies» and the authors of the articles in the scientific issue of Maritime State University, and I wish them further success in their scientific work.

Ректор

(CEO)

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'S.A. Orai'.

C.A. Orai

(Sergei A.Ogai)

КОРАБЛЕСТРОЕНИЕ
ДК 629.12.001.24:681.32

МНОГОУРОВНЕВЫЙ СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ОПТИМАЛЬНЫХ ПРОЕКТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СУДНА ЛЕДОВОГО ПЛАВАНИЯ

Сергей Алексеевич Огай

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

Михаил Владilenович Войлошников

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

При определении проектных характеристик многоцелевого судна ледового плавания путем оптимизации в рамках системного подхода требуется системно дать понятие проектируемого судна и более общего объекта, чем судно, которое выступает подсистемой более общего объекта, а характеристики этого объекта служат исходными данными при нахождении проектных характеристик судна. Кроме этого, нужно методологически определить подсистемы проектируемого объекта, которые его формируют, учитывая, что подсистемой является целостное судно, при проектировании исследуемое с точки зрения того или иного отдельного качества. В свою очередь, характеристики каждой отдельной подсистемы служат параметрами при определении характеристик судна. Значения данных и параметров определяются в сопредельных задачах: в задаче «внешнего проектирования» – при определении характеристик более общей системы, чем судно, подсистемой, которой, оно выступает, и в задаче «внутреннего проектирования» – при нахождении характеристик каждой из подсистем собственно судна. Свойства проектных характеристик многоцелевого судна ледового плавания позволяют объединить внешнюю и внутреннюю задачи в составе многоуровневого системного подхода при нахождении оптимальных проектных характеристик судна.

Ключевые слова: судно ледового плавания, многоцелевое судно, проектная оптимизация, характеристика судна, подсистема судна, проектный элемент, проектное ограничение, критерий оптимальности, целевая функция, устойчивость оптимального решения

THE MULTILEVEL SYSTEM IN THE OPTIMIZATION OF PROJECT CHARACTERISTICS OF SHIP FOR FROZEN SEA

Sergei Alexeevich Ogai

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

Michael Vladilenovich Voyloshnikov

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

In the determining of design characteristics of the multipurpose ice navigation ship using the systemic approach for the optimization it requires the defining of the multipurpose ice navigation ship as the optimization object and defining of the more general object than the ship, which is the subsystem of this general object, and the characteristics of the more general object serve as the initial data in finding of the design characteristics of the ship. Besides, it is necessary to determine methodologically the subsystems that form the ship under design, taking into account that the subsystem is the integrated ship that is explored in the design from the point of view of its particular property, and the characteristics of each separate subsystem serve as the parameters in determining of the ship characteristics. The values of data and parameters are determined in contiguous tasks: in the «external designing» - in determining of the characteristics of the more general system than the ship, which the subsystem is the ship and the «internal designing» - in the finding of the characteristics of each of the subsystems of the ship proper. The properties of the design characteristics of the multipurpose ice navigation ship allow combining the external and the internal designing as the parts of the multi-level systemic approach in determining the optimal design characteristics of the ship.

Key words: *ice-navigation ship, multipurpose ship, design optimization, ship characteristics, ship subsystem, project constraint, optimality criterion, objective function, sustainability of optimality feature*

1. Введение

Нахождение оптимальных характеристик многоцелевого судна ледового плавания на начальных этапах его проектирования производится с использованием целевой функции f , которая является суммой удельных приведенных затрат (PW / DW) с долевым весом a и инвестиционного ограничения $DW^*(RC^*)$ в форме абсолютных приведенных затрат, преобразованных к сопоставимому виду с удельными приведенными затратами (PW / DW^*)

$$f = a \times PW / DW + (1 - a) \times PW / DW^* \text{ или} \tag{1}$$

$$f = (C - DC + i \times RC) \times (a / DW + (1 - a) / DW^*)$$

и $PW / DW = (C - CD + i \times RC) / DW$

где DW – проектный дедвейт, наибольший размер переменных составляющих нагрузки, включая: груз, топливо, снабжение, балласт, остаточные трюмные воды или вода на палубе, экипаж с багажом и др., в сумме с массой главного оборудования, например, модульного, создаваемого до проектирования судна в соответствии с функцией назначения судна; C – годовые эксплуатационные (операционные) расходы; CD – годовая экономия бюджетных расходов при выполнении корпоративных заказов, то есть, годовой внебюджетный доход; RC – инвестиции в создание инновационного судна, стоимость замещения судна: сумма затрат на постройку нового судна в рыночных ценах или на его покупку (может включать затраты на пополнение оборотных средств); i – суммарные инвестиционные риски, другими словами, ставка дисконтирования, макроэкономический показатель соответствующий сумме внутренней нормы прибыли и показателя темпов прироста индекса потребительских цен (показателя инфляции); a – долевой вес удельных приведенных затрат (PW / DW) в составе обобщенного критерия с инвестиционным ограничением

$DW^*(RC^*)$, преобразованным к сопоставимому виду с показателем удельных затрат (PW / DW^*) . Нужно заметить, что все перечисленные показатели выступают функциональными зависимостями от искомым характеристик многоцелевого судна ледового плавания и от проектных ограничений, к которым можно отнести данные (характеристики более общей системы, подсистемой, которой, выступает проектируемое судно) и параметры (элементы проектируемого судна, то есть, характеристики его подсистем).

2. Использование целевой функции для определения наилучшего размера многоцелевого судна ледового плавания

Пример использования целевой функции указанного вида для определения наилучшего размера, создаваемого судна по оценке проектного дедвейта DW , в зависимости от проектного ограничения по толщине форсируемого сплошного ледового поля h с учетом различия значений оцениваемого инвестиционного ограничения по размеру субсидий RC^* в форме ограничения проектного дедвейта DW^* представлен в форме графических поверхностей: для ограничения субсидий RC^* в размере 250 млн. долл. США и соответствующего ограничения субсидируемого проектного дедвейта DW^* , равного 8530 т (Рис. 1, а); для ограничения субсидий в размере 500 млн. долл. США и ограничения субсидируемого проектного дедвейта, равного 16270 т (Рис. 1, б); для ограничения субсидий в размере 750 млн. долл. США и ограничения субсидируемого проектного дедвейта, равного 24010 т (Рис. 1, в); для ограничения субсидий в размере 1000 млн. долл. США и ограничения субсидируемого проектного дедвейта, равного 31750 т (Рис. 1, г).

По графикам (Рис. 1) видно, что во всем диапазоне значений проектного ограничения по толщине форсируемого сплошного ледового поля h оптимальные значения проектного дедвейта DW ,

соответствующее минимуму целевой функции f , меньше, чем субсидируемое ограничение проектного дедвейта DW^* , хотя, для высоких ледовых категорий (по оценке толщины сплошного форсируемого льда) оптимальные значения проектного

дедвейта DW довольно близки к ограничениям их субсидируемых значений DW^* , и характерно, что повышение ледовой категории судна связано с увеличением его оптимального размера.

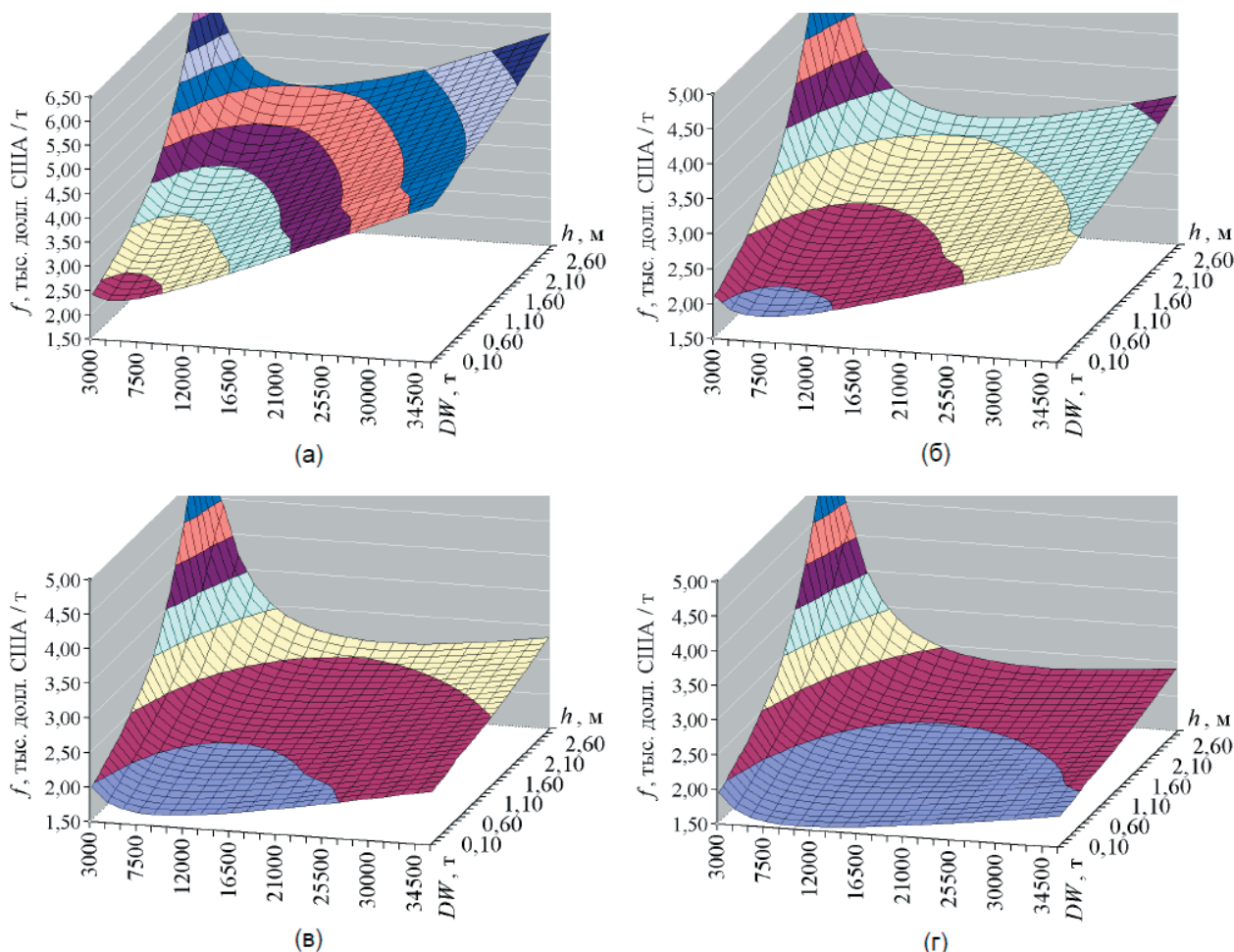


Рис. 1. Зависимость целевой функции обобщенной на основе удельных приведенных затрат (PW / DW) от проектного дедвейта DW многоцелевого судна ледового плавания и проектного ограничения по толщине форсируемого сплошного ледового поля h с учетом различия значений оцениваемого инвестиционного ограничения по размеру субсидий RC^* в форме субсидируемого ограничения проектного дедвейта DW^* : (а) ограничение $DW^* = 8530$ т при $RC^* = 250$ млн. долл. США; (б) ограничение $DW^* = 16270$ т при $RC^* = 500$ млн. долл. США; (в) ограничение $DW^* = 24010$ т при $RC^* = 750$ млн. долл. США; (г) ограничение $DW^* = 31750$ т при $RC^* = 1000$ млн. долл. США

Кроме этого, видно, что увеличение предусмотренных субсидий (инвестиционного ограничения) связано с расширением интервала оптимальных значений размера судна. Другими словами, с увеличением предусмотренных субсидий RC^* на создание судна не только увеличивается оптимальный размер судна DW , но и уменьшаются отличия судов разного размера при их сравнении по критерию, используемому в форме целевой функции f . Таким образом, нужно определить ограничение по размеру субсидий RC^* , которое в терминах системного подхода связано с определением более общей системы, чем многоцелевое судно ледового плавания на начальных этапах его проектирования, частью, которой, выступает создаваемое судно.

3. Системные уровни хозяйственных объектов при проектировании судна ледового плавания, формируемые на принципах самоокупаемости

При определении оптимальных характеристик судна на основе системного подхода, как данные, так и параметры служат проектными ограничениями. Значения данных и параметров определяются в сопредельных задачах: в задаче «внешнего проектирования» – при определении данных для проекта судна, то есть характеристик более общей системы, чем судно, подсистемой, которой, судно выступает, и в задаче «внутреннего проектирования» – при нахождении характеристик каждой из подсистем собственно судна, то есть его элементов.

В качестве подсистем на начальных этапах определения оптимальных проектных характеристик многоцелевого судна ледового плавания можно назвать его отдельные качества, относимые к судну в целом, причем, характеристики подсистем судна служат элементами (параметрами) на этих начальных этапах проектирования судна. К подсистемам судна можно отнести отдельные мореходные качества: плавучесть, остойчивость, непотопляемость, ходкость и управляемость, в том числе, в ледовом поле заданной толщины, а также можно отнести такие собственные качества судна, как прочность корпуса, надежность и т.д. В качестве примера можно привести перечень систем судна по Гайковичу А.И. [2]: «Корпус и надстройки», «Движение», «Энергия», «Экипаж», «Маневрирование», «Стабилизация», «Навигация, связь и сигнализация», «Перевозка грузов», «Перевозка пассажиров», «Рыболовство», «Управление и информация» и др.

Встает вопрос о формулировании понятия более общих систем, чем проектируемое судно и иерархии этих систем для решения задачи определения оптимальных характеристик многоцелевого судна ледового плавания, а именно, для нахождения исходных данных, которые выступают проектными ограничениями, например, для оценки ограничения субсидий RC^* и др. Можно привести следующие примеры комплексных объектов служащих более общей системой в методологическом смысле, чем проектируемое судно:

3.1) флот грузоперевозчиков в процессе определения его состава и пополнения в рамках «внешней задачи» проектирования транспортного судна, если спрос формируется административным решением /6/;

3.2) комплекс (полная совокупность) активов морского предприятия (судоходной компании) /9/, в который входит проектируемое судно, и по оценке этого комплекса можно найти финансовое ограничение, которое, в частности, будет оказывать влияние на размер судна при его проектировании;

3.3) морской грузопоток определенной интенсивности и протяженности, обслуживаемый совокупностью сходных транспортных судов, чьи характеристики являются предметом проектной оптимизации, причем среди искомым характеристик определяется, также, число судов, обслуживающих грузопоток;

3.4) комплекс сходных судов, осуществляющих освоение морских ресурсов в определенном районе, таких, как: водные биологические ресурсы, осваиваемые промысловыми экспедициями, полезные ископаемые шельфа (нефть, природный газ, минеральные ресурсы), др.

В перечисленных примерах более общей системы сходство судов в ее составе следует из понятия оптимальности, так как, если найдены оптимальные проектные характеристики судна, то другие характеристики судна не могли бы являться оптимальными, и поэтому суда каждого типа

должны иметь сходные проектные характеристики (близкие по значениям).

4. Методологические определения инновационных технических средств, как более общих систем, включаемых в состав проектных ограничений

На начальных этапах проектирования судна более общей системой методологически может служить понятие «морская техника» (океантехника). Термин «судно» охватывается этим понятием, но морская техника не сводится к судну и включает также иные объекты. В частности, морской техникой является оборудование судна на разных уровнях агрегатирования этого оборудования, в пределе до уровня целостного судна.

Типовое оборудование, как правило, определяется как подсистема судна, которой оно в соответствии с проектом укомплектовывается из числа серийно выпускаемого. В то же время, оборудование, системно связанное с функциональным назначением судна, в частности, нетиповое оборудование многоцелевого судна ледового плавания, может выступать не как подсистема судна, а как более общая, чем судно, система при определении его проектных характеристик.

Для судна инновационного назначения, например, для многоцелевого судна ледового плавания, более общей системой методологически может служить совокупность предварительно разрабатываемого оборудования до создания судна в соответствии с федеральными программами, в частности, с Государственной программой Российской Федерации «Развитие судостроения на 2013 – 2030 годы» [3], или со Стратегией развития судостроительной промышленности на период до 2020 года и на дельнейшую перспективу [7].

Помимо ледоколов к числу перспективных типов судов, предназначенных для использования в Арктических и замерзающих морях для выполнения транспортных и других функций, по Стратегии отнесены следующие типы судов ледового плавания: танкеры для перевозки жидких грузов, в том числе, для перевозки сжиженного природного газа; контейнерные суда для замерзающих морей; плавучие и стационарные шельфовые платформы для Арктики; исследовательские, обслуживающие (служебно – вспомогательные) суда ледового плавания; суда снабжения для замерзающих морей; производственные суда, в том числе, Арктические плавучие электростанции.

Действующие или строящиеся ледоколы, в том числе, проектируемые, в той или иной степени практически соответствуют понятию многоцелевого судна, поскольку дополнительно пригодны для доставки грузов, пассажиров, для выполнения технических или спасательных работ, для генерирования и передачи энергии и т.д.

В качестве примеров функционального оборудования, специально разрабатываемого в соответствии с назначением многоцелевого судна

ледового плавания до его проектирования, можно назвать:

- новые типы силовых установок, в частности, использующих в качестве топлива природный газ или смеси с дизельным топливом;
- реакторные и иные части энергетических установок для проектируемых судов с ядерными энергетическими установками;
- энергетические установки плавучих электростанций;
- морские производственные установки для сжижения природного газа;
- специальные системы судов ледового плавания и технические средства для форсирования льда;
- пропульсивные установки судов ледового плавания;
- спускаемые устройства специального назначения для работы в ледовых условиях и др.

Подобные технические средства, методологически представленные понятием «морская техника», обычно не охвачены серийным производством до создания соответствующих инновационных судов, но на начальных этапах проектирования планируются к применению в соответствии с функциональным назначением этих судов, в том числе, многоцелевых судов ледового плавания.

Эти технические средства подлежат разработке до проектирования судна, и, не смотря на то, что физически они являются подсистемами судна, тем не менее, это оборудование, специально разрабатываемое в соответствии с функциональным назначением судна, не входит в состав предмета проектирования судна. Характеристики этого оборудования задаются как исходные данные при проектировании судна, иными словами, как проектные ограничения. Поэтому характеристики оборудования, предварительно разрабатываемого в соответствии с назначением многоцелевого судна ледового плавания, в отличие от серийно выпускаемого оборудования, обозначают более общую систему, в составе которой проектируемое судно создается.

Для полноты нужно назвать примеры типового оборудования, применяемого для укомплектования судна и рассматриваемого, как подсистема судна на начальных этапах его проектирования. В отличие от функционального оборудования, специально разрабатываемого в соответствии с назначением строящегося судна, то есть, создаваемого до начала проектирования судна, в качестве серийных комплектующих частей судна, выбираемых в процессе его проектирования и не входящих в число проектных ограничений, можно назвать следующие технические средства: двигатели внутреннего сгорания, дизель – генераторы, котлы и топливная аппаратура котлов, насосы, сепараторы, компрессоры, судовые палубные устройства общего назначения и их элементы, конструктивные элементы судовых систем общего назначения и т.д.

5. Функции проектируемых судов, входящие в состав проектных ограничений, связанные с конструкцией и с инновационными технологическими активами в судостроении

Если это необходимо для постройки судов, функции которых определяются федеральными программами или Стратегией развития судостроения, то создание новых технологических возможностей в судостроении тоже можно считать созданием новой функциональной системы инновационного назначения, то есть, новым качеством целостного судна. Методологически это новое качество является связью с технологическими возможностями постройки судна. То есть, в числе данных для нахождения оптимальных проектных характеристик судна инновационного назначения выступают специально созданные или создаваемые технологические возможности судостроительного производства, которые позволяют изготавливать это судно или его конструктивные элементы.

Пригодность к постройке на тех или иных судостроительных верфях с присущими им технологическими ограничениями или с определенными ограничениями проектных характеристик судна может указываться как функция судна. Например, существенными технологическими характеристиками в судостроении, которые предопределяют возможности постройки судна, выступают обеспеченные производственными мощностями и оборудованием технологические процессы модульной постройки, если действует сборочная судостроительная верфь и находящиеся с ней в кооперации судостроительные предприятия по выпуску секций и блоков строящихся судов. Технологические возможности модульной постройки связаны с конструкцией строящихся судов.

Нужно обратить внимание, что конструктивные качества судна или технологические методы его постройки можно методологически переопределить через функциональные характеристики судна. Это позволяет назвать инновационные технологические возможности в судостроении как форму главной системы создаваемых судов, для постройки, которых, эти технологические возможности необходимы, а в числе функциональных характеристик на начальных этапах проектирования судна может быть задано проектное ограничение, что судно или его части должны соответствовать определенной технологии постройки.

Те или иные характеристики конструкции судна тоже могут быть указаны как функциональные качества судна помимо задания технологии его постройки. В частности, конструктивный признак судна, такой, как «мембранный газозов», означает, также, указание функционального признака: соответствующего способа перевозки сжиженного природного газа. Вариантов определения конструктивных характеристик судна в форме его функциональных качеств не мало. Другим примером может служить судно ледового плава-

ния, а наименование этого типа судна означает, как его конструктивные особенности, так и функциональную характеристику.

6. Приоритетность и отраслевой баланс в судостроении и судоходстве

Учитывая взаимосвязь отраслей судостроения и судоходства, действующих и развивающихся в балансе, обычно имеет значение экономический приоритет судоходства, поскольку характеристики судов, планируемых к постройке, могут использоваться при создании судоверфей в качестве данных (проектных ограничений). Это означало бы, что более общей системой, чем судостроительное предприятие, может выступать судно, для размещения заказа на строительство, которого, в таком случае предприятие должно создаваться или выбираться из числа действующих судоверфей.

Именно этот приоритет находит место в Стратегии развития судостроительной промышленности на период до 2020 года и на дальнейшую перспективу [7], по которой предписываются типы судов, планируемых к постройке.

Таким образом, отраслевые взаимосвязи между судостроением и судоходством можно в рамках методологии определения оптимальных характеристик на начальных этапах проектирования судна определить как двусторонние:

– с одной стороны, инновационные методы судостроения можно назвать в составе проектных ограничений для создаваемого судна, то есть включить такую характеристику функции судна как соответствие этим судостроительным методам, в данном случае судостроительная технология выступила бы в составе более общей системы при определении оптимальных проектных характеристик судна;

– с другой стороны, при создании судоверфей видно приоритетное значение экономического спроса в отношении состава и пополнения флота в судоходстве.

Как раз двусторонний характер отраслевой взаимосвязи между судостроением и судоходством показывает методологическое значение объекта проектируемого судна, точнее, совокупности проектных характеристик и функционального назначения судна в процессе его создания, как формы этой отраслевой взаимосвязи. Указанные функции и характеристики судна определяют его как объект судостроения, так и судоходства.

В более широком методологическом смысле, например, при формулировании задачи (предмета и объекта) в программы развития судостроения, в предположении о выборе из двух альтернатив инвестирования: в создание судостроительного предприятия или в создание инновационного судна, этот выбор может дать определение объекта, более общей системой, для которого, были бы задачи по федеральным программам или по Стратегии развития судостроительной промышленности. А сам по себе выбранный приоритетный объект, будь то инновационное судно

или планируемое к созданию судостроительное предприятие, послужил бы более общей системой для второго из этих двух объектов. При этом характеристики выбранного приоритетного объекта в судоходстве или судостроении стали бы данными (проектными ограничениями) при создании другого из этих объектов.

Таким образом, необходимое для формулирования проектных ограничений на начальных этапах проектирования многоцелевого судна ледового плавания понятие более общей системы, в которую проектируемое судно включено, не исчерпывается только первоначально приведенными четырьмя примерами (п. 3.1 – 3.4), а может включать, также следующие определения:

6.1) созданные инновационные методы судостроения, учитывая, что функциональные характеристики судна могут быть обозначены как соответствие судна этим специально созданным методам судостроения;

6.2) разрабатываемые инновационные технические средства для судостроения, отвечающие функциональному назначению проектируемого судна, характеристики и элементы, которого, отвечают создаваемым техническим средствам;

6.3) совокупность функций проектируемого судна в соответствии со Стратегией развития судостроения или с действующими федеральными целевыми программами, которые, в таком случае, выступают в качестве более общей системы, частью которой является создаваемое судно, а проектными ограничениями – показатели по Стратегии и по программам.

7. Цели субсидирования постройки судна, соответствующие общим системам, в которые судно входит как подсистема

Для уточнения проектных ограничений требуется проанализировать по разделам (п. 3.1 – 3.4, 6.1- 6.3) рассмотренные варианты более общей системы, чем многоцелевое судно ледового плавания. Также, представляет интерес нахождение возможностей обобщения этих вариантов или их совмещения при условии возможной взаимозаменяемости. Этот анализ может, также, дать суждение относительно полноты рассмотренной совокупности вариантов более общей системы, чем судно в процессе его создания.

При определении размеров субсидирования в создание многоцелевого судна ледового плавания, которые оказывают влияние на проектное ограничение размера судна, нужно иметь в виду, во-первых, что суммарные субсидии по всем объектам в совокупности ограничены, и, во-вторых, что с созданием судна могут быть связаны различные цели субсидирования, то есть, что понятия более общей системы, чем многоцелевое судно ледового плавания на начальных этапах его создания, в каждом из рассмотренных выше вариантов этой более общей системы (п. 3.1 – 3.4, 6.1- 6.3) или в иных вариантах может при субсидировании рассматриваться как самостоятельная цель.

Самостоятельными целями субсидирования в рассмотренных выше примерах, а также в возможных иных вариантах этой более общей системы, чем создаваемое судно, в которую судно включено, выступают:

7.1) пополнение флота грузоперевозчиков (как «внешняя задача» проектирования транспортно-морского судна) для осуществления морских транспортных грузопотоков;

7.2) создание морского предприятия (судоходной компании) в форме комплекса (полной совокупности) активов, в который входит проектируемое судно;

7.3) организация морского грузопотока определенной интенсивности и протяженности, обслуживаемого сходными с проектируемым транспортными судами, создание комплекса сходных судов (то есть, кластера);

7.4) создание кластера сходных судов, осуществляющих освоение морских ресурсов в определенном морском районе (добычу водных биологических ресурсов, полезных ископаемых на шельфе и пр.), или комплекса судов разных функциональных типов, взаимно дополняемых в этом комплексе (например, в морской промысловой экспедиции);

7.5) создание новых заводов и верфей, осуществляющих инновационные методы судостроения, учитывая, что функции строящихся судов включают, также, соответствие создаваемым методам судостроения;

7.6) предварительная разработка новых морских технических средств, функционально соответствующих создаваемым судам, для которых эти морские технические средства предназначены в качестве главной подсистемы для нахождения проектных ограничений;

7.7) создание судов для осуществления функций в соответствии со Стратегией развития судостроения и с действующими федеральными целевыми программами в судостроении и судостроительстве.

Как отмечено, помимо названных возможны и иные варианты более общей системы, чем создаваемое судно, которые могут означать самостоятельные цели субсидирования, пригодные методологически для нахождения исходных данных и ограничений на начальных этапах проектирования судна.

По решению администраций, осуществляющих выполнение Стратегии развития судостроения и действующих федеральных целевых программ в судостроении и судостроительстве, помимо возможностей участия корпоративных инвесторов источниками субсидирования могут выступать федеральный бюджет и региональные бюджеты разных уровней, а также отраслевые бюджеты в судостроении и судостроении. В то же время, внебюджетное дополнительное финансирование имеет большое значение, если в дальнейшем по мере достижения рассматриваемых целей предусматривается приватизация созданных иннова-

ционных судов и активов с целью возвращения в бюджеты субсидированных средств.

8. Признаки классифицирования самостоятельных целей, для которых субсидируется постройка судов и развитие судостроительной промышленности

Признаки классифицирования самостоятельных целей, для которых субсидируется развитие судостроительной промышленности и обновление флота, можно определить в привязке к функциональным и конструктивным признакам создаваемых судов и инновационных технологических активов в судостроении, а также к функциональным признакам морских технических средств, соответствующих создаваемым судам, для которых эти морские технические средства предназначены в качестве главной подсистемы.

По отношению к новым судам, морским техническим средствам и методам судостроения можно назвать следующие признаки классифицирования целей их создания: функциональные признаки, конструктивные, технологические и имущественные.

Такие цели, как пополнение флота грузоперевозчиков для организации морских транспортных грузопотоков (п. 7.1) имеют функциональный характер. Пополнение флота во многом соответствует цели организации морского грузопотока определенной интенсивности и протяженности (п. 7.3) и, само по себе, не означает создание новых видов морской техники или возможностей судостроения.

Как цель субсидирования создание морского предприятия (п. 7.2) в форме комплекса активов, в который входит проектируемое судно, являющегося объектом хозяйствования и обособленного учета, имеет имущественный характер, связанный с хозяйственным расчетом. В создании комплекса активов морского предприятия, в частности, судоходной компании, то есть, судов, помимо бюджетного могут участвовать корпоративные инвесторы, целью, которых, выступает повышение стоимости создаваемого комплекса активов. Постройка инновационных судов, а также морской техники или создание новых активов и технологий в судостроении, как таковое, не требуется при создании морского предприятия, а имущественный комплекс предприятия может формироваться на основе доступных технологий и активов.

Освоение водных ресурсов в определенном районе моря и создание для этого комплекса судов сходных, или различных и функционально взаимно дополняемых в этом комплексе (п. 7.4), можно охарактеризовать как самостоятельную функциональную цель субсидирования. А поскольку к морским ресурсам в широком экономическом смысле могут быть отнесены не только полезные ископаемые на шельфе или водные биологические ресурсы, а любые ресурсы морской среды, пригодные для ее продуктивного использования /9/, то можно видеть сходство функ-

ционального характера следующих целей из рассматриваемого перечня: освоения морских ресурсов и создания для этого комплекса судов (п. 7.4), пополнения флота грузоперевозчиков для организации морских транспортных грузопотоков (п. 7.1), а также, организации морского грузопотока определенной интенсивности и протяженности (п. 7.3). Нужно пояснить, что для нахождения оптимальных характеристик многоцелевого судна ледового плавания на начальных этапах его проектирования к морским ресурсам можно отнести любые возможности морской промышленной деятельности на условиях окупаемости, хозяйственного расчета или иначе определяемой полезности с применением экономических критериев. Например, в замерзающих морях к ресурсам в экономическом отношении можно отнести грузопотоки, шельфовые работы, переработку природного газа (сжижение, хранение и транспортировку), генерирование энергии, иные промышленные задачи в море, субсидируемые или находящие платежеспособный спрос.

Создание инновационных методов судостроения (п. 7.5), учитывая, что функции строящихся судов включают, также, соответствие этих судов методам их постройки, означает функциональный и технологический характер цели, в которую создаваемое судно включено, как в более общую систему, определяющую проектные ограничения.

Функциональный и конструктивный характер цели, как системы, в которую судно методологически включено, означает разработку инновационных морских технических средств (п. 7.6) функционально соответствующих судам, для которых эти морские технические средства создаются в качестве главной подсистемы.

Реализация Стратегии развития судостроения и целевых программ в судостроении и судостроительстве (п. 8.7), которые во многом предопределяют создание инновационных судов ледового плавания, соответствует функциональному характеру цели создания этих судов, а исходные данные по Стратегии и по программам на начальных этапах проектирования судна входят в состав проектных ограничений.

Функциональное назначение подлежащих постройке судов, которое указывается в Стратегии и программах, тесно связано с формулированием более общей системы назначением новых морских технических средств функционально соответствующих создаваемым судам (п. 7.6), для которых эти морские технические средства предназначены в качестве главной подсистемы. Причем главной подсистемой в таком случае может выступать и физическое устройство или механизм, то есть, определенная совокупность технических средств, разрабатываемых до создания судна в качестве его инновационной главной части, соответствующей назначению судна, так и предписываемое качество целостного судна в соответствии с его назначением по Стратегии

развития судостроения и по целевым программам.

С учетом анализа приведенных вариантов более общих систем, в которые в том или ином отношении создаваемое судно входит в качестве подсистемы, можно на начальных этапах проектирования судна придерживаться четырех признаков самостоятельных целей создания судна при определении проектных ограничений:

I. Имущественный признак (хозрасчетный) самостоятельной цели создания судна, инновационной морской техники (совокупности механизмов судна) или новых технических средств и технологий судостроения, то есть, направленной на экономический результат, оцениваемый в сопоставимых формах: эксплуатации на принципах самоокупаемости для возврата субсидий и платы за пользование субсидиями в бюджет, или продажи корпоративному инвестору для возврата субсидий и платы за пользование капиталом. Возможны разные формы возврата субсидий, как при гражданском обороте, или при операционном использовании созданных активов, так и с применением акционерных, лизинговых или кредитных финансовых механизмов.

II. Технологический целевой признак означает самостоятельную ценность создания инновационных возможностей в судостроении, с учетом того, что эти возможности тесно связаны с конструкцией строящихся судов и могут, также, на начальных этапах проектирования судна предписываться в составе назначения судна, как его пригодности для изготовления с применением созданных новых технологических возможностей, являющихся для технологического признака самодостаточными.

III. Конструктивный целевой признак, обозначающий ценность создания главной подсистемы судна, то есть, инновационных технических средств, устройств, конструкций, оборудования или части судна, не являющихся серийно освоенными в судостроении до создания судна, в проект которого они предназначены, разрабатываемых до осуществления проекта судна и включаемых в состав данных и ограничений в задании на его проектирование. Главная подсистема создаваемого судна, как методологическое понятие, связана, с одной стороны, с его функцией, то есть, не относится к числу технических средств общего назначения, применяемых на судах всех типов, а с другой стороны, связана с инновационными технологиями в судостроении, так как главная подсистема является новым изделием, серийно не производимым. Нужно заметить, что создание инновационного судна, включая его проектирование, создание тех или иных подсистем судна, ранее не производившихся, и новых технологических активов в судостроении имеет несерийный характер, а серийная постройка судов означает повторяемость, когда перечисленные задачи решены.

IV. Функциональный признак цели создания судна, характеризующий ценность функции суд-

на, определяемый на тех или на иных основаниях, например, по Стратегии развития судостроения, по целевым программам в судостроении и судоходстве и др., то есть, самоценный функциональный признак цели создания судна, определяемый без апеллирования к другим, рассмотренным выше признакам цели, выступает инновационным назначением судна ледового плавания.

Нужно обратить внимание, что функциональные, конструктивные, технологические и имущественные признаки целей создания новых судов, морских технических средств и методов судостроения не являются взаимоисключающими, и видна взаимная зависимость этих четырех признаков, которая может давать возможность переопределять одни целевые признаки из числа указанных через другие.

Предложенная последовательность указания технологического, конструктивного и функционального признаков самостоятельных целей создания судна, которая показана выше: I, II, III, IV не означает их иерархической соподчиненности. В общем случае названные признаки могут рассматриваться как равнозначные для определения ограничений на начальных этапах проектирования судна посредством формирования структуры более общей системы, подсистемой, которой, выступает создаваемое судно, и использования сформированной общей системы, например, для оценки распределения субсидий и для нахождения финансового ограничения инвестиций в постройку судна.

Не смотря на имеющиеся методологические возможности взаимосвязанного переопределения признаков целей, три признака из числа рассмотренных: II, III, IV, тем не менее, выступают как независимые по следующим причинам:

- приоритет конструктивного или технологического признаков зависит от иерархии целей в системе отраслей судостроения и судоходства, этот приоритет может формироваться в судоходстве, когда характеристики судов, планируемых к постройке, используются в качестве данных при создании судоверфей, или в судостроении, если пригодность к постройке на тех или иных судоверфях с присущими им технологическими ограничениями может назначаться как функция судна;

- не смотря на то, что признак функции судна можно иногда сформулировать как конструктивный, связанный с функцией судна, или как признак цели в сфере судостроительной технологии, также связанный с конструкцией и функцией судна, тем не менее, логично рассматривать ценность функции создаваемого судна, как независимый признак цели, потому, что планирование в судостроении и судоходстве, в соответствии со Стратегией развития судостроительной промышленности на период до 2020 года и на дальнейшую перспективу [7] и с федеральными программами, в частности, с Государственной программой Российской Федерации «Развитие судостроения на 2013 – 2030 годы» [3] обычно пред-

ставлено функциональными характеристиками судов, конструктивные особенности, которых, и способы их постройки выступают зависимыми и подлежат разработке в отраслях.

Последовательность самостоятельных целей субсидирования: I, II, III, IV не означает приоритета тех или иных признаков этих целей и является условной. С другой стороны, выбор одного из признаков в качестве приоритетного соответствует изменению формы определения более общей системы, в которую входит проектируемое судно. Форма этой системы, используемой для нахождения ограничений на начальных этапах проектирования судна, в этом случае может иметь вид цели, выбранной как главная, связанной с совокупностью остальных целей.

9. Условие баланса инвестиций в создание судна с учетом структуры общей системы, подсистемой, которой, служит судно

Предпосылка баланса суммы инвестиций в создание инновационных судов, морской техники и активов судостроительных предприятий (в создание новых верфей и в обновление методов судостроительной технологии), с одной стороны, и суммарного количества субсидированных средств для достижения самоценных целей (I, II, III, IV): хозрасчетной (имущественной), технологической, конструктивной и функциональной, с другой стороны, может использоваться для логичного распределения субсидий на эти цели.

Ограничением суммы инвестиций выступает общее количество финансов RC_{Σ} , а предметом служит подход для логичного распределения денежной суммы на части, и, в конечном счете, на объекты инвестирования, – создаваемые суда, а также, иные объекты, которые можно функционально, конструктивно и технологически соотносить с создаваемыми судами.

Уравнение баланса инвестиций в создание инновационных судов и активов судостроительных предприятий с учетом указанной предпосылки имеет вид

$$RC_{\Sigma} = \sum_F \sum_{M_F} \sum_{Q_{FM}} \sum_{K_{FMQ}} RC_{FMQK}, \tag{2}$$

где RC_{Σ} – сумма инвестиций в создание инновационных судов, морской техники и развитие судостроительных предприятий, RC_{FMQK} (или RC_K) – сумма инвестиций в самостоятельные цели по признакам: K -ой функции цели, то есть, назначения создаваемого судна (K_{FMQ}), характеризующей ценность функции судна, определяемую по Стратегии развития судостроения или по целевым программам в судостроении и судоходстве, Q -му конструктивному целевому признаку (Q_{FM}), обозначающему ценность создания главной подсистемы судна: инновационных технических средств, устройств, конструкций, оборудования

или части судна, не являющихся серийно освоенными до создания судна, в проект которого они предназначены, разрабатываемых до осуществления проекта судна и включаемых в состав данных и проектных ограничений, M -му технологическому признаку (M_F), соответствующему созданию инновационных технологических возможностей в судостроении, с учетом того, что эти возможности тесно связаны с конструкцией строящихся судов и могут, также, на начальных этапах проектирования судна указываться в качестве проектного ограничения в отношении необходимой пригодности проектируемого судна для его создания с применением новых технологических возможностей, F -му имущественному признаку, то есть, хозрасчетному признаку цели, направленной на экономический результат, оцениваемый на принципах самоокупаемости и возврата субсидий в бюджет и платы за пользование субсидиями в форме эксплуатации созданных судов, технических средств и активов или их продажи корпоративному инвестору с такой же хозрасчетной целью.

Для записи уравнения (3) баланса инвестиций в создание инновационных судов и активов судостроительных предприятий можно было бы использовать упрощение символов

$$RC_{\Sigma} = \sum_F \sum_M \sum_Q \sum_K RC_{FMQK} \quad (3)$$

или $RC_{\Sigma} = \sum_{FMQK} RC_K$,

а также, символическая запись уравнения баланса $RC_{\Sigma} = \Sigma RC$.

Группирование индексов суммирования в записи или их пропускание не является отменой последовательности индексов суммирования в уравнении. Каждый из индексов суммирования: K , Q , M , F применяется внутри совокупности более общих индексов суммирования в предложенной последовательности, которая соответствует перечню признаков самостоятельных целей субсидирования: I, II, III, IV. Не смотря на то, что этот перечень целей субсидирования не означает приоритета тех или иных признаков и является условным, но для корректного использования уравнения баланса инвестиций (2, 3) следует придерживаться единообразия.

Нужно обратить внимание, что возможное введение дополнительных признаков самостоятельных целей субсидирования, помимо используемых признаков: I, II, III, IV не меняет сумму инвестиций RC_{Σ} в создание инновационных судов, морской техники и в развитие судостроительных предприятий, и эта сумма является ограничительной предпосылкой, то есть, исходным данным для уравнения баланса инвестиций.

При использовании удельного показателя инвестиций rc_{FMQK} в расчете на единицу размера судна (в сокращенной записи rc_K) уравнение

баланса инвестиций (2, 3) в создание инновационных судов и активов судостроительных предприятий принимает вид

$$RC_{\Sigma} = \sum_{FMQK} (rc_K \times DW_K), \quad (4)$$

где DW_K , то есть DW_{FMQCK} – размер проектируемого судна (по характеристике его проектного дедвейта) для K -го признака самооценности функционального назначения создаваемого судна (K_{FMQ}), Q -го признака самооценности инновационного конструктивного типа (Q_{FM}), M -го признака ценности создания инновационных технологических методов для судостроения, предназначенных для постройки проектируемого судна, (M_F) для F -го признака хозяйственной цели субсидирования, оцениваемый на принципах самоокупаемости.

Уравнение баланса инвестиций (2, 3) в создание инновационных судов и активов судостроительных предприятий приводится в функции от характеристики размера создаваемого судна. Это логично потому, что размер судна связан с потребностью в затратах на постройку судна и ввод в эксплуатацию (в пополнение оборотных средств), и потому, что размер характеризует не только судно, но и судостроительное предприятие, осуществляющее постройку судов этого размера, а также, размер судна характеризует технические средства, устройства, конструкции, иное оборудование или части судна создаваемого судна. Нужно заметить, что характеристика снабжения, применяемая по правилам Регистра для определения устройств, их элементов и иного оборудования, устанавливаемых на строящемся судне устройств и оборудования, рассчитывается в зависимости от размера судна.

В уравнении баланса инвестиций (2, 3) в качестве характеристики размера судна применяется проектный дедвейт DW . Помимо проектного дедвейта в этом уравнении могут использоваться иные характеристики размера судна, которые не только говорят о способности судна перевозить грузы, но и показывают пригодность судна для выполнения служебно-вспомогательных функций, навигационного обслуживания в условиях замерзающих морей иных судов, не имеющих ледовой категории, пригодность для несения на борту специального оборудования, предназначенного для выполнения тех или иных функций в замерзающих морях, в том числе такие характеристики размера: водоизмещение судна по грузовой марке D , грузоподъемность PG , регистровая вместимость (валовая GRT или чистая NRT) и др., а также, та или иная характеристика судовых источников энергии или механизмов: эффективная мощность Ne , потребная мощность во льдах N_{ICE} , суммарная мощность судовой силовой установки NP и т.д.

Используя показатель удельных инвестиций на единицу размера судна, соотносимого с про-

ектный дедвейтом DW (или с иной характеристикой размера), уравнение баланса суммы инвестиций можно преобразовать к виду

$$RC_{\Sigma} = rc \times \sum_{FMQK} ((rc_K / rc) \times DW_K) \quad (5)$$

или $RC_{\Sigma} = [rc \times i] \times \sum_{FMQK} (DW_K / i_K)$.

Определение инвестиционной константы rc и инвестиционного риска i , используемых в уравнении баланса суммы инвестиций, можно осуществить решением системы двух уравнений

$$rc = 1000 \times \frac{RC_{\Sigma}}{\sum_{FMQK} DW_K} \quad (6)$$

и $rc \times i = 1000 \times \frac{RC_{\Sigma}}{\sum_{FMQK} (DW_K / i_K)}$,

тыс. долл. США / т,

Определение показателей rc и $rc \times i$ по формуле (6) на основе обобщения самостоятельных целей создания судна для нахождения проектных ограничений в рассмотренной модели баланса инвестиций в создание инновационных судов и активов судостроительных предприятий практически целесообразно производить в системе электронных таблиц EXCEL. Размерности в формулах (6) соблюдаются, если размерность показателя инвестиций используется: млн. долл. США.

С экономической стороны значение удельного показателя субсидий rc_K для функционального признака цели создания судна соотносится в обратной пропорции с показателем рисков i_K инвестирования в самостоятельные цели в соответствии со Стратегией развития судостроительной промышленности на период до 2020 года и на дельнейшую перспективу и с федеральными программами, в частности, с Государственной программой Российской Федерации «Развитие судостроения на 2013 – 2030 годы»

$$rc_K / rc = i / i_K \quad (7)$$

Для признаков самостоятельных целей создания судна при определении проектных ограничений в рассмотренной модели баланса инвестиций в создание инновационных судов и активов судостроительных предприятий характерно соотношение, которое следует из примененного способа (2, 3) распределения удельного показателя инвестиций

$$rc \times i = rc_M \times i_M = rc_F \times i_F = rc_Q \times i_Q = rc_K \times i_K, \quad (8)$$

где rc_F и i_F – удельный показатель субсидий в расчете на единицу размера судна и показатель рисков инвестирования в имущественных целях, направленных на экономический результат, оцениваемый на принципах самоокупаемости и воз-

врата в бюджет субсидий и платы за пользование субсидиями, или продажи корпоративному инвестору с такой же хозрасчетной целью; rc_M и i_M – удельный показатель субсидий в расчете на единицу размера судна и показатель рисков инвестирования в целях создания инновационных технологических возможностей в судостроении, которые на начальных этапах проектирования судна могут указываться в качестве проектного ограничения в отношении необходимой пригодности проектируемого судна для его постройки с применением созданных технологических возможностей; rc_Q и i_Q – удельный показатель субсидий в расчете на единицу размера судна и показатель рисков инвестирования в целях создания главной подсистемы судна, характеристики которой служат данными при его проектировании: инновационных технических средств, устройств, конструкций, оборудования или части судна, не являющихся серийно освоенными до создания судна.

Использование удельного показателя инвестиций rc_K в расчете на единицу размера создаваемого судна на начальных этапах проектирования можно оценивать по отношению к различным характеристикам размера судна, то есть, не только не единицу проектного дедвейта DW , хотя это удобно, но и на единицу иной характеристики размера. В частности, в судостроительной промышленности широко применяется показатель инвестиций на единицу строительного веса, то есть, водоизмещения судна порожнем DP , которое может определяться в зависимости от проектного дедвейта DW и от полного водоизмещения судна D : $DP = D - DW$.

На начальных этапах проектирования на основе анализа структуры более общей системы, частью которой выступает создаваемое судно, финансовое ограничение субсидий RC^* , которое можно преобразовать к ограничению субсидий в создание судна с учетом найденного произведения (6) инвестиционной константы и инвестиционного риска $[rc \times i]$, определяется как

$$RC^* = [rc \times i] \times DW^* / i. \quad (9)$$

10. Определение субсидируемого размера судна, служащего проектным ограничением при нахождении поправки к целевой функции

Проектное ограничение субсидируемого проектного дедвейта DW^* многоцелевого судна ледового плавания можно определить при совмещении ограничения субсидий в создание судна (9) и найденной параметрической зависимости размера многоцелевого судна ледового плавания от инвестиций RC в создание судна

$$DW \approx 30,96 \times RC + 789,5, \text{ т}, \quad (10)$$

а ограничение субсидируемого проектного дедвейта DW^* равно

$$DW^* \approx 789,5 / (1 - 0,0301 \times rc) \text{ или} \quad (11)$$

$$DW^* \approx 789,5 / (1 - 0,0301 \times [rc \times i] / i), \tau,$$

где показатель инвестиционной константы rc применяется в размерности: тыс. долл. США / т.

Зависимости ограничения субсидируемого размера многоцелевого судна ледового плавания от удельного показателя субсидий: $rc (DW)$ или $rc (DP)$, от суммы инвестиций в создание инновационных судов RC_{Σ} и от рисков инвестирования: i_F, i_M, i_Q и i_K , соответствующих независимым целевым признакам: функциональным, конструктивным, технологическим и имущественным признакам целей создания нового судна, а также, от суммарного риска i , представлены на графиках (Рис. 2, а, б).

Финансовое ограничение субсидируемых инвестиций RC^* в создание многоцелевого судна ледового плавания можно найти в зависимости от инвестиционной константы rc , как

$$RC^* \approx 789,5 / (i / [rc \times i] - 30,96)$$

или $RC^* \approx 789,5 / (1000 / rc - 30,96), \quad (12)$

млн. долл. США.

Найденное ограничение субсидируемых инвестиций RC^* в создание многоцелевого судна ледового плавания, как и значение инвестиционной константы rc , зависит от заданного значения суммы инвестиций RC_{Σ} в создание инновационных судов, морской техники и развитие судостроительных предприятий, и характеризует, с одной стороны, распределение суммы инвестиций RC_{Σ} в соответствии со структурой более общей системы, подсистемой, которой, выступает многоцелевое судно ледового плавания, в соответствии с задачами и рисками инвестирования в самостоятельные цели, означающие ценность функции судна, определяемую по Стратегии развития судостроения или по целевым программам в судостроении и судоходстве, ценность создания главной подсистемы судна: инновационных технических средств, устройств, конструкций, оборудования или части судна, не являющихся серийно освоенными до создания судна, в проект которого они предназначены, разрабатываемых до осуществления проекта судна и включаемых в задание на проект, как данные и проектные ограничения, инновационные технологические возможности в судостроении, с учетом того, что эти возможности неотъемлемо связаны с конструкцией строящихся судов и могут на начальных этапах проектирования указываться как проектное ограничение в отношении необходимой пригодности проектируемого судна к постройке с применением новых технологических возможностей, а также, означающие экономический результат, оцениваемый на принципах самоокупаемости и возврата в бюджет субсидий и платы пользование ими, и, с другой стороны, характеризует разумные затраты на создание судна ледового плавания, так как для построения

зависимости требуемых инвестиций от размера судна этого типа используются данные аналогичных новых судов и параметрической зависимости размера многоцелевого судна ледового плавания от инвестиций.

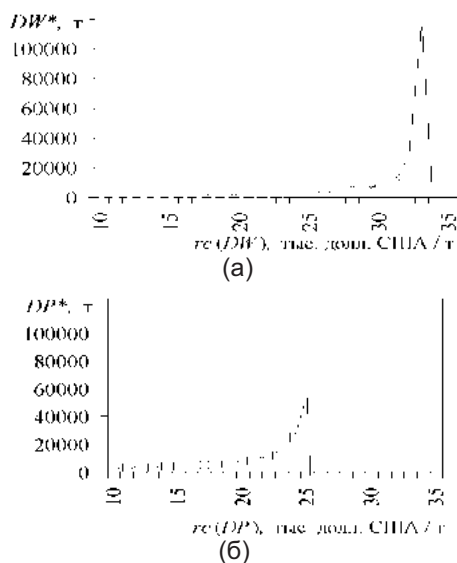


Рис. 2. Оценка ограничения субсидий в создание многоцелевого судна ледового плавания, преобразованное к характеристикам размера судна: а) проектного дедвейта DW^* , $rc (DW)$; б) водоизмещения судна порожнем DP^* , $rc (DP)$

При использовании параметрической зависимости необходимых инвестиций RC от размера многоцелевого судна ледового плавания по оценке его водоизмещения порожнем DP ограничение субсидируемого водоизмещения порожнем DP^* можно определить как

$$DP^* \approx 1687 / (1 - 0,0388 \times rc)$$

или $DP^* \approx 1687 / (1 - 0,0388 \times [rc \times i] / i), \tau, \quad (13)$

а ограничение субсидируемых инвестиций равно

$$RC^* \approx 1687 / (i / [rc \times i] - 43,5)$$

или $RC^* \approx 1687 / (11000 / rc - 43,5), \quad (14)$

млн. долл. США,

где показатели: инвестиционной константы rc и произведения инвестиционной константы на показатель суммарного риска $rc \times i$ определяются по формулам, аналогичным тем, которые рассмотрены выше (6), с учетом замены проектного дедвейта DW , как характеристики размера судна, на водоизмещение порожнем DP

$$rc = 1000 \times \frac{RC_{\Sigma}}{\sum_{FMQK} DP_K} \quad (15)$$

и $rc \times i = 1000 \times \frac{RC_{\Sigma}}{\sum_{FMQK} (DP_K / i_K)},$

тыс. долл. США / т.

11. Влияние проектных ограничений по толщине форсируемого льда и по величине субсидий на целевую функцию и оптимальный размер судна

Зависимости целевой функции удельных приведенных затрат (PW/DW) от проектного дедвейта DW многоцелевого судна ледового плавания и проектного ограничения по толщине форсируемого сплошного ледового поля h , а также от величины субсидируемых инвестиций в форме инвестиционной константы rc , характеризующей распределение субсидий по самостоятельным целям инвестирования в создание судов, а также, новых технологических активов в судостроении, инновационных морских технических средств и оборудование судов, новых устройств, конструкций или частей судна и др., показаны на графических поверхностях (Рис. 3, а, б).

По графикам можно оценить интервалы значений размера многоцелевого судна ледового плавания по характеристике проектного дедвейта DW , соответствующие минимальным (наилучшим) значениям целевой функции f . Видно, что интервалы оптимальных значений размера судна по обеим графическим зависимостям находятся в соответствии при небольшой толщине форсируемого сплошного ледового поля (от 0,0 до 1,0 м), заданной в проект судна, и при достаточном бюджетном субсидировании создания судна (в эквиваленте более 31 тыс. долл. США в расчете на единицу размера судна: тонну проектного дедвейта).

Целевая функция f , основанная на показателе удельных приведенных затрат в расчете на единицу функции полезности, в качестве которой рассматривается характеристика размера судна, с учетом возможной экономии при выполнении судном услуг по внебюджетным заказам и с учетом штрафной надбавки (или премиальной) к целевой функции за соответствие необходимых инвестиций предусмотренным субсидиям в создание судна, характеризуется ростом значений по мере усиления указанных ограничений, то есть, целевая функция, характеризующая затраты, растет с увеличением заданного ограничения по толщине форсируемого сплошного ледового поля h и с уменьшением размера предусмотренных субсидий RC^* (или rc) на создание судна, учитывая, что недостающие субсидии должны привлекаться на финансовых рынках по определенной стоимости капитала, что отражается на повышении целевой функции удельных приведенных затрат.

Выводы

12.1. Создание судов инновационных типов, которые не освоены массовой постройкой на крупных верфях, имеет большое значение для развития собственного судостроения в государствах, для которых серийное судостроение прежде не было характерной национальной отраслью. Для организации постройки этих судов во многих промышленно развитых государствах Северного

полушария на передний план выходит фактор внутреннего спроса, связанный с судоходством в Арктических и замерзающих морях.

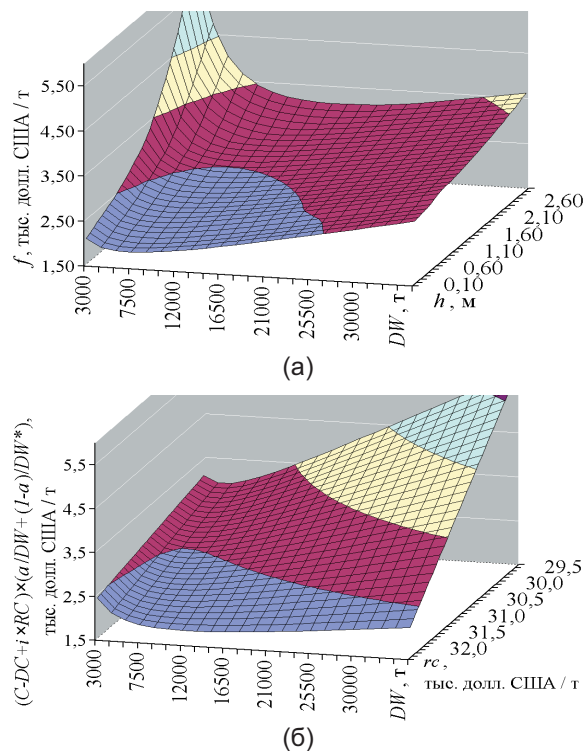


Рис. 3. Зависимость целевой функции обобщенной на основе удельных приведенных затрат (PW/DW)

многоцелевого судна ледового плавания:
 а) от проектного дедвейта DW и проектного ограничения по толщине форсируемого сплошного ледового поля h , при заданном ограничении субсидируемого размера судна по характеристике его дедвейта $DW^* = 16270$ т для условий финансового ограничения $RC^* = 500$ млн. долл. США;

б) от проектного дедвейта DW и инвестиционной константы rc , характеризующей распределение субсидий при инвестировании на создание судна, при проектном ограничении по толщине льда $h = 1,0$ м

12.2. Определение оптимальных характеристик судов, предназначенных для использования в Арктических и замерзающих морях, может на начальных этапах проектирования производиться с применением целевой функции основанной на показателе годовых удельных приведенных затрат в расчете на характеристику размера судна, с учетом штрафной надбавки (или премиальной) к целевой функции за соответствие необходимых инвестиций предусмотренным субсидиям в создание судна.

12.3. Помимо целевой функции для определения проектных характеристик судна требуется задание ограничений, среди которых, проектное ограничение по толщине сплошного форсируемого ледового поля и финансовое ограничение по размеру субсидируемых инвестиций в создание судна. Проектные ограничения вводятся в рамках системного подхода и в процессе проектирования характеризуют связь судна с общей системой, в которую проектируемое судно входит как подсистема.

12.4. Более общая система, в которую входит проектируемое многоцелевое судно ледового плавания, может методологически быть представлена как совокупность самоценных целей субсидирования, включая имущественные (хозрасчетные) цели, технологические, конструктивные и функциональные цели инвестирования в создание судов, а также, новых технологических активов в судостроении, инновационных морских технических средств и оборудование судов, новых устройств, конструкций или частей судна и др.

12.5. Оценка проектного ограничения субсидируемых инвестиций в создание многоцелевого судна ледового плавания может выполняться с учетом баланса суммарных субсидий и рисков

инвестирования, соответствующих независимым целевым признакам: функциональным, конструктивным, технологическим и имущественным, а также, с учетом суммарного риска инвестирования в создание многоцелевого судна ледового плавания.

12.6. Размер субсидируемых инвестиций, как и другие проектные ограничения, на начальных этапах проектирования оказывает влияние на оптимальный размер многоцелевого судна ледового плавания: с увеличением субсидий в создание судна его оптимальный размер увеличивается, кроме этого, размер судна увеличивается по мере увеличения заданного проектного ограничения по толщине форсируемого ледового поля.

Литература

1. Войлошников М.В. Морские ресурсы и техника: эффективность, стоимость, оптимальность. – Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2002. – 586 с. ISBN 5–7596–0286–1
2. Гайкович, А.И. Теория проектирования водоизмещающих кораблей и судов. В 2 т. Т. 1. Описание системы «Корабль». Т. 2. Анализ синтез системы «Корабль». – СПб.: Изд-во НИЦ МОРИНТЕХ, 2014. ISBN 978-5-93887-060-4; ISBN 978-5-93887-048-2; ISBN 978-5-93887-0568-7
3. Государственная программа Российской Федерации «Развитие судостроения на 2013–2030 годы», утвержденная постановлением Правительства РФ от 24 декабря 2012 г. № 2514-р.
4. Ионов Б.П. Проектирование ледоколов / Б.П. Ионов, Е.М. Грамузов, В.А. Зуев. – СПб.: Судостроение. 2014. – 512 с. ISBN: 978-5-7355-0784-2
5. Пашин В.М. Оптимизация судов. – Л.: Судостроение, 1983.
6. Правила классификации и постройки морских судов, 3 тома. Российский Морской Регистр Судостроения, Санкт–Петербург, 2015; ISBN 978 – 5 – 89331 – 276 –8.
7. Стратегия развития судостроительной промышленности на период до 2020 года и на дальнейшую перспективу. Утверждена приказом Минпромэнерго РФ от 6 сентября 2007 года № 354.
8. Eyres David J. Ship construction. 6 edition – Butterworth–Heinemann, 2007, 365 p. (ISBN 0750680709, 9780750680707).
9. Ogai S.A., Voyloshnikov M.V., Khromchenko E.B. The objective function for determining of design characteristics of multipurpose ship for navigation in icy sea, the methodological constraints, the optimality criterion. The 30th Asian–Pacific Technical Exchange and Advisory Meeting on Marine Structures, TEAM–2016, Mokpo, Korea – P. 561–573.

References

1. Vojloshnikov M.V. Morskie resursy i tekhnika: ehffektivnost', stoimost', optimal'nost'. – Vladi-vostok: Izd-vo DVGTU, 2002. – 586 s. ISBN 5–7596–0286–1
2. Gajkovich, A.I. Teoriya proektirovaniya vodoizmeshchayushchih korablej i sudov. V 2 t. T. 1. Opisanie sistemy «Korabl'». T. 2. Analizi sintez sistemy «Korabl'». – SPb.: Izd-vo NIC MORINTEKH, 2014. ISBN 978-5-93887-060-4; ISBN 978-5-93887-048-2; ISBN 978-5-93887-0568-7
3. Gosudarstvennaya programma Rossijskoj Federacii «Razvitie sudostroeniya na 2013–2030 gody», utverzhennaya postanovleniem Pravitel'stva RF ot 24 dekabrya 2012 g. № 2514-r.
4. Ionov B.P. Proektirovanie ledokolov / B.P. Ionov, E.M. Gramuzov, V.A. Zuev. – SPb.: Sudostroenie. 2014. – 512 s. ISBN: 978-5-7355-0784-2
5. Pashin V.M. Optimizaciya sudov. – L.: Sudostroenie, 1983.
6. Pravila klassifikacii i postrojki morskih sudov, 3 toma. Rossijskij Morskoj Registr Sudohodstva, Sankt–Peterburg, 2015; ISBN 978 – 5 – 89331 – 276 –8.
7. Strategiya razvitiya sudostroitel'noj promyshlennosti na period do 2020 goda i na dal'nejshuyu perspektivu. Utverzhdena prikazom Minpromehnergo RF ot 6 sentyabrya 2007 goda № 354.
8. Eyres David J. Ship construction. 6 edition – Butterworth–Heinemann, 2007, 365 p. (ISBN 0750680709, 9780750680707).
9. Ogai S.A., Voyloshnikov M.V., Khromchenko E.B. The objective function for determining of design characteristics of multipurpose ship for navigation in icy sea, the methodological constraints, the optimality criterion. The 30th Asian–Pacific Technical Exchange and Advisory Meeting on Marine Structures, TEAM–2016, Mokpo, Korea – P. 561–573.

УДК 629.5.01

КОНЦЕПЦИЯ КОМБИНИРОВАННЫХ СУДОВ «ВОЛГО-ДОН МАКС» КЛАССА ДЛЯ ПЕРЕВОЗКИ НЕФТЕПРОДУКТОВ, НАВАЛОЧНЫХ ГРУЗОВ, КОНТЕЙНЕРОВ, НАКАТНОЙ ТЕХНИКИ И НЕГАБАРИТОВ

Геннадий Вячеславович Егоров

доктор технических наук, профессор
генеральный директор

ООО «Морское Инженерное Бюро-СПб»
197101, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Мира, 15/1, офис 76Н
тел. +38 (0482) 347928; e-mail: office@mehbspb.com

Валерий Иванович Тонюк

Технический директор

ООО «Морское Инженерное Бюро-СПб»
197101, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Мира, 15/1, офис 76Н
тел. +38 (0482) 347928; e-mail: office@mehbspb.com

Аннотация

Принципиальной особенностью нового концепта является «расширение» узких мест внутреннего водного транспорта за счет новых технических решений. Другими словами, происходит увеличение провозоспособности за счет максимального использования фактических путевых условий (максимально возможные длина, ширина судна), а главное – за счет экстремально полных обводов, ранее не применявшихся в мировой практике. Кроме того, в статье приведен выбор оптимального пропульсивного комплекса, результаты сравнения топливной эффективности при эксплуатационной скорости, а также подчеркнуты особенности конструкции корпуса.

Применение комбинированных судов (в 2015-2016 годах построено 7 судов) обеспечивает загрузку в обе стороны (нефтеналивные грузы – в одну и сухогрузы – в обратную), при этом позволяет снизить нагрузку на автодороги – за счет перевозки легковых автомобилей, которые обычно везут на грузовиках-автомобилевозах, перевозки контейнеров с массами, недопустимыми для транспортировки автопоездами по условиям максимальной нагрузки на трассах.

Ключевые слова: комбинированное судно смешанного река-море плавания, нефтеналивное судно, сухогрузное судно, внешняя задача проектирования, класс судна, основные характеристики, пропульсивный комплекс, коэффициент полноты

THE CONCEPT OF COMBINED SHIPS "VOLGA-DON MAX" CLASS FOR THE CARRIAGE OF OIL PRODUCTS, BULK CARGOES, CONTAINERS, ROLLING MACHINERY AND OVER DIMENSIONS

Gennadiy Vyacheslavovich Egorov

Professor, Dr.Sci.Tech.

Director general

«Marine Engineering Bureau – S.-Pb.» Ltd.
Mira st., 15/1, 197101, St. Petersburg, Russia
tel. +38 (0482) 347928; e-mail: office@mehbspb.com

Valery Ivanovich Tonyuk

Technical Director

«Marine Engineering Bureau – S.-Pb.» Ltd.
Mira st., 15/1, 197101, St. Petersburg, Russia
tel. +38 (0482) 347928; e-mail: office@mehbspb.com

Abstract

The character feature of new concept is an “expansion” of narrow places of inland water transport by using new technical decisions. Saying in other words, transportation ability is increased by maximal usage of actual way characteristics (maximal available vessel’s length and breadth), and mainly by usage extremely fat hull contours, that have never used before in world’s practice. Therewith, choice of

optimum propulsion complex, results of comparison of fuel efficiency at operational speed are given in article, and also features of hull structure are emphasized.

Usage of combined vessels (7 vessels have been built in 2015-2016) provides both directions cargo transportation (oil cargoes towards one direction and dry cargoes towards back direction); that should allow decrease of highways rate due to transportation of cars which usually carry by trucks, transportation of heavy containers with weights inadmissible for transportation by road-trains under the conditions of maximum load on routes.

Key words: river-sea combined vessel, tanker, dry-cargo vessel, external design task, vessel's class, main characteristics, propulsion complex, block coefficient

Введение

Комбинированные суда проекта RST54 являются логическим продолжением реализации выполненных Морским Инженерным Бюро исследований по созданию судов смешанного река-море плавания нового поколения в рамках Федеральной целевой программы «Развитие гражданской морской техники» 2009-2016 годов (РГМТ), а также развитием проекта RST27, по которому, начиная с 2012 года, было построено 40 судов и еще 7 судов строятся (включая модернизацию проекта RST27M) [1-3, 6].

Не имеющее аналогов судно «площадка/танкер» смешанного река-море плавания проекта RST54 создано для обеспечения максимальной загрузки кругового рейса (например, нефтеналивные грузы – в одну сторону и сухогрузы – обратно). Таким образом, планируется достичь максимальной экономической эффективности от работы судов в условиях сезонности речных перевозок.

Целью статьи служит обоснование главных характеристик концепта уникального комбинированного судна (танкера-площадки) проекта RST54 типа «Балт-Флот», а также принятых технических и конструктивных решений.

1. Изложение основного материала

Трудно не заметить, как за четыре года отечественными заводами было построено 7 судов проекта RST54 и 40 судов проекта RST27. Такие темпы и такая массовая серия были характерны

для лучших периодов советского судостроения и это, конечно, очень достойное сравнение для сегодняшних верфей.

Британское Королевское общество корабельных инженеров RINA в число лучших судов года в мире дважды включало проект RST27 (Significant Ships of 2012 и Significant Ships of 2013), что само по себе случается очень редко, а в 2014 году и проект RST54 (Significant Ships of 2014).

Однако не только увеличенный коэффициент полноты является особенностью этого нового поколения судов, но и ряд других принципиально важных характеристик, также полученных Морским Инженерным Бюро в той или иной форме в научных исследованиях (НИР) ФЦП по РГМТ и использованных в новых концептах: обоснование главных размерений, выбор формы носовой и кормовой оконечностей, количество и тип двигателей, способы формирования конструкции, особенности архитектуры, снижение надводного габарита, нестандартное объединение функций судов, расширение типов предполагаемых к перевозке грузов и т.п.

Главной особенностью комбинированных судов смешанного река-море плавания проекта RST54, по сравнению с иными судами нового поколения, является расширение спектра перевозимых грузов – проектные грузы, химия, сочетание сухих и наливных грузов на одном судне.

Общее расположение судна проекта RST54 представлено на схеме общего вида (Рис. 1).

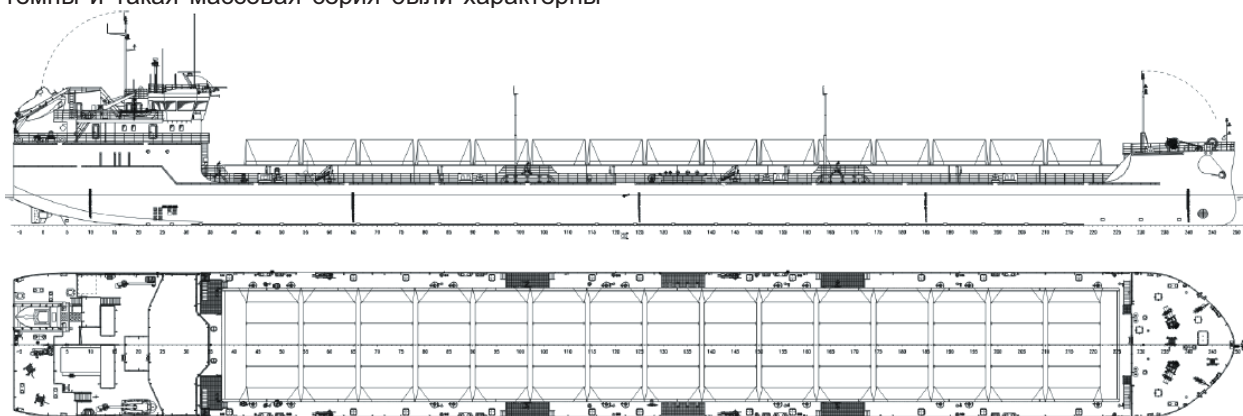


Рис. 1. Общее расположение судна проекта RST54

Основные характеристики проекта представлены в Таблице 1.

При выборе главных размерений был применен принцип максимального использования фак-

тических путевых условий (максимально возможные длина, ширина судна).

Исследованиями, проведенными Бюро, было доказано, что реальный выбор основных элементов судна смешанного река-море и внутреннего плавания определялся путевыми условиями, а также стратегией будущего судовладельца, его позицией на рынке, приверженностью к тем или

иным направлениям перевозок и типам грузов. При этом для танкеров, как правило, оптимальным являлись решения, обеспечивающие в заданных условиях максимальную грузоподъемность. У сухогрузных судов применялся также выбор размерений по принятой партионности (3000 тонн, 5000 тонн) на заданную осадку [5].

Таблица 1

Основные характеристики судна проекта RST54

Параметр	Величина
Длина максимальная, м	140,85
Длина по КВЛ, м	140,66
Ширина, м	16,70
Высота борта, м	5,00
Высота габаритная от ОП до несъемных частей (не более), м	16,10
Осадка в море / реке, м	3,527 / 3,60
Дедвейт в реке при осадке 3,60 м, т	5745
Высота ограждения грузовой площадки, м	2,00
Объем грузового пространства по верхнюю кромку ограждения, м ³	2564
Вес щебня на палубе (около), т	4700
Контейнеровместимость (TEU / FEU)	120 / 45
Автомобилевместимость (необходима установка специальных съемных касет)	270-350 (в зависимости от габарита)
Объем грузовых и отстойных цистерн (98%), м ³	5653
Автономность, сут	20
Класс Российского Речного Регистра	✠ М-ПР 2,5 (лед 30) А
Мощность и тип ГД	2 x 1200 кВт, (6L20 «Wartsila»)
Винто-рулевое устройство	2 x 1200 кВт, ВРК (Shottel SRP2012FP)
Подруливающее устройство	230 кВт, (Schottel STT170FP)
Вспомогательные ДГ + Аварийный ДГ	3 x 296 кВт + 62 кВт
Вспомогательные паровые котлы, т/ч	2 x 2,5
Производительность грузовых насосов, м ³ /ч	2 x 300
Количество манифольдов / количество видов груза	4 / 1
Подогрев груза	Змеевики
Насос отстойного танка, м ³ /ч	80
Экипаж / мест, чел.	12 / 14 + лоцман
Скорость (при осадке 3,60 м и 85% МДМ), узлы	11,00

Анализ подобных альтернатив позволил построить параметрический ряд ССП, объективно востребованных отечественными судовладельцами, и на его основе разработать в Морском Инженерном Бюро проекты новых судов – концептов XXI века.

Самый востребованный класс судов водного транспорта России (70% значимых грузовых судов, построенных в XXI веке) – суда «Волго-Дон макс» класса, к которым и относятся суда проекта RST54.

В носовой оконечности с высоким и развитым по длине баком расположены форпик, шахта лага и эхолота, шкиперская, станция гидравлики, ма-

лярная, палубная кладовая, а также носовое подруливающее устройство мощностью 230 кВт.

В кормовой оконечности судна расположены МО и развитая высокая надстройка юта. Двухъярусная кормовая рубка со служебными и жилыми помещениями для размещения экипажа численностью 12 чел. (14 мест+лоцман) спроектирована с учетом обеспечения ограниченного надводного габарита судна (13,8 м при осадке 3,00 м).

Теоретический корпус судна разработан Морским Инженерным Бюро и имеет цилиндрическую вставку протяженностью 0,78 L и рекордный коэффициент общей полноты 0,932 (для проекта RST27, см. Рис. 2–4).



Рис. 2. Общий вид «сверхполного» судна проекта RST54 во время спуска на заводе «Окская судостроительная»

Применена бульбообразная форма носовой оконечности, кормовая оконечность – транцевая, с полутоннелями и скегом. На начальном этапе моделирование буксировочных испытаний вы-

полнялось путем решения уравнений Рейнольдса конечно-объемным методом в расчетной области, внутри которой помещена 3D модель корпуса судна.



Рис. 3. Носовая оконечность «сверхполного» судна

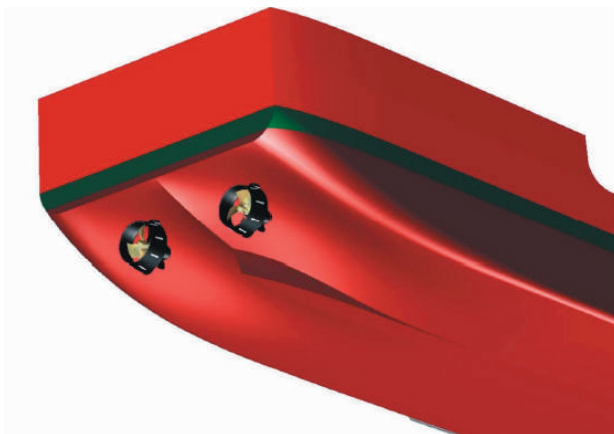
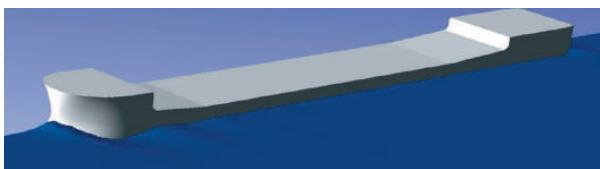


Рис. 4. Кормовая оконечность «сверхполного» судна

Уравнения движения жидкости замкнуты при помощи статистической модели турбулентности для случая несжимаемой жидкости. Расчеты (Рис. 5) выполнялись в масштабе натуре с намерением избежать влияния масштабных эффектов и процедур пересчета с модели на натуру [4].

осадке судна в грузу и в балласте практически совпадают до значения числа Фруда $\sim 0,13$ [4].



Но конечно главным результатом является необходимая для движения судна с заданной реальной скоростью удельная эффективная мощность (на 1 м^3 объемного водоизмещения) – т.е. те энергозатраты, которые приходится на 1 единицу груза.

Рис. 5. Свободная поверхность. Вид на нос 10 узлов

На графике (Рис. 6) дано такое сравнение удельной эффективной мощности от скорости для «сверхполного» судна, имеющего рекордный коэффициент общей полноты $C_b = 0,932$ (проект RST54) с судном-прототипом с $C_b = 0,88$ (проект RST25).

Следует обратить внимание, что на интересующих нас скоростях около 10 узлов, основную роль играет трение и сопротивление формы. Волновое сопротивление при этом незначительно, но уже после 10 узлов роль этой составляющей резко возрастает. Результаты проверочных буксировочных испытаний в двух независимых друг от друга бассейнах показали, что величины коэффициента остаточного сопротивления при

Итак, в грузу величина буксировочной мощности «сверхполного» судна отличается всего лишь на $\sim 4\%$ от таких данных судна с коэффициентом полноты около 0,90. В балласте буксировочная мощность P_E танкера с большой полнотой обводов выше, чем у танкера с нормальной полнотой и при проектной скорости $V_S = 10,5$ узлов разница составляет ~ 80 кВт (около 13%).

Таким образом, теоретически было доказано, что для типичных для судна смешанного река-море плавания скоростях 10 узлов влияние коэффициента полноты (для диапазона 0,88...0,93) незначительно.

Вывод был принципиально важен и означал, что можно увеличивать коэффициент общей пол-

ноты для судов смешанного река-море плавания до 0,932. Это и позволило дать «старт» для проектов RST54 и RST27 – судов «Волго-Дон Макс класса» со «сверхполными» обводами, с бульбообразной носовой оконечностью и с двумя винтами фиксированного шага в насадках (полнопоротные ВРК в полутоннелях).

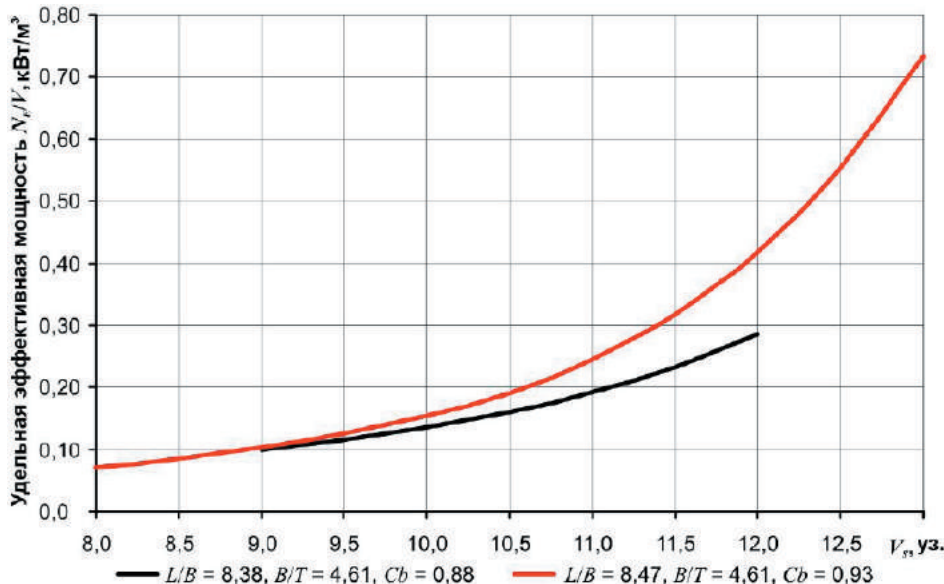


Рис. 6. Зависимость удельной эффективной мощности от скорости для судов с различной полнотой обводов

Специальная форма кормовой оконечности оптимизирована под размещение ВРК, так как для судов «Волго-Дон макс» класса оптимальным с позиций топливной эффективности является вариант двухвального пропульсивного комплекса с гребными винтами фиксированного шага в направляющих насадках (ВРК) [7].

Для наглядного отображения сравнительной топливной эффективности всех вариантов пропульсивного комплекса основные результаты расчетов – пропульсивная мощность N_E (т.е. расходуемая на движение) и сумма денежных издержек на топливо C за сутки ходового времени приведены в Таблице 2.

Таблица 2

Показатели топливной эффективности при $V_s = 11$ уз

№ п/п	Характеристика	Вариант А (2 ВФШ)	Вариант Б (2 ВФШ в НН)	Вариант В (1 ВРШ)	Вариант Г (1 ВРШ в НН)
1	Эффективная мощность N_E , кВт	2x792 = 1584	2x739 = 1478	1793	1735
2	Относительная эффективная мощность \bar{N}_E , %	107,2	100,0	121,3	117,4
3	Затраты на топливо в течение суток ходового времени C , USD/сут	3154	2964	3224	3119
4	Относительные затраты на топливо в течение суток ходового времени \bar{C} , %	106,4	100,0	108,8	105,2

Как видно из таблицы 2, наиболее выгодным с точки зрения топливной эффективности является вариант Б – судно с двухвальным ПК с ВФШ в направляющих насадках. Вариант Б требует для достижения скоростей 11 уз. наименьших затрат мощности ГД. Этот выигрыш не компенсируется за счет применения ВГ в одновальных вариантах В и Г, хотя в процентном отношении их отставание в эффективности за счет ВГ несколько уменьшается.

Также следует отметить, что варианты с винтами в направляющих насадках Б и Г показали

значительное превосходство над, соответственно, вариантами А и В с открытыми винтами. Это объясняется особенностями работы тяжело нагруженных гребных винтов на судах рассматриваемого типа. Совокупное применение ВРШ в направляющей насадке и ВГ позволяет варианту Г по топливной эффективности занимать 2-е место.

В целом, учитывая уровень точности расчетов на настоящем этапе, можно считать, что варианты Г и А по топливной эффективности равноценны.

Качественный анализ результатов выполненной проработки свидетельствует о том, что наибольшее влияние на топливную эффективность проектируемого судна оказывает тип движителя, а в рамках одного типа – площадь живого сечения $A_o = \pi D_p^2 / 4$, от которой зависит степень нагрузки. Так, величина A_o при переходе от двухвального **варианта Б** к одновальному **варианту Г** уменьшается от 9,81 м² до 6,60 м² (на 32,7%), при этом пропульсивная мощность при 11 узлов возрастает с 1478 кВт до 1735 кВт (на 17,4%).

По этой причине для повышения топливной эффективности рекомендуется применять винты в насадках, а также выполнить проектные работы, направленные на увеличение диаметра гребного винта, независимо от того, какой вариант пропульсивного комплекса будет выбран. Однако для судна данного типа основная сложность установки винтов повышенного диаметра связана с необходимостью исключить подсос воздуха при ходе в балласте.

На проекте RST54 движение и управляемость судна обеспечивается двумя кормовыми полноповоротными ВРК с винтами фиксированного шага диаметром 1900 мм в насадках. Привод к ВРК от главных дизелей осуществляется через механическую Z-передачу.

На судне устанавливаются 10 главных водонепроницаемых поперечных переборок, разделяющих корпус на 11 непроницаемых отсеков.

Перевозка нефтеналивных грузов с ограничением по температуре вспышки паров выше 60°С осуществляется в десяти грузовых танках вместимостью 5446 м³ и двух отстойных танков вместимостью 207 м³. Все танки отделены от наружной обшивки при помощи двойного дна и двойных бортов. Размеры двойных конструкций отвечают требованиям международной конвенции МАРПОЛ 73/78.

Для перевозки сухих грузов, не боящихся подмочки (металл, щебень, контейнеры и т.п.) используется грузовое пространство на главной палубе, имеющее ограждение высотой 2,0 м.

В качестве основного груза предусмотрена перевозка 4700 т щебня.

Перевозка контейнеров осуществляется в два яруса. Предусматривается размещение тяжелых 120 TEU массой по 36 тонн, которые нельзя перевозить автопоездами. Электростанция судна позволяет также перевозить 45 рефрижераторных контейнеров.

Предусмотрена также возможность установки на судне специальных съемных кассет, образующих дополнительно две автомобильные палубы. Погрузка/выгрузка автомобилей осуществляется своим ходом при помощи береговых аппарелей. Количество перевозимых автомобилей зависит от их габаритных размеров (от 350 до 270 единиц).

При перевозке контейнеров сосредоточенная нагрузка равна:

- 24 т – для 1 яруса 20 – футовых контейнеров (TEU);

- 30,5 т – для 1 яруса 40 – футовых контейнеров (FEU).

Для обеспечения восприятия заданной нагрузки в грузовой зоне в плоскости днищевых стрингеров и карлингсов на судне установлены пиллерсы и раскосные фермы (Рис. 7).

Главная палуба, вторые борта, продольная переборка в ДП, днище и второе дно выполняются по продольной системе набора, в оконечностях и машинном отделении – по поперечной системе набора.

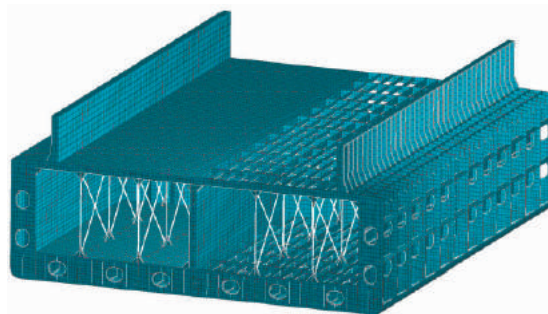


Рис.7. Расчетная модель судна проекта RST54

Настил главной палубы внутри грузовой площадки рассчитан на интенсивность распределенной нагрузки

Схема деформированного состояния конструкции при загрузке грузовой площадки представлена на Рис. 8, при загрузке наливным грузом – на Рис. 9.

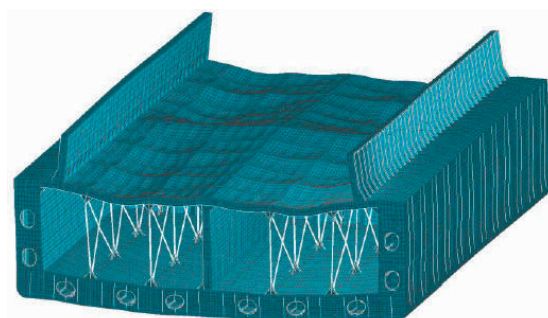


Рис.8. Деформированное состояние конструкции при перевозке сухого груза в бункере на палубе

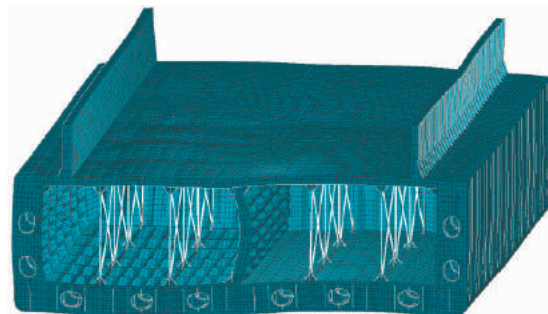


Рис.9. Деформированное состояние конструкции при перевозке наливного груза

Проверка общей продольной прочности показала, что:

- нормальные напряжения в связях палубы в средней части составляют 163,3 МПа или 90,7% от допускаемых напряжений;

- наибольшие нормальные напряжения в связях палубы в сечении по шп. 33 составляют 177,8 МПа или 98,5% от допускаемых напряжений;

- наибольшие нормальные напряжения в связях днища составляют 178,1 МПа или 98,7% от допускаемых напряжений;

- касательные напряжения на уровне нейтральной оси эквивалентного бруса составили 57,3 МПа или 55,7 % от допускаемых напряжений;

- прочность нового корпуса судна пр. RST54 по предельному моменту в условиях класса «М-ПР 2.5» удовлетворяет требованиям Правил РРР с 12,6% запасом;

- требования Правил в условиях класса «М-ПР 2.5» в конце срока службы корпуса, выполнены с 0,9 % запасом.

Прочность продольного и поперечного набора корпуса в районе грузовой зоны при загрузках как сухим грузом, так и наливом обеспечивается с заметным запасом.

Остойчивость судна во всех эксплуатационных случаях загрузки удовлетворяет требованиям правил классификационного общества.

В качестве главных двигателей используются два среднеоборотных дизеля мощностью по 1200 кВт, работающие на тяжелом топливе вязкостью IFO380. Подруливающее устройство – 230 кВт. Скорость при осадке 3,60 м и 85% МДМ составляет 11,0 узлов.

Электростанция состоит из трех дизель-генераторов электрической мощностью по 296 кВт и аварийного дизель-генератора электрической мощностью 62 кВт.

Управление судном, главной энергетической установкой, ВРК и подруливающим устройством, радионавигационными средствами и др. осуществляется из центрального объединенного пульта управления в рулевой рубке.

Грузовая система обеспечивает закрытый прием груза береговыми средствами и выдачу груза судовыми погружными насосами. Манифольды, обеспечивающие прием и выдачу груза

на оба борта, расположены в средней и кормовой частях грузовой зоны. Трубы грузовой системы проложены вдоль наружной стенки сухогрузного бункера. Максимальная интенсивность погрузки каждого грузового танка и отстойных танков составляет 600 м³/ч. Суммарная интенсивность погрузки танкера составляет 1200 м³/ч.

Система подогрева обслуживается двумя паровыми котлами производительностью 2,5 т/ч и обеспечивает поддержание температуры перевозимого груза во время рейса 60°C (при температуре наружного воздуха -10°C), а также подогрев груза от 50°C до 60°C за 36 часов.

Созданный как научный результат исследований по Федеральной целевой программе «Развитие гражданской морской техники» 2009-2016 годов концепт RST54 на базе RST27 «сверхполного» судна смешанного река-море плавания оказал заметное влияние как на отечественное судостроение, так и на отечественный водный транспорт в целом.

По сути, этот концепт явился научным базисом для новой тенденции развития российской воднотранспортной отрасли по «расширению» узких мест за счет новых технических решений.

Другими словами, происходит увеличение провозоспособности за счет максимального использования фактических путевых условий (максимально возможные длина, ширина судна), а главное – за счет экстремально полных обводов, ранее не применявшихся в мировой практике.

Комбинированные танкера-площадки проекта RST54:

- обеспечивают загрузку в обе стороны (нефтеналив – в одну и сухогрузы – в обратную);

- позволяют снизить нагрузку на автодороги за счет перевозки 200-280 легковых автомобилей, которые обычно из района Санкт-Петербурга в центральную Россию везут на грузовиках – автомобилевозах (Рис. 10, 11);

- обеспечивают перевозку 120 контейнеров с массами до 36 тонн, которые недопустимы для транспортировки автопоездами по условиям максимальной нагрузки на трассах, в том числе до 45 рефрижераторных контейнеров.

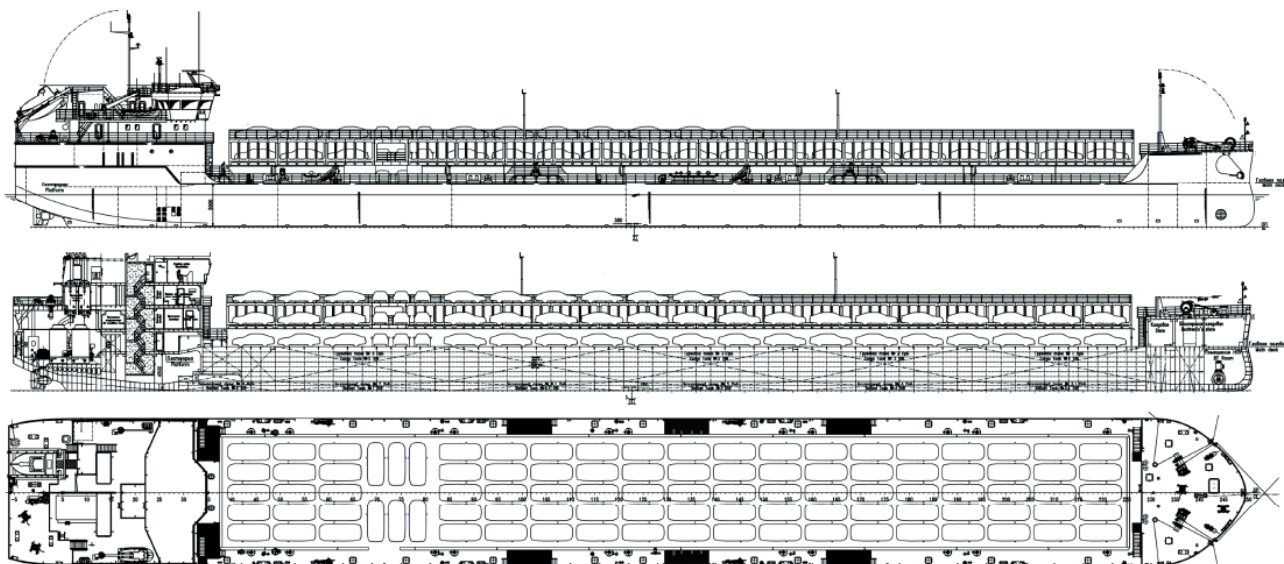


Рис.10. План размещения и способы погрузки легковых автомобилей на судно проекта RST54

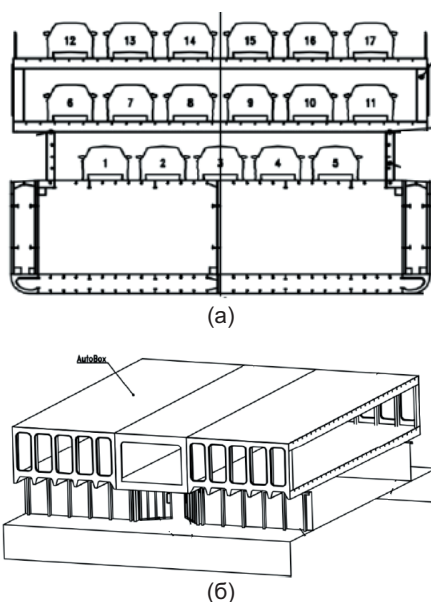


Рис.11. Пример перевозки навалочного груза на комбинированном судне проекта RST54

Суда рассмотренного концептуального проекта строились на Окской судовой верфи (см. Таблицу 3, Рис 12).



Рис.12. Перевозка навалочного груза на комбинированном судне проекта RST54

Таблица 3

Хронология строительства серии комбинированных судов проекта RST54

Название	Строительный номер	Дата закладки	Дата сдачи
Балт Флот 1	5401	16.12.13	22.10.14
Балт Флот 2	5402	24.01.14	27.04.15
Балт Флот 3	5403	05.03.14	27.04.15
Волга-Флот 10	5404	10.04.14	27.11.15
Балт Флот 4	5405	28.05.14	26.04.16
Балт Флот 5	5406	28.08.14	01.06.16
Балт Флот 6	5407	28.11.14	11.07.16

Заключение

Результаты эксплуатации судов серии проекта RST54, построенных на навашином заводе «Окская судовой верфь», полностью подтвердили принятые при разработке концепции новые решения.

Принципиальной особенностью нового концепта «Волго-Дон макс» класса является «расширение» узких мест внутреннего водного транспорта за счет новых технических решений. Другими словами, происходит увеличение провозоспособности за счет максимального использования фактических путевых условий (максимально возможные длина, ширина судна), а главное – за счет экстремально полных обводов, ранее не применявшихся в мировой практике.

Применение комбинированных судов (в 2015-2016 годах построено 7 судов) обеспечивает загрузку в обе стороны (нефтеналивные грузы – в одну и сухогрузы – в обратную), при этом позволяет снизить нагрузку на автодороги – за счет перевозки легковых автомобилей, которые обычно из района Санкт-Петербурга в центральную Россию везут на грузовиках-автомобилевозах, перевозки контейнеров с массами, не допустимыми для транспортировки автопоездами по условиям максимальной нагрузки на трассах.

Литература

1. Багаутдинов Р.Д., Егоров Г.В. Концепция танкеров смешанного плавания нового поколения // Морская Биржа. - 2012. - №2 (40). - С. 22-35.
2. Егоров Г.В. О возможности создания судна смешанного река-море плавания с предельно высоким коэффициентом общей полноты // Труды Крыловского государственного научного центра. - 2013. - №3 (2013). - С. 6-14.
3. Егоров Г.В. «Линейка» танкеров смешанного река-море плавания Морского Инженерного Бюро // Морская Биржа. - 2014. - №3 (48). - С. 28-35.
4. Егоров Г.В., Тонюк В.И., Станков Б.Н., Печенюк А.А. Оптимизация обводов судна смешанного плавания класса «Волго-Дон макс» // Морской вестник. - 2012. - №1 (41). - С. 71-77.
5. Егоров Г.В. Проектирование судов ограниченных районов плавания на основании теории риска. - СПб: Судостроение, 2007. - 384 с.
6. Егоров Г.В. Суда внутреннего, смешанного река-море и каботажного плавания для перевозки негабаритных и тяжеловесных грузов // Морская Биржа. - 2015. - №3(53). - С. 22-31.

References

1. Bagautdinov R.D., Egorov G.V. Konceptsiya tankerov smeshannogo plavaniya novogo pokoleniya // Morskaya Birzha. - 2012. - №2 (40). - S. 22-35.
2. Egorov G.V. O vozmozhnosti sozdaniya sudna smeshannogo reka-more plavaniya s predel'no vysokim koeffitsientom obshchej polnoty // Trudy Krylovskogo gosudarstvennogo nauchnogo centra. - 2013. - №3 (2013). - S. 6-14.
3. Egorov G.V. «Linejka» tankerov smeshannogo reka-more plavaniya Morskogo Inzhenernogo Byuro // Morskaya Birzha. - 2014. - №3 (48). - S. 28-35.
4. Egorov G.V., Tonyuk V.I., Stankov B.N., Pechenyuk A.A. Optimizaciya obvodov sudna smeshannogo plavaniya klassa «Volgo-Don maks» // Morskoj vestnik. - 2012. - №1 (41). - S. 71-77.
5. Egorov G.V. Proektirovanie sudov ogranichennyh rajonov plavaniya na osnovanii teorii riska. - SPb: Sudostroenie, 2007. - 384 s.
6. Egorov G.V. Suda vnutrennego, smeshannogo reka-more i kabotazhnogo plavaniya dlya perevozki negabaritnyh i tyazhelovesnyh грузов // Morskaya Birzha. - 2015. - №3(53). - S. 22-31.

УДК 629.12.001.24:681.32

НАХОЖДЕНИЕ ФУНКЦИИ ПОЛЕЗНОСТИ И ЕЕ ПРИМЕНЕНИЕ В СОСТАВЕ КРИТЕРИЯ ОПТИМАЛЬНОСТИ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ПРОЕКТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МНОГОЦЕЛЕВОГО СУДНА ЛЕДОВОГО ПЛАВАНИЯ

Сергей Алексеевич Огай

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

Совокупность задач при определении оптимальных характеристик многоцелевого судна ледового плавания в процессе его проектировании включает формулирование адекватного критерия оптимальности, который отражал бы предпочтения инвестора, осуществляющего финансирование постройки судна. В процессе формулирования критерия оптимальности судна на этапе его проектирования решаются задачи: совмещение в определенном пропорциональном соотношении в составе функции полезности судна ее независимых компонентов, таких как качества в условиях ледовой навигации размера судна или мощности силовой установки и характеристики эффекта по его остальным функциям судна, а также определение проектных ограничений, соответствующих функции полезности в указанной форме, и нахождение штрафных поправок к оценкам критерия оптимальности, когда в ограничение выводятся характеристики размера судна или мощности, зависящие от финансового ограничения по размеру инвестиций. Системное оп-

ределение функции полезности используется для формулирования целевой функции и для разработки математической модели при определении оптимальных проектных характеристик многоцелевого судна ледового плавания.

Ключевые слова: судно ледового плавания, многоцелевое судно, проектная оптимизация, характеристика судна, подсистема судна, проектный элемент, проектное ограничение, критерий оптимальности, целевая функция

THE FUNCTION OF UTILITY AND IT USE IN THE OBJECTIVE FUNCTION FOR THE DETERMINING OF PROJECT CHARACTERISTICS OF MULTIPURPOSE SHIP FOR FROZEN SEAS

Sergei Alexeevich Ogai

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

In the aggregate of the tasks in determining of optimal design characteristics of multipurpose ice navigation ship there is the formulation of the adequate criterion of optimality that refers the preferences of investor financing the construction of the ship. In the process of ship designing in the defining of optimality criterion the tasks are decided: the combination in the specific proportional ratio in the composition the ship utility function of the independent components of the ship sizes and engines power, such as ship properties in an ice navigation, and the effect characteristics of the rest functions of the ship, and the definition of the design constraints corresponding in the definite form to the utility function, and the finding of the amendments to the used optimality criterion when ship characteristics of size or power are determined as the constraints depending on the investment constraint. The systemic definition of utility function is used for formulating of the objective function and for developing of the mathematical model for determining of optimal design characteristics of the multipurpose ice navigation ship.

Key words: ice-navigation ship, multipurpose ship, design optimization, ship characteristics, ship subsystem, project particular, project constraint, optimality criterion, objective function

Введение

Развитие современного судостроения в тех юрисдикциях, для которых серийная постройка судов не была характерна ранее, требует нахождения собственных экономических ориентиров и нового спроса. В Российской Федерации и в некоторых других странах, таких, как Канада, США, Норвегия, Дания и др. перспективным направлением может служить создание судов для использования в Арктических и замерзающих морях в соответствии с федеральными программами, в частности, с Государственной программой Российской Федерации «Развитие судостроения на 2013 – 2030 годы» [3] или со Стратегией развития судостроительной промышленности на период до 2020 года и на дальнейшую перспективу [6].

Можно привести примеры новых судов этого типа и их проектов, которые выступают объектом в данной работе по вопросам усовершенствования методологии определения характеристик на начальных этапах проектирования. Ледокол по проекту № 22600 (ЛК–25, «Виктор Черномырдин», Рис. 1) с дизель–электрической энергоустановкой разработан в проектном бюро ООО «Петробалт». Судно построено на предприятии ООО «Балтийский завод – Судостроение» в Санкт–Петербурге. Характеристики и элементы судна: водоизмещение при осадке по грузовую марку 22258 т; длина расчетная (по ватерлинии) 146,8 м; ширина 29 м; осадка наибольшая 9,5 м; максимальная скорость 17 узлов; мощность силовой установки 25 тыс. кВт. Судно способно преодолевать сплошной лед толщиной до 1,5 м.



Рис. 1. Ледокол по проекту № 22600 (www.korabli.eu)

Ледоколы по проекту № 22600М (ЛК–25, «Владивосток» и «Мурманск», Рис. 2), разработанному в Центральном конструкторском бюро «Балтсудопроект», ФГУП, построены на предприятии ПАО «Выборгский судостроительный завод» и на предприятии Arctech Helsinki Shipyard, Inc. Характеристики и элементы судна равны: водоизмещение при осадке по грузовую марку 14000 т, расчетная длина 119,4 м, ширина 27,5 м, осадка 8,5 м, максимальная скорость 17 узлов, мощность силовой установки 17,4 тыс. кВт.

Многоцелевые суда ледового класса: «Витус Беринг» (Рис. 3) и «Алексей Чириков» для судовой компании «Современный коммерческий флот», Публичное акционерное общество («Совкомфлот», ПАО) построены на предприятиях: «Выборгский судостроительный завод», ПАО и Arctech Helsinki Shipyard, Inc. по проекту № R–70201, выполненному Aker Arctic Technology, Inc.



Рис. 2. Ледокол по проекту № 22600М (www.rosmorport.ru)



(а)



(б)

Рис. 3. Многоцелевое судно ледового класса по проекту № R–70201 («Совкомфлот», ПАО, <http://www.scf-group.com/>)

Характеристики и элементы многоцелевого судна по проекту № R–70201: водоизмещение при осадке по грузовую марку 10700 т; расчетная длина 99,9 м; ширина 22 м; осадка наибольшая 7,9 м; максимальная скорость 16 узлов; мощность силовой установки 13 тыс. кВт. Суда по проекту № R–70201 способны преодолевать сплошной лед толщиной до 1,7 м.

Новые ледоколы, в том числе, проектируемые, в той или иной степени практически соответствуют понятию многоцелевого судна, если дополнительно пригодны для доставки пассажиров и грузов, что видно по схемам общего вида судов (Рис. 1 – 3), а также, для выполнения технических или спасательных работ, генерирования и передачи энергии и для других целей в Арктических и замерзающих морях.

Обладая мореходными качествами в ледовых условиях, суда различного назначения могут часть времени использоваться в незамерзающих морях, а часть времени в ледовых условиях в зависимости от географической широты и сезонности. Совмещение функций судна, имеющего ледовый класс, таких, как навигация в замерзающих морях и в умеренных широтах, может встречать экономические противоречия. В этой связи возникает специфическая проектная задача выбора из двух предпочтений: постройка многоцелевых судов ледового плавания или постройка совокупности специализированных судов, например, ледокола и обслуживаемых ледоколом судов, не имеющих ледового класса или имеющих незначительный класс.

1. Выбор варианта функции полезности в составе критерия оптимальности многоцелевого судна ледового плавания

Совокупности задач при определении оптимальных характеристик многоцелевого судна ледового плавания в процессе его проектировании включают формулирование адекватного критерия оптимальности, который отражал бы предпочтение инвестора, осуществляющего финансирование постройки судна. Этот критерий охватывает как затраты и иные издержки, связанные с постройкой и вводом судна в эксплуатацию, так и положительный эффект, характеризующийся функцией полезности судна.

Формулирование функций полезности имеет вполне очевидный характер для гражданских судов основных классов, таких как транспортные или промысловые суда и др., а функция полезности многоцелевого судна ледового плавания может иметь существенные методологические отличия.

С учетом двойственности или множественности функций по назначению судна ледового плавания, включая форсирование ледового поля и навигационное обслуживание в ледовых условиях других судов, не имеющих достаточной ледовой категории, полезный эффект в условиях ледовой навигации можно было бы оценить как транспортными характеристиками судна, так и качеством его размера этого, а также, и механизмов и источников энергии, что в общей форме характеризует способности многоцелевого судна ледового плавания предоставлять навигационное обслуживание судам, не имеющим достаточной ледовой категории.

Для оценки эффективности вариантов многоцелевого судна ледового плавания на начальных

этапах проектирования при варьировании той или иной проектной характеристики, с системной точки зрения нужно критерий приведенных затрат PW оценивать не по абсолютной, а по удельной величине, – в расчете на единицу функции полезности судна, другими словами, эффекта (или полезного эффекта).

Независимыми вариантами характеристики полезности многоцелевого судна ледового плавания могут быть:

- характеристика транспортной функции судна Q_G (годовой провозоспособности) в единицах массы груза, кубатуры или в укрупненных унифицированных единицах;

- характеристика размера судна, которая показывает его пригодность для выполнения служебно-вспомогательных функций, навигационного обслуживания в условиях замерзающих морей иных судов, не имеющих ледовой категории, пригодность для несения на борту специального оборудования, предназначенного для выполнения тех или иных функций в замерзающих морях, то есть, характеристика из числа: водоизмещение судна в грузу D , проектный дедвейт DW , грузоподъемность PG , регистровая вместимость (валовая GRT или чистая NRT) и др., а также, та или иная характеристика судовых источников энергии или механизмов: эффективная мощность N_e , потребная мощность во льдах N_{ICE} , суммарная мощность судовой силовой установки NP и т.д.

Нужно заметить, что названные и другие характеристики размера судна, а также, характеристики судовых источников энергии являются взаимозависимыми и находятся в балансовых отношениях [8].

Другая особенность состоит в том, что оба варианта функции полезности означают эффект в единицу времени, то есть, в год, хотя это не так видно во втором варианте при использовании характеристики размера судна в качестве показателя полезности. Тем не менее, пригодность судна для выполнения служебно-вспомогательных функций, для навигационного обслуживания других судов в условиях замерзающих морей и для несения на борту специального оборудования, предназначенного для выполнения тех или иных функций в замерзающих морях характеризует эти возможности в течение года, так как к эффекту в данном случае отнесен показатель приведенных затрат PW по абсолютной величине

$$PW = C - CD + i \times RC, \quad (1)$$

где C – годовые эксплуатационные расходы (операционные расходы); CD – годовая экономия бюджетных расходов при выполнении корпоративных заказов, годовой внебюджетный доход; i – суммарные инвестиционные риски, ставка дисконтирования; RC – инвестиции в создание инновационного судна. Все указанные слагаемые (кроме макроэкономического показателя инвестиционных рисков i), а также результирующий показатель приведенных затрат PW , как и показатели эффекта (в обоих приведенных выше ва-

риантах) на начальных этапах проектирования судна выступают функциональными зависимостями от искомым характеристик судна и от проектных ограничений: исходных данных (характеристик более общей системы, подсистемой, которой выступает судно) и параметров (элементов проектируемого судна, то есть, характеристик его подсистем).

Особое внимание нужно обратить на то, что на начальных этапах проектирования многоцелевого судна ледового плавания характеристики его размера, например, проектный дедвейт DW или иные характеристики размера могут выступать как в качестве функции полезности для нахождения

критерия эффективности по удельной величине, так и в качестве искомым проектных характеристик.

На графиках представлены зависимости критерия эффективности в форме удельных приведенных затрат в расчете на единицу функции полезности, в качестве которой рассматривается годовая провозоспособность судна (Рис. 4, а) и проектный дедвейт многоцелевого судна ледового плавания (Рис. 4, б), а также зависимость приведенных затрат по абсолютной величине (Рис. 4, в) от задаваемой наибольшей толщины сплошного форсируемого льда h и от размера судна по оценке проектного дедвейта DW .

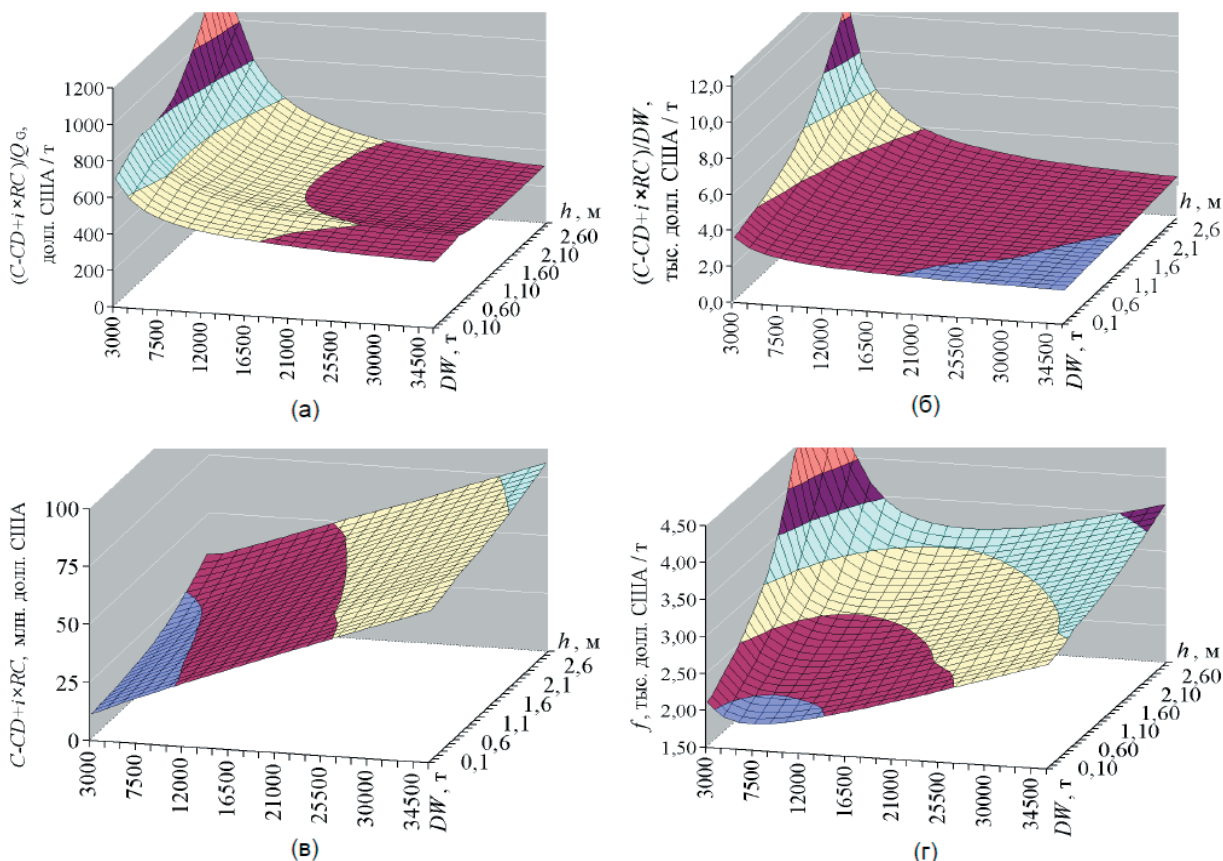


Рис. 4. Зависимость целевой функции от размера многоцелевого судна ледового плавания по характеристике его проектного дедвейта DW и от проектного ограничения по толщине форсируемого сплошного ледового поля h :

- (а) удельных приведенных затрат в расчете на единицу транспортной функции (PW / Q_G);
- (б) удельных приведенных затрат в расчете на единицу размера судна (PW / DW);
- (в) приведенных затрат PW по абсолютной величине (в расчете на год);
- (г) удельных приведенных затрат в расчете на единицу размера судна (PW / DW) с учетом заданного ограничения по размеру субсидий $RC^* = 500$ млн. долл. США в форме проектного дедвейта $DW^* = 16270$ т

Анализ графиков (Рис. 4, а, б) показывает односторонний характер критерия эффективности для обоих рассмотренных вариантов функции полезности: (PW / Q_G) и (PW / DW) . Односторонний характер означает предпочтительность судна наибольшего размера (наибольшего проектного дедвейта DW), в связи с тем, что указанные критерии недостаточно отражают влияние ограничения по размеру субсидий в постройку RC^* , которое связано с проектным ограничением

размера судна, например, по оценке его проектный дедвейта DW^* .

В определенной мере, ограничение по размеру субсидий в постройку RC^* относительно, так как помимо бюджетных субсидий имеется возможность использовать внебюджетные, доступные под процент, соразмерный с коммерческими рисками и со ставкой дисконтирования i .

По причине сходной в общем оценки наибольшего размера судна по критерию удельных приведенных затрат в обоих рассмотренных ва-

риантах функции полезности в дальнейшем можно было бы применять один из этих критериев, например, в форме приведенных затрат на единицу размера судна (PW/DW) с функцией полезности, в качестве которой мог бы рассматриваться проектный дедвейт DW , что больше соответствовало бы оценке вспомогательных функций судна в условиях ледовой навигации, хотя, с другой стороны, размер судна связан и с оценкой

его транспортной функции по размеру годового грузопотока, что для многоцелевого судна ледового плавания показано в проекциях графике (Рис. 5, а, б) зависимости отношения годовой провозоспособности к размеру судна (Q_G/DW) по характеристике его проектного дедвейта DW и от проектного ограничения по толщине форсируемого сплошного ледового поля h .

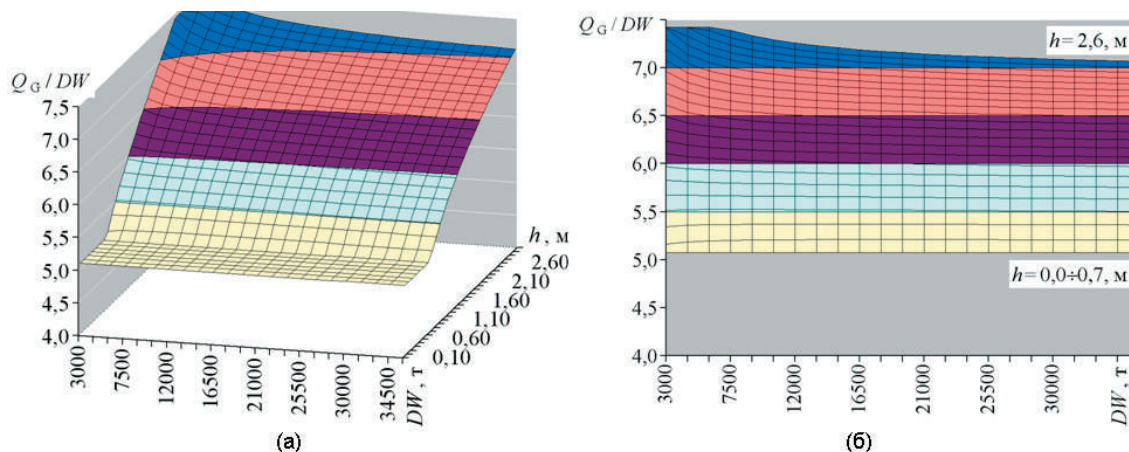


Рис. 5. Зависимость отношения годовой провозоспособности к размеру судна (Q_G/DW) по характеристике его проектного дедвейта DW от этого размера судна и от проектного ограничения по толщине форсируемого сплошного ледового поля h

Анализ графической зависимости отношения годовой провозоспособности к размеру судна (Q_G/DW) по характеристике его проектного дедвейта DW от размера судна и от проектного ограничения по толщине форсируемого сплошного ледового поля h показывает, что в целом указанное отношение годовой провозоспособности к размеру многоцелевого судна ледового плавания довольно устойчиво в интервале значений этого размера и зависит от проектного ограничения по толщине форсируемого сплошного ледового поля h . Это говорит о том, что годовую провозоспособность судна Q_G для каждого заданного проектного ограничения по толщине сплошного льда h можно на начальных этапах проектирования считать пропорциональной размеру судна DW в широком интервале варьирования этого размера, что подтверждает взаимозаменяемость вариантов функции полезности многоцелевого судна ледового плавания, в качестве которой может применяться как транспортная функция судна, так и служебно-вспомогательная функция в ледовых условиях других судов, а указанная возможная замена одной из этих функций полезности на другую не приводит к изменению результатов определения оптимального размера судна, соответствующему минимальному удельному значению целевой функции.

2. Учет проектных ограничений в форме корректировки к целевой функции

При формулировании критерия оптимальности на начальных этапах проектирования многоцелевого судна ледового плавания помимо нахо-

ждения функции полезности с учетом, как качества размера судна в условиях ледовой навигации или связанных с размером судна значений мощности силовой установки, так и показателя провозоспособности, нужно, также определение проектных ограничений и штрафных поправок к оценкам критерия оптимальности, когда, например, в ограничение выводятся характеристики размера судна или мощности, зависящие от финансового ограничения по размеру инвестиций.

Финансовым ограничением выступают предусмотренные для создания и продуктивного использования многоцелевого судна ледового плавания субсидии RC^* , соответствующие зависимому от размера субсидий проектному дедвейту DW^* . Можно преобразовать финансовое ограничение [9] по размеру инвестиций в постройку многоцелевого судна ледового плавания RC^* к оценке ограничения проектного дедвейта DW^* , зависящего от размера инвестированных средств

$$DW^* \approx 30,96 \times RC^* + 789,5, \text{ т} \quad (2)$$

Предположение о федеральной собственности в отношении судна, или совместной собственности при условии федерального контроля означает субсидирование постройки судна и эксплуатационного обслуживания за счет федеральных субсидий.

В отношении финансового ограничения при инвестировании нужно пояснить, что целями создания судов для Арктики или для морей в иных малонаселенных регионах с суровым климатом могут служить такие, как социально-

экономическое и промышленное развитие этих регионов и судоходства в этих морях, так и перспективные задачи по созданию и усовершенствованию национального судостроения, которое на этапах формирования нуждается в особых экономических условиях, например, в нахождении спроса на продукцию, которая не освоена крупным серийным судостроением. Этот специфический сектор рыночного спроса могут составлять суда ледового плавания для Арктических и замерзающих морей, постройка, которых, должна субсидироваться из бюджета. К слову, это субсидирование нужно не только для постройки судов ледового плавания, но и для их ввода в эксплуатацию, что потребует дополнительные субсидии в пополнение оборотных средств, а также, бюджетное субсидирование потребует в процессе эксплуатации судов ледового плавания для финансирования эксплуатационных расходов в указанных выше социально-экономических и промышленных целях.

Субсидирование в пополнение оборотных средств для судна на начальных этапах проектирования можно оценивать в зависимости от текущих расходов и от характерной длительности периода между оплатами этих расходов. При финансировании годовых эксплуатационных расходов с учетом определенной их экономии, соответствующей внебюджетному доходу, при квартальной периодичности платежей, необходимые для ввода построенного судна в эксплуатацию оборотные средства должны быть равны приблизительно одной четверти от годового размера платежей по эксплуатационным расходам, хотя платежи могут осуществляться и ежемесячно, и даже дважды в месяц, то есть, имеются возможности минимизации необходимого запаса оборотных средств до разумной суммы, намного меньшей, чем инвестиции в постройку судна RC^* .

Кроме этого, к соразмерному виду с инвестициями в постройку судна RC^* можно привести годовой поток по субсидируемым текущим расходам $(C - CD)$. Для приведения текущих стоимостных показателей к соразмерному виду с единовременными показателями может использоваться коэффициент, обратный суммарному показателю коммерческих рисков, то есть, к ставке дисконтирования $(1/i)$, что известно в экономике.

В то же время, при определении финансового ограничения RC^* субсидий в постройку судна не нужно к общему размеру выделенных финансовых средств вносить поправку в размере текущей стоимости (единовременной стоимости) потока годовых эксплуатационных расходов, поскольку используемый экономический критерий приведенных затрат PW как раз означает учет как потока затрат $(C - CD)$, так и единовременных инвестиций, которые приведены к соразмерному виду с потоком эксплуатационных затрат: $i \times RC$.

На начальных этапах проектирования многоцелевого судна ледового плавания финансовое ограничение в известной степени условно, поскольку дополнительно к субсидиям можно при-

влекать средства из других источников по соответствующей стоимости капитала, то есть, под разумный процент выплат годовых, соотносимый, в подобных оценках с суммой инвестиционных рисков, то есть, со ставкой дисконтирования i . Другими словами, дополнительные инвестиции, если они требуются, можно было бы привлечь к финансированию постройки и эксплуатационного обслуживания судна ледового плавания по стоимости капитала, соответствующей приведенным затратам, которые означают денежный поток (ежегодные затраты по ставке i , соответствующей сумме рисков), равноценный единовременным инвестициям на создание и ввод судна в эксплуатацию RC в сумме с ежегодными эксплуатационными затратами C , за вычетом экономии этих эксплуатационных затрат CD , при условии, что на эту сумму этой экономии в год будут оказываться внебюджетные услуги с использованием созданного судна

3. Обобщенный критерий для оптимизации проектных характеристик многоцелевого судна ледового плавания

При формировании критерия оптимальности судна на начальных этапах его проектирования решаются задачи: совмещение в определенном пропорциональном соотношении в составе функции полезности судна ее независимых компонентов, таких как качества размера судна и мощности его силовой установки в условиях ледовой навигации, и характеристики эффекта по оценке транспортной функции судна и, возможно, по его остальным функциям.

Для преобразования показателя приведенных затрат PW (Рис. 4, в) к соразмерному виду с показателем удельных приведенных затрат (PW / DW) (Рис. 4, б) можно в качестве масштабирующего делителя $(PW / DW * (RC^*))$ использовать ограничение размера судна, субсидируемого в постройке (2), по оценке его проектный дедвейта DW^* , зависящего от предусмотренных субсидий RC^* .

С другой стороны можно считать, что второй из частных критериев при их совмещении, то есть показатель приведенных затрат по абсолютной величине (PW / DW^*) , преобразованный в масштабе и размерности к сопоставимому виду с показателем удельных приведенных затрат, означает штрафную поправку к показателю удельных приведенных затрат (или премиальную поправку) за соответствие или несоответствие связанных с размером судна требуемых субсидий от предусмотренных в форме финансового ограничения RC^* . Целевая функция в форме удельных приведенных затрат (PW / DW) с учетом этой штрафной (или премиальной) поправки, определяемой по абсолютной величине $\Delta_{PW / DW}$ или по относительной $\delta_{PW / DW}$, имеет вид

$$f = PW / DW + \Delta_{PW / DW}$$

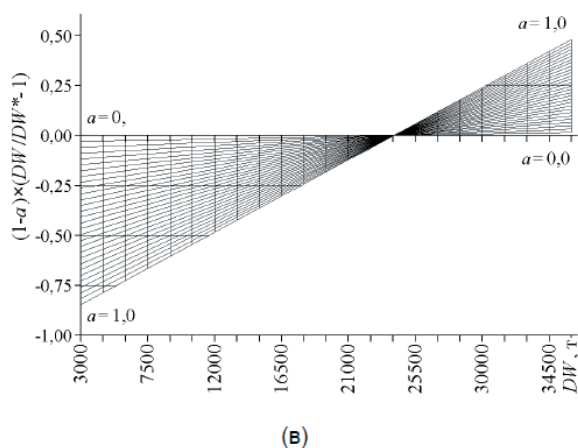
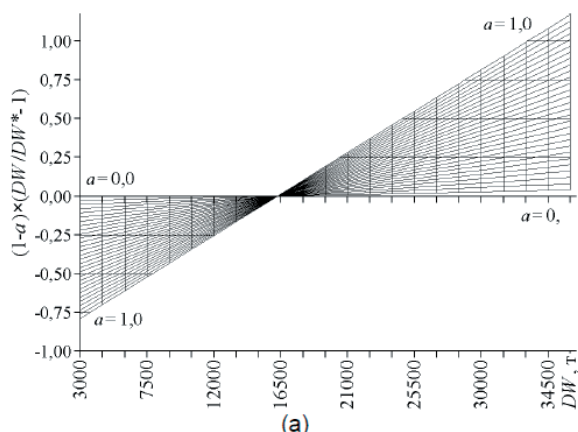
или $f = (PW / DW) \times (1 + \delta_{PW / DW})$ (3)

Соответственно, по абсолютной $\Delta_{PW / DW}$ и по относительной величине $\delta_{PW / DW}$ штрафная (или премиальная) поправка к целевой функции f равна

$\delta_{PW / DW} = (1 - a) \times (DW / DW^* - 1)$ и $\Delta_{PW / DW} = PW / DW \times (1 - a) \times (DW / DW^* - 1)$ (4)

По графику целевой функции f , в форме обобщенного минимизируемого критерия эффективности многоцелевого судна ледового плавания (Рис. 4, г) в расчете на единицу функции полезности, в качестве которой рассматривается проектный дедвейт многоцелевого судна ледового плавания, с учетом штрафной (или премиальной) поправки к целевой функции за соблюдение бюджетного ограничения субсидий в постройку, от проектного ограничения по толщине форсируемого сплошного ледового поля h и от размера судна по характеристике его проектного дедвейта DW для базового сочетания данных (Таблица 1, [8, с. 385]) можно определить область оптимальных значений размера многоцелевого судна ледового плавания.

4. Зависимость поправок к целевой



функции от инвестиционного ограничения и от коэффициента баланса удельных приведенных затрат в составе целевой функции

Графики поправок в зависимости от размера судна по оценке его проектного дедвейта DW и от коэффициента баланса a удельных приведенных затрат (PW / DW) в составе обобщенного критерия с инвестиционным ограничением $DW^*(RC^*)$, преобразованным к сопоставимому виду с удельными затратами (PW / DW^*) , для базового сочетания данных представлены в проекциях в зависимости от заданного финансового ограничения RC^* : по относительной величине $\delta_{PW / DW}$ (Рис. 6, а – г) и по абсолютной величине $\Delta_{PW / DW}$ (Рис. 7, а – г).

По графикам в проекциях поправок к целевой функции f видно, что в ограниченном интервале около заданного ограничения субсидий RC^* , которому соответствует ограничение размера судна DW^* , коэффициент баланса a удельных приведенных затрат (PW / DW) в составе обобщенного критерия с инвестиционным ограничением $DW^*(RC^*)$ практически не оказывает влияние на размер поправки к целевой функции.

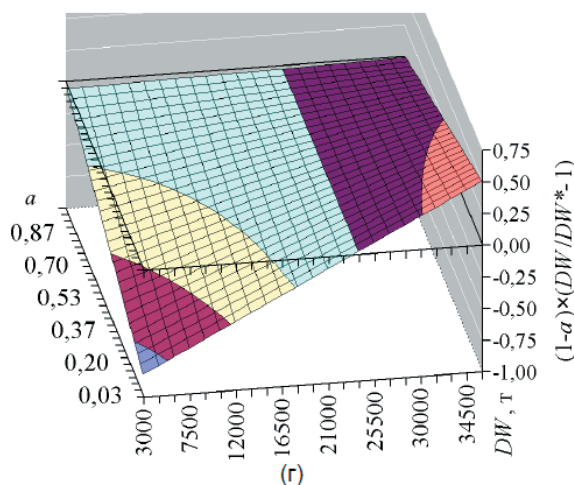
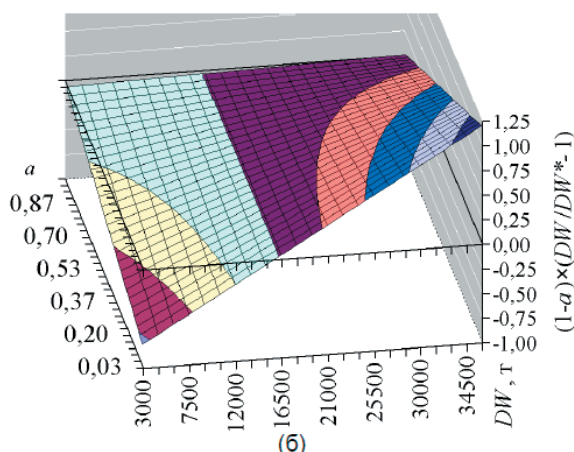


Рис. 6. Штрафная (или премиальная) поправка по относительной величине $\delta_{PW/DW}$ к целевой функции удельных приведенных затрат (PW / DW) в зависимости от размера судна по оценке его проектного дедвейта DW и от коэффициента баланса a удельных приведенных затрат (PW / DW) в составе обобщенного критерия с инвестиционным ограничением $DW * (RC^*)$, преобразованным к сопоставимому виду с удельными затратами (PW / DW^*), с учетом различия значений оцениваемого инвестиционного ограничения по размеру субсидий RC^* , представленного в форме проектного дедвейта DW^* : (а, б) ограничение $DW^*= 16270$ т при $RC^* = 500$ млн. долл. США; (в, г) $DW^*= 24010$ т при $RC^* = 750$ млн. долл. США

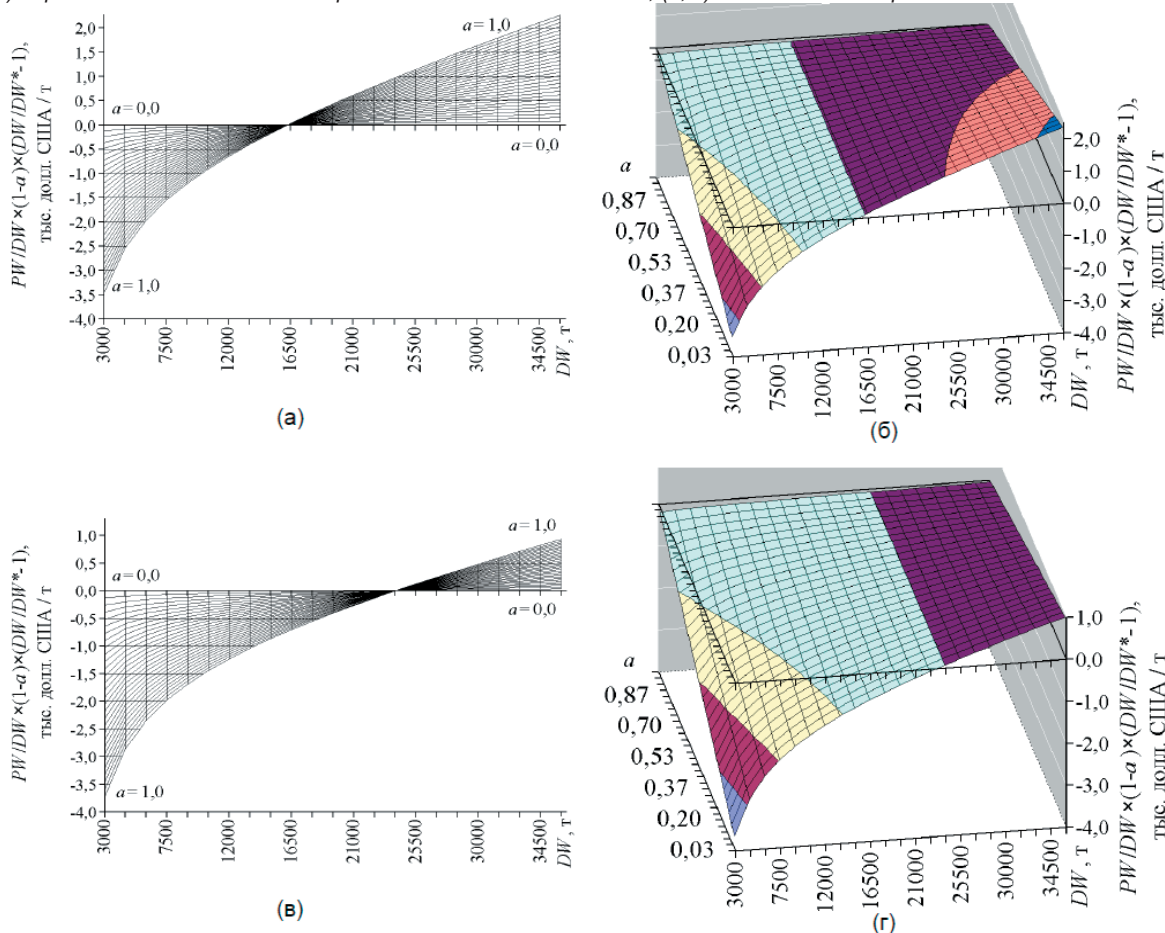


Рис. 7. Штрафная (или премиальная) поправка по абсолютной величине $\Delta_{PW/DW}$ к целевой функции удельных приведенных затрат (PW / DW) в зависимости от размера судна по оценке его проектного дедвейта DW и от коэффициента баланса a удельных приведенных затрат (PW / DW) в составе обобщенного критерия с инвестиционным ограничением $DW * (RC^*)$, преобразованным к сопоставимому виду с удельными затратами (PW / DW^*), с учетом различия значений оцениваемого инвестиционного ограничения по размеру субсидий RC^* , представленного в форме проектного дедвейта DW^* : (а, б) ограничение $DW^*= 16270$ т при $RC^* = 500$ млн. долл. США; (в, г) $DW^*= 24010$ т при $RC^* = 750$ млн. долл. США

По мере отступления от инвестиционного ограничения по размеру субсидий RC^* в форме проектного дедвейта DW^* поправка к целевой функции f , как по относительной величине $\delta_{PW/DW}$ (Рис. 6, а – г), так и по абсолютной величине $\Delta_{PW/DW}$ (Рис. 7, а – г) тем больше, чем меньше коэффициент баланса a удельных приведенных затрат (PW / DW) в составе обобщенного критерия с инвестиционным ограничением $DW * (RC^*)$.

5. Зависимость обобщенной целевой функции от размера судна и коэффициен-

та баланса удельных приведенных затрат в составе целевой функции

По графикам обобщенной целевой функции f (Рис. 8, а – г, Рис. 9, б, в) в проекциях зависимости от размера судна по оценке его проектного дедвейта DW и от коэффициента баланса a удельных приведенных затрат (PW / DW) в составе обобщенного критерия с инвестиционным ограничением $DW * (RC^*)$, преобразованным к сопоставимому виду с удельными затратами, видно, что значения оптимального размера судна (оптимальные значения проектного дедвейта DW), соответствующие минимальным значениям

целевой функции f на графиках, увеличиваются по мере увеличения коэффициента баланса a удельных приведенных затрат (PW/DW) в составе обобщенного критерия.

В то же время, в достаточно широком интервале значений коэффициента баланса a удельных приведенных затрат (PW/DW) в составе обобщенного критерия (в интервале значений коэффициента от 0,4 до 0,6 и даже в более широком интервале) значение обобщенной целевой

функции мало меняется как по мере варьирования проектного дедвейта, так и при варьировании коэффициента баланса a , что можно считать обоснованием рекомендации этого интервала значений коэффициента баланса a при обобщении критериев удельных приведенных затрат (PW/DW) и абсолютных приведенных затрат PW с учетом финансового ограничения RC^* .

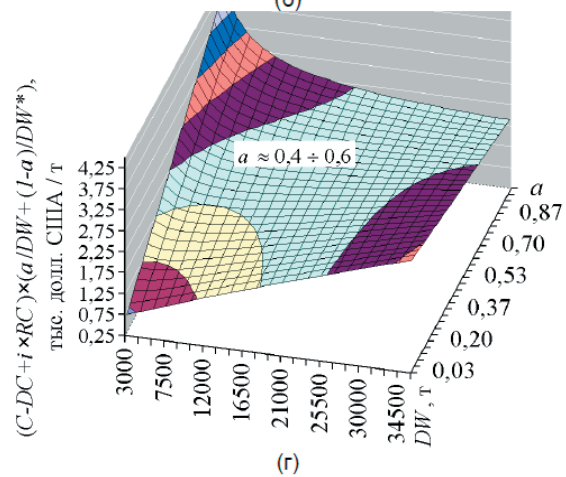
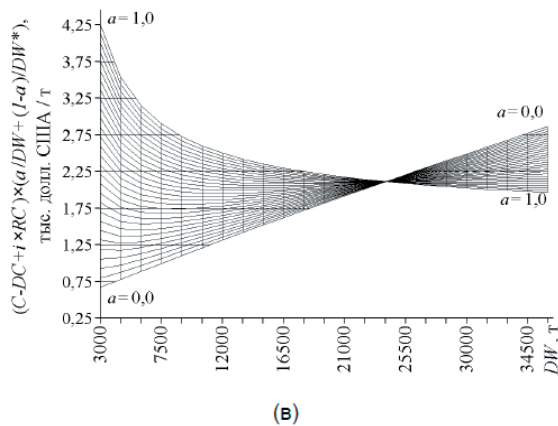
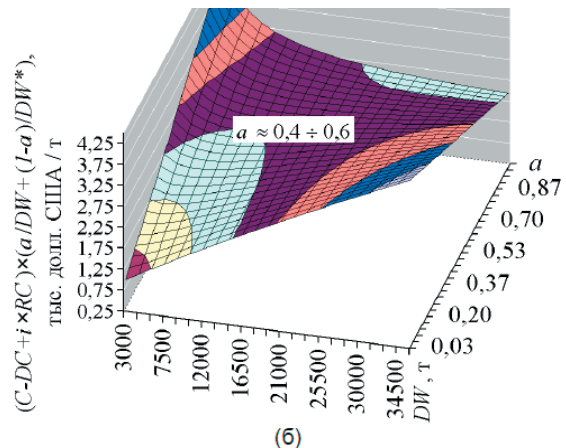
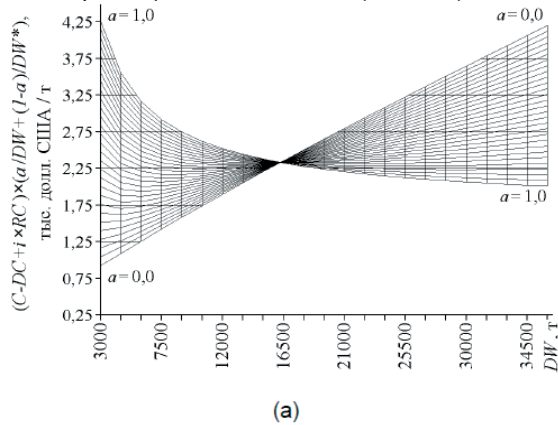


Рис. 8. Зависимость обобщенной целевой функции на основе удельных приведенных затрат (PW/DW) от размера судна по оценке его проектного дедвейта DW и от коэффициента баланса a удельных приведенных затрат (PW/DW) в составе обобщенного критерия с инвестиционным ограничением $DW^*(RC^*)$, преобразованным к сопоставимому виду с удельными затратами (PW/DW^*) , с учетом различия значений оцениваемого инвестиционного ограничения по размеру субсидий RC^* , представленного в форме проектного дедвейта DW^* : (а, б) ограничение $DW^* = 16270$ т при $RC^* = 500$ млн. долл. США; (в, г) $DW^* = 24010$ т при $RC^* = 750$ млн. долл. США

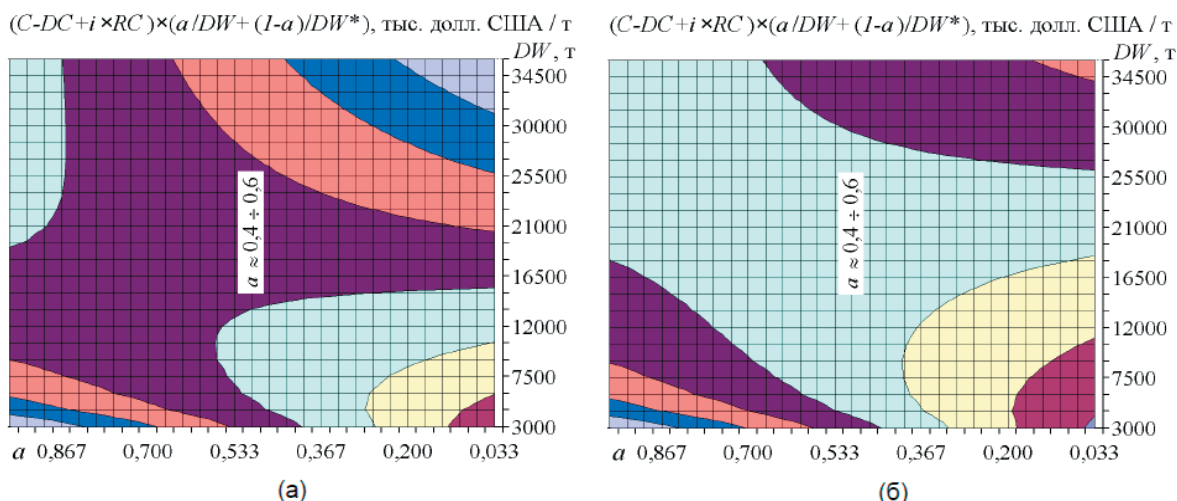


Рис. 9. Зависимость в форме проекции целевой функции на основе удельных приведенных затрат (PW / DW) от размера судна по оценке его проектного дедвейта DW и от коэффициента баланса a удельных приведенных затрат (PW / DW) в составе обобщенного критерия с инвестиционным ограничением $DW^*(RC^*)$, преобразованным к сопоставимому виду с удельными затратами (PW / DW^*), с учетом различия значений оцениваемого инвестиционного ограничения по размеру субсидий RC^* , представленного в форме проектного дедвейта DW^* : (а) ограничение $DW^*= 16270$ т при $RC^* = 500$ млн. долл. США; (б) ограничение $DW^*= 24010$ т при $RC^* = 750$ млн. долл. США

Выводы

1. Создание инновационных судоверфей в тех юрисдикциях, для которых судостроение не было характерной отраслью прежде, на этапе развития связано с выбором экономического сектора спроса, который не обеспечен предложением со стороны крупных судостроительных верфей, осуществляющих серийную постройку судов. В Северном полушарии имеется ряд государств, в которых планируется развитие судостроения, и есть спрос в отношении создания судов для эксплуатации в замерзающих морях.

2. При субсидировании постройки судов для Арктических и замерзающих морей экономическим критерием может служить показатель приведенных затрат на создание судна и его эксплуатационное обслуживание с учетом сокращения затрат (экономии) в форме тех или иных внебюджетных доходов.

3. При использовании обобщенного критерия, формируемого как удельные приведенные затраты, ключевым вопросом служит определение функции полезности, характеризуемой показателем, в качестве которой могут рассматриваться как транспортная функция судна по перевозке грузов, так и функция навигационного обслуживания во льдах судов, не имеющих ледовую категорию или имеющих незначительную категорию. С учетом проектного ограничения по толщине форсируемого ледового поля функцию навигационного обслуживания во льдах можно соотносить с размером создаваемого судна ледового плавания.

4. Положительная оценка адекватности применения размера судна, характеризующего, например, проектным дедвейтом или иными характеристиками размера, в качестве функции полезности судна, произведена на основании сопоставления форм поверхностей целевых функций для названных вариантов функции полезности, а также расчетом зависимости, показывающей взаимосвязь функций полезности в этих вариантах.

5. Вид функции полезности, в качестве которой рекомендуется на начальных этапах проектирования использовать характеристику размера многоцелевого судна ледового плавания, связан с формой учета финансового ограничения субсидий, предусмотренных на создание судна. Причем, ограничение субсидий для использования его при нахождении оптимальных проектных характеристик преобразуется к ограничению субсидируемого размера создаваемого судна.

6. Помимо бюджетных субсидий в постройку многоцелевого судна ледового плавания могут привлекаться средства других участников по стоимости их капитала, соразмерной с показателем коммерческих рисков, то есть со ставкой дисконтирования. Поэтому финансовое ограничение, которое можно преобразовать к ограничению размера создаваемого судна, в известной мере условно, и размер судна может в зависимости от выбора сопоставимых вариантов по применяемому критерию превышать субсидируемое ограничение размера, хотя это сопряжено с применением штрафной поправки, соответствующей стоимости привлекаемого дополнительного капитала, учитываемой к целевой функции.

Литература

1. 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
2. Гайкович, А.И. Теория проектирования водоизмещающих кораблей и судов. В 2 т. Т. 1. Описание системы «Корабль». Т. 2. Анализ синтез системы «Корабль». – СПб.: Изд-во НИЦ МОРИНТЕХ, 2014. ISBN 978-5-93887-060-4; ISBN 978-5-93887-048-2; ISBN 978-5-93887-0568-7
3. Государственная программа Российской Федерации «Развитие судостроения на 2013–2030 годы», утвержденная постановлением Правительства РФ от 24 декабря 2012 г. № 2514-р.
4. Ионов Б.П. Проектирование ледоколов / Б.П. Ионов, Е.М. Грамузов, В.А. Зуев. – СПб.: Судостроение. 2014. – 512 с. ISBN: 978-5-7355-0784-2
5. Пашин В.М. Оптимизация судов. – Л.: Судостроение, 1983.
6. Стратегия развития судостроительной промышленности на период до 2020 года и на дальнейшую перспективу. Утверждена приказом Минпромэнерго РФ от 6 сентября 2007 года № 354.
7. Anthony F. Molland Maritime Engineering Reference Book: A Guide to Ship Design, Construction and Operation – Elsevier, 2008, 902 p. (ISBN 0750689870, 9780750689878).
8. Ogai S.A., Voyloshnikov M.V., Khromchenko E.B. Determination of load and displacement in the design of multipurpose ice navigation ship The 29th Asian–Pacific Technical Exchange and Advisory Meeting on Marine Structures, TEAM–2015, Vladivostok, Russia – P. 80–86 ISBN 978–5–8343–0960–4.
9. Ogai S.A., Voyloshnikov M.V., Khromchenko E.B. The objective function for determining of design characteristics of multipurpose ship for navigation in icy sea, the methodological constraints, the optimality criterion. The 30th Asian–Pacific Technical Exchange and Advisory Meeting on Marine Structures, TEAM–2016, Mokpo, Korea – P. 561–573.

References

1. Vojloshnikov M.V. Modeli ocenki sudov, aktivov morskikh predpriyatij i resursov okeana : Ucheb. posobie / M.V. Vojloshnikov. – M.: Obshcherossiyskaya obshchestvennaya organizatsiya «Rossiyskoe obshchestvo ocenshchikov», 2010. – 361 s.: il.–(EHnciklopediya ocenki) ISBN 978–5–93027–002–0
2. Gajkovich, A.I. Teoriya proektirovaniya vodoizmeshchayushchih korablej i sudov. V 2 t. T. 1. Opisaniye sistemy «Korabl'». T. 2. Analizi sintez sistemy «Korabl'». – SPb.: Izd-vo NIC MORINTEKH, 2014. ISBN 978-5-93887-060-4; ISBN 978-5-93887-048-2; ISBN 978-5-93887-0568-7
3. Gosudarstvennaya programma Rossijskoj Federacii «Razvitie sudostroeniya na 2013–2030 gody», utverzhennaya postanovleniem Pravitel'stva RF ot 24 dekabrya 2012 g. № 2514-r.
4. Ionov B.P. Proektirovanie ledokolov / B.P. Ionov, E.M. Gramuzov, V.A. Zuev. – SPb.: Sudostroenie. 2014. – 512 s. ISBN: 978-5-7355-0784-2
5. Pashin V.M. Optimizatsiya sudov. – L.: Sudostroenie, 1983.
6. Strategiya razvitiya sudostroitel'noj promyshlennosti na period do 2020 goda i na dal'nejshuyu perspektivu. Utverzhdena prikazom Minpromehnergo RF ot 6 sentyabrya 2007 goda № 354.
7. Anthony F. Molland Maritime Engineering Reference Book: A Guide to Ship Design, Construction and Operation – Elsevier, 2008, 902 p. (ISBN 0750689870, 9780750689878).
8. Ogai S.A., Voyloshnikov M.V., Khromchenko E.B. Determination of load and displacement in the design of multipurpose ice navigation ship The 29th Asian–Pacific Technical Exchange and Advisory Meeting on Marine Structures, TEAM–2015, Vladivostok, Russia – P. 80–86 ISBN 978–5–8343–0960–4.
9. Ogai S.A., Voyloshnikov M.V., Khromchenko E.B. The objective function for determining of design characteristics of multipurpose ship for navigation in icy sea, the methodological constraints, the optimality criterion. The 30th Asian–Pacific Technical Exchange and Advisory Meeting on Marine Structures, TEAM–2016, Mokpo, Korea – P. 561–573.

ТЕОРИЯ КОРАБЛЯ И СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА

УДК 629.5.018

**ПРОВЕРКА ТРЕХКООРДИНАТНОЙ ТЕОРИИ
ПОДОБИЯ ДЛЯ СХОДСТВЕННЫХ ТЕЛ****Николай Алексеевич Тарануха**

доктор технических наук, профессор
заведующий кафедрой Кораблестроения
Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет
Россия, 681013, Комсомольск-на-Амуре, ул. Ленина 27
тел.: (4217) 24-11-42; e-мэйл: taranukha@knastu.ru

Евгений Игоревич Селиванов

кандидат технических наук, инженер кафедры кораблестроения
Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет
Россия, 681013, Комсомольск-на-Амуре, ул. Ленина 27
тел. (4217) 24-11-42; e-mail: e.i.selivanov@mail.ru

Ирина Николаевна Журбина

кандидат физико-математических наук, доцент
доцент кафедры Кораблестроения
Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет
Россия, 681013, Комсомольск-на-Амуре, ул. Ленина 27
тел.: (4217) 24-11-42; e-мэйл: zhurbina-irina@mail.ru

Аннотация

Выдвигается идея развития традиционной теории подобия гидродинамических процессов на область геометрически не подобных, но сходственных тел. Предлагаемая теория основывается на введении независимых геометрических и скоростных масштабов по всем трем координатам.

Для проверки предлагаемой теории проводится расчетно-экспериментальное исследование, включающее расчеты с помощью приближенных методов определения сопротивления, численного моделирования в программном пакете FlowVision и буксировочные испытания в опытовом бассейне.

Проведено сравнение результатов пересчета сопротивления геометрически не подобной модели на натурный объект по методу Фруда в рамках традиционной теории подобия и предлагаемой трехкоординатной теории.

На представленном этапе исследования установлена принципиальная возможность применения трехкоординатной теории при пересчете сопротивления модели на геометрически не подобный натурный объект.

Ключевые слова: моделирование, опытовый бассейн, теория корабля, теория подобия, эксперимент

**CHECK OF THE THREE-COORDINATED THEORY
OF SIMILARITY FOR LIKENESS BODIES****Nikolay Alexeevich Taranukha**

Professor, Dr. Sci. Tech.
Director of the department of Shipbuilding
Komsomolsk-on-Amur State Technical University
27, Lenina st., 681013, Russia, Komsomolsk-on-Amur
tel.: (4217) 24-11-42; e-mail: taranukha@knastu.ru

Evgeniy Igorevich Selivanov

Cand. Sci.Tech., engineer of the Shipbuilding Department
Komsomolsk-on-Amur State Technical University
27, Lenina st., 681013, Russia, Komsomolsk-on-Amur
tel.: (4217) 24-11-42; e-mail: e.i.selivanov@mail.ru

Irina Nikolaevna Zhurbina

Associate professor, Cand. Sci. Phis.-Math.

Associate professor of the department of Shipbuilding
Komsomolsk-on-Amur State Technical University
27, Lenina st., 681013, Russia, Komsomolsk-on-Amur
tel.: (4217) 24-11-42; e-mail:zhurbina-irina@mail.ru

Abstract

The idea of development of the traditional similarity theory of hydrodynamic processes to the region of not geometrically similar, but likeness bodies, is represented. The proposed theory is based on the introduction of independent geometric and speed scales in all three coordinates.

To verify the proposed theory, a computational and experimental study is carried out, including calculations approximate methods for determining resistance, numerical modeling in the FlowVision, and towing tests in the test tank.

A comparison is made between the results of recalculating the resistance of a geometrically similar model to the full-scale object by the Froude method in the framework of the traditional similarity theory and the proposed three-coordinate theory.

At the presented stage of the research, it is established that it is possible in principle to apply the three-coordinate theory when calculating the resistance of model to not geometrically similar full-scale object.

Key words: *modeling, test tank, ship theory, theory of similarity, experiment*

Введение

Поскольку определение ходовых качеств судна (в частности, сопротивления) является важной задачей при его проектировании, то за многолетние научные исследования в области теории корабля было сформулировано, предложено и успешно применено достаточно большое количество способов прогнозирования сопротивления еще только проектируемого судна, главным и наиболее точным из которых безусловно является пересчет результатов буксировочных испытаний моделей в опытовом бассейне.

Однако, испытания в опытовых бассейнах являются технологически сложными, дорогостоящими, длительными по времени и зачастую уникальными экспериментами [2, 3, 4, 7, 8, 9, 10].

Для облегчения и ускорения работы на начальных стадиях проектирования часто используют приближенные способы определения сопротивления судна, главными недостатками которых можно считать невысокую точность результата и использование в качестве основы данных испытаний серий моделей, проведенных в прошлом веке.

В качестве альтернативы рассматривается идея использования для пересчета на натурный объект результатов буксировочных испытаний геометрически не подобной модели.

1. Математическая модель

Традиционная теория подобия и моделирования гидродинамических процессов предполагает создание похожих условий для движения жидкости вблизи модели (индекс «М»), что и при обтекании натурального объекта (судна, индекс «Н»), с целью прогнозирования сопротивления натурального объекта путем пересчета с результатов модельных испытаний.

Основным и обязательным условием моделирования является строгое геометрическое подобие модельного и натурального объектов, которое в мате-

матической форме часто записывают следующим образом [1]:

$$\frac{l_M}{l_H} = \frac{x_M}{x_H} = \frac{L_M}{L_H} = m, \quad (1)$$

где m – геометрический масштаб.

Хотелось бы заметить, что формула (1) содержит соотношения величин модели и натурального объекта, направленных только вдоль координаты x (по длине). Соотношения величин по координатам y (по ширине) и z (по высоте) отсутствуют. Данное обстоятельство наводит на мысль, что традиционная теория сосредоточена на подобии по координате x , а координаты y и z не рассматриваются.

Возможность отказа от использования строгого геометрического подобия модели с сохранением точности результатов прогнозирования сопротивления натурального объекта с использованием метода пересчета повысила бы эффективность использования результатов модельных испытаний.

Для реализации возможности использования моделей, имеющих отклонения от геометрического подобия натурному объекту предлагается идея, в основе которой лежит предположение об обязательном условии сходственности форм, рассматриваемых тел [6]. В качестве яркого примера сходственных тел предлагаются эллипсоид и сфера (рис. 1,а), которые являются геометрически не подобными объектами, но математически описываются одним уравнением:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} + \frac{z^2}{c^2} = 1 \quad (2)$$

Поэтому их можно считать сходственными. Два геометрически не подобных эллипсоида в таком случае также являются сходственными (рис. 1,б). Основываясь на этом рассуждение о сходственности тел (с некоторыми допущениями и упрощениями) можно распространить и на случай с корпусами судов (рис. 1,в).

Перейдем к краткому описанию сути предлагаемой трехкоординатной теории подобия для сходственных тел. Важно отметить, что предлагаемая

теория представляет собой развитие традиционной теории подобия, поэтому все математические выкладки имеют единую логику и последовательность.

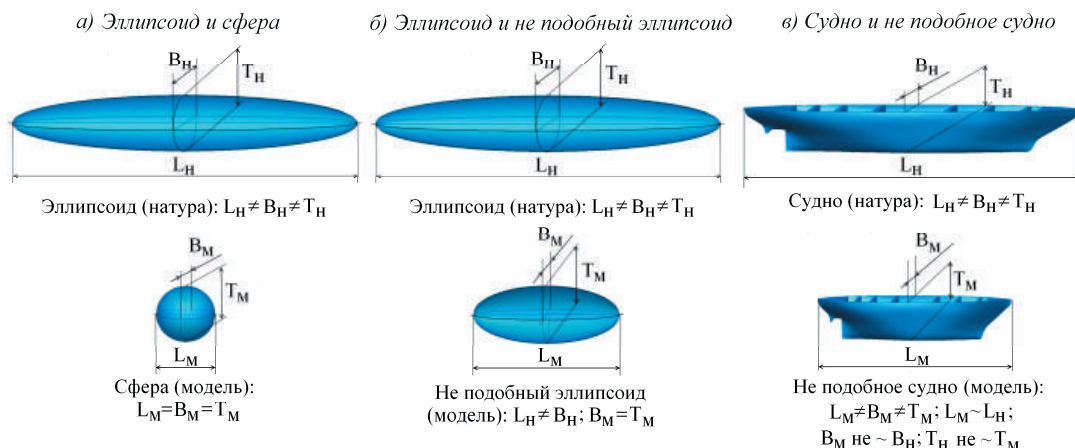


Рис. 1. Геометрически не подобные, но сходственные объекты

Основная идея предлагаемой теории - это введение самостоятельных масштабов по всем трем координатам x, y, z для модельного и натурального объектов при условии их сходственности:

$$\frac{L_M}{L_H} = n_L; \frac{B_M}{B_H} = n_B; \frac{T_M}{T_H} = n_T. \quad (3)$$

В общем случае масштабы не равны друг другу:

$$n_L \neq n_B \neq n_T. \quad (4)$$

Далее аналогично традиционной теории подобия проводится переход к безразмерным величинам.

Хотелось бы заметить, что в традиционной теории при переходе к безразмерным координатам деление производится только на параметры длины L . Посмотрим, что получится если будет произведено деление, например, на параметры ширины B

$$\frac{L_M}{L_H} = \frac{B_M}{B_H} = \frac{x_M}{x_H} = m, \quad (5)$$

запишем соотношения попарно, при этом первое равенство равно второму

$$\frac{x_M}{x_H} = \frac{L_M}{L_H}; \frac{x_M}{x_H} = \frac{B_M}{B_H}, \quad (6)$$

преобразуем до относительного вида

$$\frac{x_M}{L_M} = \frac{x_H}{L_H}; \frac{x_M}{B_M} = \frac{x_H}{B_H}, \quad (7)$$

теперь первое равенство не равно второму равенству, что, конечно же, правильно, т.к.

$$\frac{x_M}{L_M} \neq \frac{x_M}{B_M}; \frac{x_H}{L_H} \neq \frac{x_H}{B_H}, \quad (8)$$

Таким образом, получилось, что безразмерные координаты по параметру L не равны таким же, вроде бы, безразмерным координатам по параметру B . То есть подобие модели и натурального объекта

в традиционной теории формулируется только по параметру длины L (по координате x), а параметры ширины B (координата y) и высоты T (координата z) игнорируются.

Приведенные выше замечания свидетельствует о том, что традиционная теория подобия и моделирования гидродинамических процессов при всей её кажущейся строгости из-за сложности процесса обтекания не обходится без разного рода упрощающих допущений. Поэтому вполне допустимы попытки расширения области применения этой теории на основе других приближенных допущений.

Кинематическое условие подобия также подверглось изменению. Появились новые независимые скоростные масштабы по каждой из координат

$$\frac{v_{Mx}}{v_{Hx}} = n_{vx}; \frac{v_{My}}{v_{Hy}} = n_{vy}; \frac{v_{Mz}}{v_{Hz}} = n_{vz}; \quad (9)$$

В общем случае масштабы не равны друг другу

$$n_{vx} \neq n_{vy} \neq n_{vz}. \quad (10)$$

Касательно формул подобия по давлению и времени сделано предположение, что они остаются без изменений (такими же, как в традиционной теории подобия).

В соответствии с традиционной теорией подобия на основе уравнения Навье-Стокса с учетом новых скоростных масштабов были выведены новые критерии динамического подобия. Установлено, что «эффект (геометрического) непоподобия» между модельным и натурным объектами проявляется в числах Фруда и Эйлера для модели:

$$Fr_H^{\text{неподоб}} = Fr_M^{\text{неподоб}}, \quad (11)$$

$$\frac{v_{H0}}{\sqrt{g \cdot L_H}} = \frac{v_{M0}}{\sqrt{g \cdot L_M}} \cdot \sqrt{N_M},$$

$$Eu_H^{\text{неподоб}} = Eu_M^{\text{неподоб}},$$

$$\frac{2 \cdot P_H}{\rho_H \cdot v_{H0}^2} = \frac{2 \cdot P_M}{\rho_M \cdot v_{M0}^2} \cdot \frac{1}{N_M} \tag{12}$$

Здесь коэффициент N_M – это «коэффициент не-подобия»:

$$N_M = \sqrt{\frac{n_L \cdot n_{vx}^2 + n_B \cdot n_{vy}^2 + n_T \cdot n_{vz}^2}{n_{vx}^2 \cdot (n_L + n_B + n_T)}} \tag{13}$$

Этот коэффициент появился из-за введения разных масштабов (3) и (3) и учитывает геометрическое «неподобие» модели натурному объекту.

Важным обстоятельством является наличие строгого предельного перехода всех математических формул предлагаемой теории, если подставить в них значения для случая геометрически подобной модели и натурального объекта

$$N_M = \sqrt{\frac{n_L \cdot n_{vx}^2 + n_B \cdot n_{vy}^2 + n_T \cdot n_{vz}^2}{n_{vx}^2 \cdot (n_L + n_B + n_T)}} = \sqrt{\frac{m \cdot m_v^2 + m \cdot m_v^2 + m \cdot m_v^2}{m_v^2 \cdot (m + m + m)}} = \sqrt{\frac{m \cdot m_v^2}{m_v^2 \cdot m}} = 1 \tag{14}$$

Таким образом, трехкоординатная теория подобия для сходственных тел является более общим вариантом традиционной теории подобия, которая в свою очередь становится частным случаем трехкоординатной теории подобия.

2. Испытания

Для апробации предлагаемой теории было проведено расчетно-экспериментальное исследование. Исследование включало в себя расчеты сопротивления моделей с помощью двух приближенных методов, численного моделирования в программном CFD-пакете FlowVision и буксировочных испытаний в опытовом бассейне КНАГТУ. Результаты, полученные разными методами сравнивались между собой.

На начальной стадии исследования в качестве объектов использовались модели, которые ниже ватерлинии имели форму половины эллипсоида вращения, а выше - прямостенный борт [5, 11]. Эллипсоидная форма корпуса обеспечивала строгую математическую сходственность всех моделей. Все модели по своим размерам являлись малыми (длина меньше 6 м). Всего было 4 модели. Одна из моделей была геометрически не подобна остальным. Модели показаны на фотографии (Рис. 2).

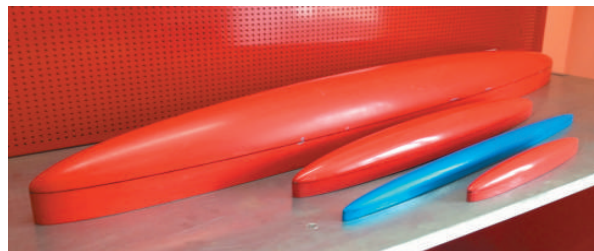


Рис. 2. Модели с эллипсоидной формой корпуса

На графике (Рис. 3) приведено сравнение результатов пересчета сопротивления геометрически не подобной модели на натурный объект по методу Фруда в рамках традиционной теории подобия и предложенной трехкоординатной теории с истинными значениями сопротивления натурального объекта [12, 13].

Как видно по графику (Рис. 3) для неподобной модели традиционная теория подобия не дает хорошего результата (штрихпунктирная кривая; погрешность до 35%). Пересчет по трехкоординатной теории показывает хорошие результаты в диапазоне чисел Фруда 0,1...0,21. (пунктирная кривая; погрешность ~5%).

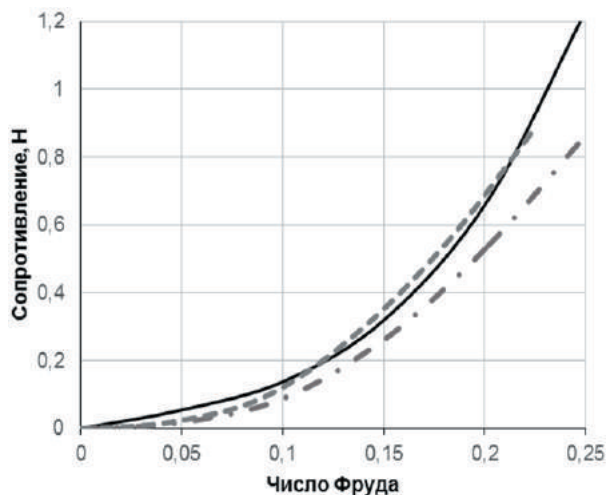


Рис. 3. Сравнение результатов пересчета сопротивления геометрически не подобной модели на натурный объект с помощью метода Фруда по традиционной теории подобия и по трехкоординатной теории.

Условные обозначения:
 ————— сопротивление натурального объекта;
 - - - - - пересчет по стандартной теории подобия;
 - · - · - · пересчет по трехкоординатной теории подобия

Заключение

Выполненное исследование позволяет сформулировать следующие выводы:

1. Представленные результаты касаются только моделей эллипсоидной формы и только для данного конкретного случая не полного геометрического подобия
2. Расчетно-экспериментальное исследование подтверждает принципиальную возможность удовлетворительно производить пересчет экспериментальных результатов с геометрически не подобной модели на натурный объект с помо-

стью, предложенной трехкоординатной теории подобия для сходственных тел.

исследования с переходом к телам с судовыми обводами.

3. Для установления области применения предлагаемой теории требуются дополнительные

Литература

1. Войткунский Я.И., Фадеев Ю.И., Федяевский К.К. Гидромеханика: Учебник. 2-е изд. ф. перераб. и доп. Л.: Судостроение, 1982, 456 с.
2. Экспериментальные исследования. Буксировочные испытания в опытовом бассейне / С.В. Кошкин, Н.А. Тарануха, М.П. Шадрин, Е.И. Селиванов. – Комсомольск-на-Амуре: ФГБОУ ВПО «КНАГТУ», 2016. – 66 с.
3. Моделирование падения судна на воду / Н.А. Тарануха, С.Д. Чижиумов, О.В. Журбин, А.Д. Бурменский, И.Н. Журбина // Морские интеллектуальные технологии. 2010. № 1(7), С. 42-44.
4. Модернизация и развитие дальневосточного опытового бассейна КНАГТУ / Н.А. Тарануха, С.В. Кошкин, Е.И. Селиванов, М.П. Шадрин // Морские интеллектуальные технологии/ 2011. № 2. С. 45-48.
5. Тарануха Н.А., Селиванов Е.И., Козлов А.А. Расчетно-экспериментальное исследование эллипсоидных моделей судов // Морские интеллектуальные технологии. 2014. №1, С. 104–107.
6. Тарануха Н.А. Теория подобия не подобных, но сходственных тел // Морские интеллектуальные технологии. 2014. № 1 (23). С. 13-26.
7. Численное моделирование прочности и гидродинамики океанотехники. Numerical Modelling of Strength and Hydrodynamics for Oceanotechnics / Н.А. Тарануха, О.В. Журбин, С.Д. Чижиумов, И.Н. Журбина. – Владивосток: Дальнаука, 2009, 340 с.
8. Тарануха Н.А., Козлов А.А., Шадрин М.П. Экспериментальное исследование в пограничном слое жидкости процесса перехода от ламинарного течения к турбулентному // Морские интеллектуальные технологии. 2014. № 1(23). С. 99-103.
9. Чижиумов С. Д., Тарануха Н. А. Математическое моделирование удара судна о воду с применением метода граничных элементов // Журнал РАН «Математическое моделирование». 2011. Том 23, № 1, С. 29–40.
10. Chizhiumov S.D., Taranukha N.A. Modeling of a Ships Entry into Water Using the Boundary Element Method // Mathematical Models and Computer Simulation. 2011. Vol. 3, No 4, pp. 430–438.
11. Selivanov E.I., Taranukha N.A. Investigation of resistance of ellipsoidal models // Proceeding of the 7th Asia-Pacific Workshop on Marine Hydrodynamics in Naval Architecture, Ocean Technology and Subsea Technology (APHydro-2014), Vladivostok. 2014. pp. 18–21.
12. Experimental Researches of Ship Models for two Problems of Hydrodynamics / N.A. Taranukha, S.V. Koshkin, E.I. Selivanov, M.P. Shadrin // Proceeding of the 26rd International Ocean and Polar Engineering Conference (ISOPE-2016), Rhodos (Greece). 2016. pp. 1277–1281.
13. Taranukha N.A., Selivanov E.I., Shadrin M.P. Experimental Researches of Ship Models in Test Tank of KnASTU // Proceeding of the 3rd International Conference «Polar Mechanics-2016», Vladivostok. 2016. pp. 359–368.

References

1. Voytkunsky Y.I., Fadeev Y.I., & Fedyaevsky K.K. Gidromekhanika: Uchebnik. 2-ye izd.f. pererab. i dop (Hydromechanics: Textbook. Second edition). Leningrad: Sudostroyeniye, 1982, 456 p.
2. Koshkin S.V., Taranukha N.A., Shadrin M.P., Selivanov E.I. Eksperimental'nyye issledovaniya. Buksirovochnyye ispytaniya v opytovom basseyne (Experimental research. Towing tests in the test tank). Komsomol'sk-na-Amure: FGBOU VPO «KNAGTU», 2016, 66 p.
3. Taranukha N.A., Chizhiumov S.D., Zhurbina O.V., Burmenskiy A.D., Zhurbina I.N. (2010) Modelirovaniye padeniya sudna na vodu (Modeling of ship falling onto water). Morskie intellektual'nye tekhnologii, 1(7), pp. 42-44.
4. Taranukha N.A., Koshkin S.V., Selivanov E.I., Shadrin M.P. (2011) Modernizatsiya i razvitiye dal'nevostochnogo opytovogo basseyna KnAGTU (Modernization and development of the Far East test tank of KnASTU). Morskie intellektual'nye tekhnologii, 12, pp. 45-48.
5. Taranukha N.A., Selivanov E.I., Kozlov A.A. (2014) Raschetno-eksperimental'noye issledovaniye ellipsoidnykh modeley sudov (Numerical and Experimental Investigation of Ellipsoidal Models of Ship). Morskie intellektual'nye tekhnologii, 1(23). pp. 104-107.
6. Taranukha N.A. (2014) Teoriya podobiya ne podobnykh, no skhodstvennykh tel (Theory of Similarity Not Similar, but Likeness of Bodies). Morskie intellektual'nye tekhnologii, 1(23), pp. 13-26.

7. Taranukha N.A., Zhurbin O.V., Chizhiumov S.D., Zhurbina I.N. Chislennoye modelirovaniye prochnosti i gidrodinamiki okeanotekhniki (Numerical Modelling of Strength and Hydrodynamics for Oceanotechnics). Vladivostok: Dal'nauka, 2009, 340 p.
8. Taranukha N.A., Kozlov A.A., Shadrin M.P. (2014) Eksperimental'noye issledovaniye v pogranichnom sloye zhidkosti protsessa perekhoda ot laminarnogo techeniya k turbulentnomu (Experimental research of transition process from laminar to turbulent flow in the fluid boundary layer). Morskije intellektual'nye tekhnologii, 1(23), pp. 99-103.
9. Chizhiumov S.D., Taranukha N.A. (2011) Matematicheskoe modelirovaniye udara sudna o vodu s primeneniem metoda granichnyh elementov (Mathematical simulation of a ship impact on water using the boundary element method). Zhurnal RAN «Matematicheskoye modelirovaniye». M: RAN, tom. 23, 1, pp. 29–40.
10. Chizhiumov S.D., Taranukha N.A. (2011) Modeling of a Ships Entry into Water Using the Boundary Element Method. Mathematical Models and Computer Simulation, Vol. 3, No 4. pp. 430–438.
11. Selivanov E.I., Taranukha N.A. (2014) Investigation of resistance of ellipsoidal models. Proceeding of the 7th Asia-Pacific Workshop on Marine Hydrodynamics in Naval Architecture, Ocean Technology and Subsea Technology (APHydro-2014), pp. 18–21.
12. Taranukha N.A., Koshkin S.V., Selivanov E.I., Shadrin M.P. (2016) Experimental Researches of Ship Models for two Problems of Hydrodynamics. Proceeding of the 26rd International Ocean and Polar Engineering Conference (ISOPE-2016), pp. 1277–1281.
13. Taranukha N.A., Selivanov E.I., Shadrin M.P. (2016) Experimental Researches of Ship Models in Test Tank of KnASTU. Proceeding of the 3rd International Conference «Polar Mechanics-2016», pp. 359–368.

УДК 629.12.001.24:681.32

НАДБАВКИ НА КОРРОЗИОННЫЙ ИЗНОС НАРУЖНОЙ ОБШИВКИ СУДОВ ДЛЯ РАБОТЫ ВО ЛЬДАХ

Виктор Анатольевич Кулеш

доктор технических наук, профессор
профессор кафедры Кораблестроения и океанотехники
Дальневосточный федеральный университет
690091, Владивосток, ул. Суханова. 8
тел. 8-8098-689-038; e-mail: vkulesh@mail.ru

Аннотация

Проблема обеспечения надёжности морских объектов в условиях взаимодействия со льдом является актуальной. Существующие стандарты надёжности отражаются в Правилах Российского морского регистра судоходства. Надбавки на коррозионный износ наружной обшивки и ледового пояса имеют важное значение. Увеличение надбавок ведет к росту веса и стоимости конструкций ледовых усилений. В данной работе показаны недостатки нормирования надбавок на коррозионный износ для ледоколов и судов ледового плавания. Сроки службы ледоколов могут превышать 50 лет. Соответствующие надбавки на коррозионный износ превышают 25 миллиметров. Показано, что проектные надбавки на коррозионный износ должны быть связаны с нормами износа в эксплуатации. Также целесообразно учитывать связь интенсивности износа с интенсивностью ледовых давлений.

В работе рассмотрены вопросы развития норм для надбавок на коррозионный износ. В первую очередь это учет защитных покрытий. Предложена схема гармонизации норм для надбавок в зависимости от ледовой категории для ледоколов, буксиров и прочих судов. Предлагается путь дифференциации надбавок на коррозионный износ. Рассмотрены вопросы планирования и прогнозирования жизненного цикла судов. Отмечена перспектива изменения ледовой категории в процессе жизненного цикла. Предложения могут быть использованы для развития российской системы классификации.

Ключевые слова: ледокол, судно ледового плавания, надбавка на коррозионный износ

CORROSION WEAR ADDITIVES OF SHELL PLATING OF SHIPS OPERATION IN ICE

Victor Anatolievich Kulesh

Professor, Dr. Sci. Tech.
Professor of Shipbuilding Department
Far Eastern Federal University
8, Sukhanova st., 690091, Vladivostok, Russia
tel.: 8-9089-686-038; e-mail: vkulesh@mail.ru

Abstract

The problem of reliability ensuring of marine facilities in the conditions of interaction with the ice is actual. Existing standards of reliability indirectly reflect the rules of Russian Maritime Register. The corrosion wear additives of shell plating and ice strake is important. Increase additives leads to an increase in the weight and cost of the ice reinforcement designs. In this paper, there are shortcomings in standardization of additives for corrosive wear for icebreakers and ice navigation vessels. The icebreaker service life may exceed 50 years. Corresponding additives for corrosion wear may exceed 25 millimeters. It is shown that project surcharges for corrosive wear should be related to wear rates in operation. It is also advisable to take into account the relationship between the rate of corrosion and ice pressures.

The issue of development of norms for surcharges for corrosive wear is considered in the work. First of all, this is accounting for protective coatings. A scheme for harmonizing the norms for surcharges of corrosive wear depending on the ice category for icebreakers, tugboats and other vessels is proposed. A way of differentiating surcharges for corrosive wear in different areas of the hull is proposed. Questions of planning and monitoring the life cycle of vessels are considered. The prospect of changing the ice category of the vessel during the life cycle is noted. Proposals can be used to develop the Russian classification system.

Keywords: icebreaker, ship for icy sea, corrosion wear additives

1. Общие сведения

Нормирование параметров, определяющих надёжность корпусов судов, опирается как на опыт эксплуатации, так и на уровень достигнутого научно-технического прогресса. При несовершенстве теоретических моделей предпочтение следует отдавать опыту.

Нормирование надбавок на коррозионный износ наружной обшивки производится классификационными обществами. В ледовой главе действующих Правил классификации и постройки морских судов Российского морского регистра судоходства [1] принято

$$\Delta s_{n0} = 0,75Tu \quad (1)$$

где T – планируемый срок службы судна, лет; u – среднегодовое уменьшение толщин, заданное в табличной форме, мм/год.

При выполнении мероприятий по защите наружной обшивки от коррозионного износа и истирания (специальных покрытий, плакированных сталей и т.п.) определение величины u является предметом специального рассмотрения Регистром.

На графике (Рис.1) для носового района усиления приведены значения среднегодовых уменьшений в зависимости от индекса ледовой категории. В среднем и кормовом районах усиления значения меньше.

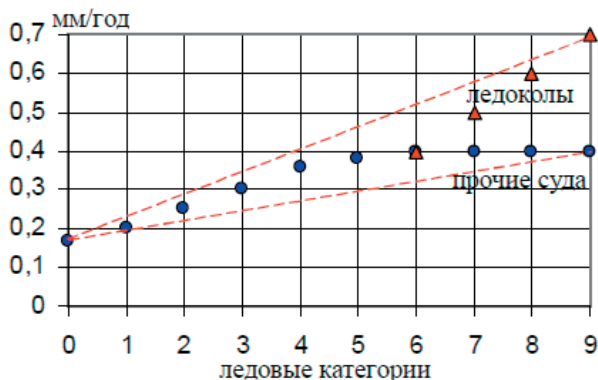


Рис. 1. Среднегодовые уменьшения толщин в зависимости от ледовой категории судов

Тенденция роста на рис.1 с увеличением ледовой категории очевидна. Однако, в области низких категорий (1-4) темпы роста представляются завышенными. Косвенно это подчеркивается полным отсутствием роста у судов в области высоких категорий (6-9). Совпадение значений для судов и ледоколов при категории 6 не вполне оправдано, так как доля ходового времени во льдах у судов меньше, чем у ледоколов. Темпы роста для ледоколов наивысшие.

Более полное представление обеспечивает непосредственное сравнение надбавок на коррозионный износ, показанное на графике (Рис. 2). Здесь ледоколы и прочие суда могут сравниваться при планируемом сроке службы. Для 24-летнего срока надбавки у судов изменяются в

диапазоне от 3 до 7 мм, а у ледоколов – до 13 мм.

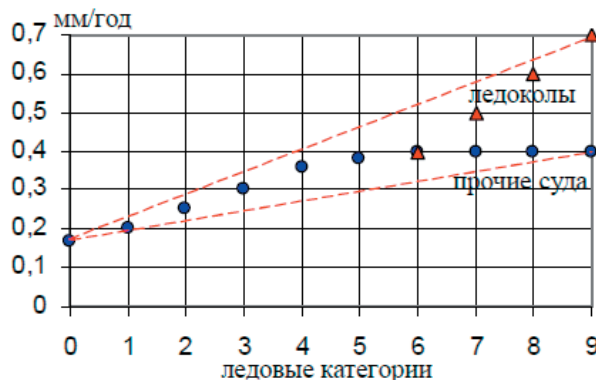


Рис. 2. Надбавки на коррозионный износ в зависимости от ледовой категории

Срок службы в 24 года для ледоколов явно не достаточный. Поэтому на рис.2 дополнительно приведены значения для срока службы в 45 лет. Величины надбавок для ледоколов входят в диапазон от 14 до 24 мм.

Надбавки на износ, регламентируемые при проектировании [1], можно и должно увязывать с допускаемыми износами в процессе эксплуатации [2]. В настоящее время Регистр в районе ледовых усиления наиболее широко использует допуск на износ 20%. С учетом такого допуска и приведенных надбавок можно оценить, что толщины ледового пояса в носовом районе небольшого портового ледокола 6-ой категории составят 70 мм, а линейного ледокола 9-ой категории достигнут 120 мм. Такие толщины представляются завышенными и не подтверждаются опытом. Они вынуждают переходить на путь согласований специальных защитных мероприятий или учета других факторов.

Недостатком действующей регламентации надбавок (1) является и то, что их экстремальные значения, получаемые в поясе ватерлиний, распространяются в поперечных сечениях на подводную часть. Таким образом, производится существенное и не оправданное утяжеление корпуса.

Надбавки на коррозионный износ (1) не имеют прямой связи с интенсивностью ледовых нагрузок. Косвенную связь, через таблицу для среднегодовых уменьшений толщин в зависимости от ледовой категории и только трех районов по длине судна, трудно признать оптимальной. У ледоколов число районов доходит до 16-ти.

Связь износов наружной обшивки с интенсивностью ледовых нагрузок не вызывает сомнений. Существенным фактором, влияющим на интенсивность ледовых нагрузок, является водоизмещение судов. Однако, при существующей регламентации в рамках одной ледовой категории суда водоизмещением 1000 тонн и 100.000 тонн будут иметь одинаковые надбавки.

На графике (Рис. 3) для категории Arc4 приведен пример изменения интенсивности ледовых нагрузок от водоизмещения судов. Как видно,

отличия для малых и крупных судов доходят до 3-кратного.

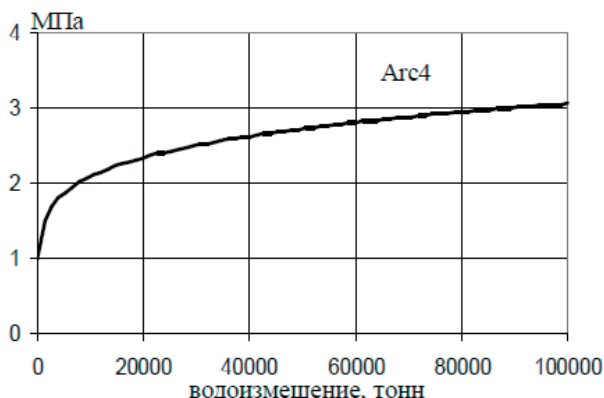


Рис. 3. Интенсивность ледовых нагрузок в зависимости от водоизмещения (Arc4)

Если исходить из того, что регламентация ледовых требований и надбавок в части опыта опиралась на сравнительно малочисленную группу судов ледового плавания водоизмещением 10-20 тысяч тонн, то очевидно их экстраполяция на многочисленные суда меньших размеров (например буксиры и рыболовные) существенно завышает вес усилений.

В заключение этого раздела важно вернуться к тезису о необходимости взаимосвязи норм для классификации и допусков в эксплуатации судов. Теоретические основы норм и оценки технического состояния корпусов судов СССР были изложены в работе [3] и применялись для разработки специальных норм на серии судов. В практике Регистра СССР также широко использовалось «Руководство по техническому надзору за судами в эксплуатации». Оно опиралось на допустимый износ наружной обшивки пояса переменных ватерлиний в 30%.

В настоящее время, как уже отмечено выше, для наружной обшивки в районах ледовых усилений судов, построенных после 1990 года, Регистр [2] ограничивает допустимый износ в 20%. Отличие (уменьшение) в 1,5 раза.

Основы действующей ледовой классификации [4] и формулы (1) сформированы в 90-х годах XX века. Проектирование и постройка гражданских судов России в эти годы практически не велись. Поэтому новые требования Правил классификации вынужденно опирались на опыт и флот, построенный СССР. Пополнение и эксплуатация этого флота велась на централизованных принципах социалистического планирования. С распадом СССР Россия и её флот перешли на рыночные капиталистические принципы. Однако, нормативная база классификации судов осталась от опыта социализма, что также является противоречием. Формально, данное противоречие можно устранить путем 1,5-кратного в среднем уменьшения надбавок на износ (1).

Далее рассмотрены возможные пути развития в части нормирования надбавок на коррозионный износ для работы во льдах.

2. Учет защитных покрытий

Качество и периодичность восстановления защитных покрытий могут значительно отличаться. На графиках (Рис.4) показаны зависимости уменьшения толщин во времени для защитного покрытия невысокой долговечности (до 2,5 лет) с периодичностью восстановлений 7,5 лет.

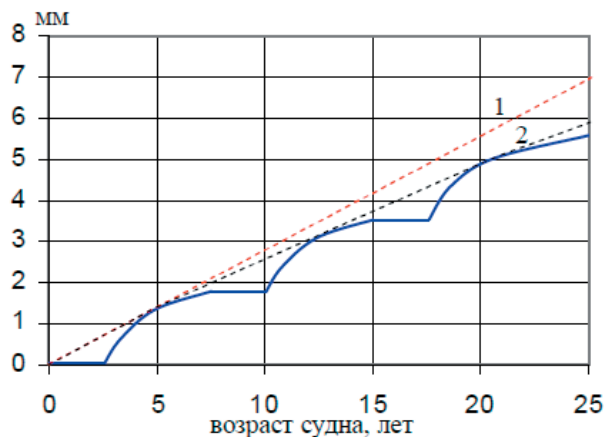


Рис. 4. Схема уменьшения толщин наружной обшивки в зависимости от возраста при периодическом восстановлении защитных покрытий

Скорости износа не являются стабильными и могут изменяться от нулевых значений в широком диапазоне. Поэтому Правила [1] опираются на среднегодовые (за длительные периоды) уменьшения толщин, соответствующие экстремальным значениям (касательная 1 на рис.4). В специальной литературе, например [3], отмечается возможность падения среднегодовых уменьшений с увеличением периода наблюдений (ломаная линия 2 на рис.4).

В 80-х годах XX века появились защитные покрытия для судов типа ИНЕРТА, ПЕРМАКС, ЗЕБРОН и другие, которые получили распространение в отечественной практике. Но основной мотивацией их применения для ледоколов и полярных судов была не долговечность, а значительное снижение сил трения корпусов со льдом. К недостаткам таких покрытий на эпоксидной основе относится низкая деформационная способность и растрескивание в местах высоких напряжений обшивки.

В середине 90-х годов XX века Норвежский Веритас в разработанной системе мониторинга технического состояния судов NAUTICUS применил математические модели износа с градацией периодов долговечности покрытий в 5, 10 и 15 лет. Аналогичные математические модели износов в дальнейшем легли в основу европейской системы CAS (Condition Assessment System). Развитие покрытий продолжалось. В настоящее время российский концерн «ТЕХМАШ» разработал и рекламирует новое покрытие АРГОФ с повышенной стойкостью и гарантийным сроком эксплуатации в условиях морской воды до 15 лет.

Математическая модель износа с учетом покрытий в функции от срока эксплуатации в общем случае может иметь вид

$$\Delta s(T) = \begin{cases} 0 & \text{при } T \leq T_n \\ a(T - T_n) + b(T - T_n)^c & \text{при } T > T_n \end{cases}, \quad (2)$$

где T – срок эксплуатации судна, лет; T_n – долговечность защитного покрытия, лет.

Коэффициенты a , b и c в формуле (2) могут быть определены на основе статистических данных из опыта эксплуатации, например базы данных регистровых судов DEFHULL, при соблюдении граничных условий.

Полагая, что характер кривой износа после отказа покрытия не связан с его долговечностью, разные покрытия будут отражаться путем смещения кривых износа вдоль горизонтальной оси, рис.5.

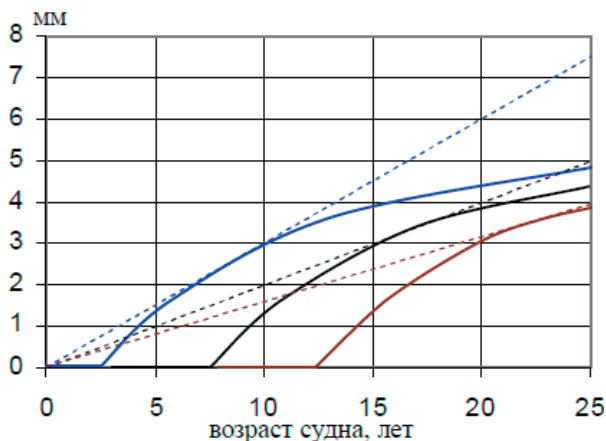


Рис. 5. Принципиальная схема учета разной долговечности защитных покрытий на среднегодовые уменьшения толщин

Касательные из нуля к кривым зависимостей износа на графиках (Рис. 5) обеспечивают аналоги среднегодовым уменьшениям толщин в Правилах. В результате формула (1) может быть представлена в виде

$$\Delta s_{n0} = 0,75Tu \cdot k_n, \quad (3)$$

где k_n – предлагаемый коэффициент учета защитных покрытий, зависящий от их долговечности и не более 1.

В качестве долговечностей покрытий могут выступать гарантийные сроки поставщиков. Неопределённость или отсутствие гарантийных сроков соответствует значению коэффициента 1.

3. Гармонизация нормирования износа

Существующая в Правилах [1] градация среднегодовых уменьшений толщин от ледовых категорий показана на рис.1 и для судов имеет «выпуклый» характер. В области высоких категорий и ледоколов характер меняется на «линейный». Специальные исследования по этому вопросу показывают, что износы связаны с интенсивностью ледовых нагрузок и более корректным явля-

ется «вогнутый» характер градации. Однако, нельзя исключать из внимания тот факт, что с увеличением ледовой категории частота и качество защитных покрытий могут возрастать. С учетом сказанного, предложения по гармонизации роста среднегодовых уменьшений толщин в зависимости от ледовой категории на основе простого «линейного» принципа могут иметь вид, показанный на графике (Рис. 6).



Рис. 6. Предлагаемая схема гармонизации среднегодовых уменьшений толщин (для носового района усиления в поясе ватерлиний)

Здесь в отдельную группу выделены «буксиры» и «ледоколы», имеющие более высокую долю эксплуатационного периода во льдах. Ниже дана градация для «прочих судов». В результате формула (1) для носового района усиления в поясе ватерлиний дополнительно к (3) может быть представлена в виде

$$\Delta s_{n0} = 0,75T \cdot u_{lc} \cdot k_n, \quad (4)$$

где u_{lc} – среднегодовое уменьшение толщин, определяемое по формуле

$$u_{lc} = u_0 + k \cdot Ic, \quad (5)$$

где u_0 – базовое среднегодовое уменьшение толщин для пояса переменных ватерлиний в существующих Правилах равно 0,17 мм/год; k – коэффициент равный 0,038 для буксиров и ледоколов или 0,025 для прочих судов; I_c – числовой индекс ледовой категории Регистра.

4. Связь скоростей износа и давлений

Недостатки существующей укрупнённой градации среднегодовых уменьшений толщин по районам корпуса и распространение высоких надбавок на износ пояса ватерлиний на подводную часть корпуса можно устранить путем их непосредственной связи со значениями интенсивности расчетных ледовых нагрузок.

На графике (Рис. 7) представлена связь среднегодовых уменьшений толщин с интенсивностью ледовой нагрузки, полученная в работе [5] на основе анализа данных в широком диапазоне судов и категорий – от малых рыболовных сейнеров до линейных ледоколов.

В этом случае формула (1) для любого района корпуса дополнительно к (3) может быть представлена в более универсальном виде

$$\Delta s_{n0} = 0,75T \cdot u(p) \cdot k_n, \quad (6)$$

где $u(p)$ – среднегодовое уменьшение толщин, определяемое по формуле

$$u(p) = u_m (1 + k_p \cdot p^{2/3}), \quad (7)$$

где u_m – минимальное значение среднегодового уменьшения толщин для наружной обшивки по Правилам (в работе [5] использовано значение 0,1 мм/год); p – интенсивность расчетных ледовых нагрузок по действующим Правилам, МПа; k_p – коэффициент учета отличий в нормировании интенсивности ледовых нагрузок по Правилам 1990 года и действующим.

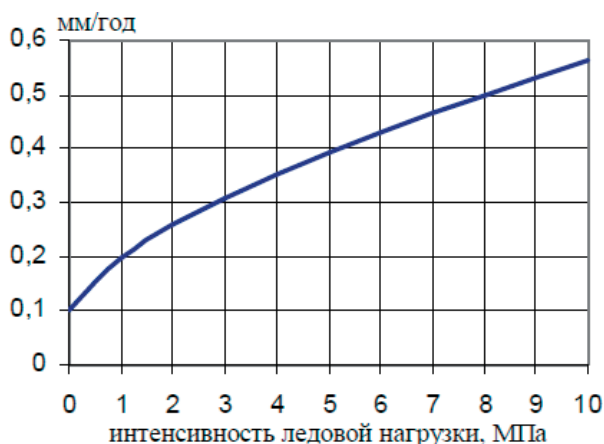


Рис. 7. Связь среднегодовых уменьшений толщин и интенсивности ледовой нагрузки по Правилам РС 1990 года [5]

Необходимость определения указанного коэффициента связана с тем, что существующая ледовая классификация основана на критерии предельной прочности [4] в отличие от предшествовавшей на основе критерия фибровой и ограниченной текучести. Этот переход привел к изменению расчетных ледовых нагрузок.

Формула (6) в сравнении с формулой (4) представляется более универсальной и предпочтительной для оптимизации толщин наружной обшивки судов для работы во льдах.

5. Планирование и учет жизненного цикла

Многолетний опыт российского флота показывает, что сохранение начальной ледовой категории в течение всего планируемого срока службы судна, который у ледоколов может превышать 50 лет, экономически не оправдано. Практика понижения ледовых категорий судов с увеличением возраста получила широкое распространение. Достаточно вспомнить историю «детища» адмирала Макарова С.О. - ледокола «Ермак» (1899, служил 64 года), который изначально планировался как покоритель Арктики, но завершал свой жизненный цикл в ледовых условиях Финского залива.

Его преемник ледокол «Ермак» (1974, служит уже 43 года) имеет схожую судьбу. Изначально арктический линейный ледокол категории LL2 (Icebreaker8) постепенно понижен до уровня портового ледокола категории LL4 (Icebreaker6) и успешно работает преимущественно также в Финском заливе.

Решения о понижении ледовых категорий обычно принимаются в эксплуатации с учетом фактического технического состояния и с целью снижения ремонтных затрат в последующей эксплуатации.

На графиках (Рис.8) представлен пример из работы [6] мониторинга технического состояния для ледового пояса с понижением ледовой категории.

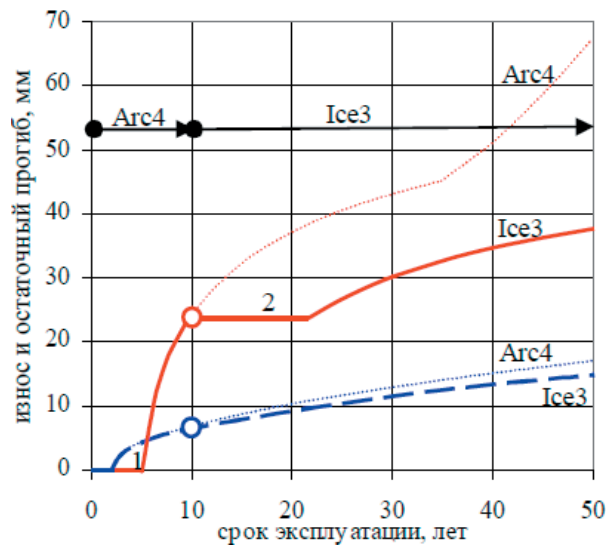


Рис. 8. Пример управления жизненным циклом судна с уменьшением ледовой категории в возрасте 10 лет

Как видно, снижение категории и перевод судна в более лёгкие условия работы позволяет прекратить прогрессирующее гофрирование на длительный период (обозначение 2) даже в условиях продолжения прогрессирующего износа, но с меньшими скоростями.

Планирование длительного жизненного цикла судна на стадии проектирования очень сложно. В простейшем случае (при неизменной категории и в предположении систематического восстановления защитных покрытий) при определении надбавок на износ планируемый срок службы судна – T может быть уменьшен на суммарную долговечность всех мероприятий по защите. Теоретически это позволяет уменьшить надбавки на износ до нулевых значений.

Однако приведенные выше примеры с ледоколами показывают вероятность практической потребности планирования жизненных циклов судов с изменениями ледовых категорий. При решении таких задач одной лишь корректировки надбавки на износ будет не достаточно.

Понижение ледовой категории уменьшает параметры ледовых нагрузок. В результате снижаются требования к составляющей толщины по условиям прочности. С другой стороны, появля-

ются возможности повышения допусков на износ обшивки. Теоретически это может быть эквивалентно отрицательным значениям надбавок на износ.

Интерес для судовладельцев могут представлять и задачи завышения ледовой категории на начальных этапах эксплуатации, когда благодаря надбавкам на износ ещё сохраняются высокие запасы прочности. Дополнительно нельзя не учитывать и возможности появления за десятилетия прорывных технологий в области будущих сверхстойких защитных покрытий.

Заключение

Представленный анализ сложившейся практики нормирования надбавок на коррозионный износ наружной обшивки ледоколов и судов, работающих во льдах, отражает недостатки. Это проблемы учета защитных покрытий, недостатки градации надбавок по категориям, отсутствие их прямой связи с интенсивностью ледовых нагрузок, с нормативами износа и ряд других. Без их

устранения надбавки могут существенно завышаться и увеличивать стоимость ледовых усиленных.

Предложена схема учета влияния долговечности защитных покрытий на величины коррозионных надбавок. Показана возможность гармонизации величин надбавок в зависимости от ледовой категории с выделением ледоколов, буксиров и остальных судов. Предлагается использовать прямую связь среднегодовых уменьшений толщин с интенсивностью ледовых нагрузок, что позволит определять надбавки на коррозионный износ с учетом размеров судов и не распространять их высокие значения в ледовом поясе на подводную часть корпуса.

Широкие возможности для оптимизации надбавок на коррозионный износ открываются в сочетании планирования и мониторинга жизненного цикла судов. Особое место здесь занимает возможность изменения (понижения) ледовой категории с увеличением износа и возраста судна.

Литература

1. Правила классификации и постройки морских судов. Российский Морской Регистр Судоходства. Санкт-Петербург, 2017.
2. Правила классификационных освидетельствований судов в эксплуатации. Российский Морской Регистр Судоходства. Санкт-Петербург, 2017.
3. Максимаджи А.И., Беленький Л.М., Брикер А.С., Неугодов А.Ю. Оценка технического состояния корпусов морских судов. – Л.: Судостроение, 1982. – 156 с.
4. Апполонов Е.М. Предельная прочность арктических судов. ФГУП «Крыловский государственный научный центр». – Санкт-Петербург: 2014. - 244 с.
5. Kulesh V., Vinogradova N. Standardization of Corrosion Wear of Shell Plating for Ice Ships Operation // Proceedings of the International Northern Sea Route Symposium. – Tokyo: 1995, p.425-430.
6. Кулеш В.А., Огай С.А., Войлошников М.В. Классификация и мониторинг надёжности ледового пояса // Морские интеллектуальные технологии, №3(29), Т.1, 2015, с. 55-61.

References

1. Pravila klassifikatsii i postroyki morskikh sudov. Rossiyskiy Morskoy Registr Sudokhodstva. Sankt-Peterburg, 2017.
2. Pravila klassifikatsionikh osvidetelstvovaniy sudov v ekspluatatsii. Rossiyskiy Morskoy Registr Sudokhodstva. Sankt-Peterburg, 2017.
3. Maksimadji A.I., Belenkii L.M., Briker A.S., Neugodov A.Y. Otsenka tehnicheskogo sostoiania korpusov morskikh sudov. Sankt-Peterburg: Sudostroenie, 1982. 156 s.
4. Appolonov E.M. Predelnaya prochnost arkticheskikh sudov. FGUP «Krylovskiy gosudarstvennyy nauchnyy tsentr», SPb.: 2014. 244 s.
5. Kulesh V., Vinogradova N. Standardization of Corrosion Wear of Shell Plating for Ice Ships Operation // Proceedings of the International Northern Sea Route Symposium. – Tokyo: 1995, p.425-430.
6. Kulesh V.A., Ogai S.A., Voyloshnikov M.V. Klassifikatsiia I monitoring nadejnosti ledovogo poiasa // Morskie intelektualnie tekhnologii, No3(29), T.1, 2015, s. 55-61.

УДК 629.12.001.2

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПНЕВМОПЛИЦ МОРЕХОДНОГО ВЕЗДЕХОДА НА ВОЗДУХООПОРНЫХ ГУСЕНИЦАХ

Анатолий Иванович Азовцев

доктор технических наук, профессор
начальник кафедры Теории и устройства судна
Морской государственной университет им. адм. Г.И. Невельского
690059, Владивосток, ул. Верхнепортовая, 50-а
е –mail: Azovtsev@msun.ru

Олег Владимирович Москаленко

старший научный сотрудник
Морской государственной университет им. адм. Г.И. Невельского
690059, Владивосток, ул. Верхнепортовая, 50-а
е –mail: Moskalenkoov@msun.ru

Аннотация

Для универсальных мореходных вездеходов на воздухоопорных гусеницах предложена конструкция пневмоплиц с эластичными плоскими торцами и продольными переборками, в том числе и образующими герметичные отсеки внутри пневмоплицы. Эти мероприятия повышают экологичность снижением нагрузки на грунт тундры за счет увеличения площади опирания пневмоплиц, в том числе и при пробое в пневмоплице с герметичными отсеками. Увеличивается плавучесть пневмоплиц и подъем бортовых скегов над водой. Повышается сохранность аварийной пневмоплицы, а поддержание ее работоспособности повышает эффективность транспортного средства. При транспортных и транспортно-технологических операциях на побережье, в тундре и лесотундре, особенно на пересеченной местности, экологичность мореходного вездехода оценивается по сохранности дернины. Зависимость сохранения тундры летом от давления на грунт принята за основу повышения экологичности вездехода повышением площади опирания гусениц, в том числе и в предположении проколов (пробоев) опорных пневмоплиц. Частичное поддержание работоспособности поврежденной пневмоплицы с продольными переборками предложено повысить поддувом из воздушной подушки.

Ключевые слова: мореходные вездеходы, пневмоплица, воздухоопорная гусеница, плоские торцы, герметичные отсеки, площадь опирания, плавучесть пневмоплиц, клиренс скегов

IMPROVEMENT OF THE PNEUMOPPLICAS OF THE SEAWORTHY ALL-TERRAIN VEHICLE ON PNEUMATIC-SUPPORTED TRACKS

Anatoliy Ivanovich Azovtsev

Professor, Dr. Sci. Tech.
Director of Naval architecture department
Maritime state university named Admiral G. Nevelskoy
50 – a, Verkhneportovaya st., 690059, Vladivostok, Russia
tel.: (423) 241–49–68; e-mail: Azovtsev@msun.ru

Oleg Vladimirovich Moskalenko

Senior research scientist
Maritime state university named Admiral G. Nevelskoy
50 – a, Verkhneportovaya st., 690059, Vladivostok, Russia
e –mail: Moskalenkoov@msun.ru

Abstract

The construction of pneumoplicas with elastic flat butt-ends and longitudinal bulkheads including those forming flat butt-ends inside the pneumoplica is suggested in the research work for seaworthy all-terrain vehicles on air-supported tracks. The arrangement increases environment protection by lowering pressure on the tundra ground due to the extension of the pneumoplica's resting area including the case of a hole in a pneumoplica with hermetic compartments. It increases the pneumoplicas buoyancy and lifting of the board skegs above the water. Safe keeping of the damaged pneumoplica is improved, and maintaining its capability increases the effectiveness of the vehicle. When transport and transport-technological operations on the coast, in the tundra and forest-tundra,

especially on rough terrain, the environmental of the seaworthy all-terrain vehicles is estimated for the safety of the sod. Dependence of the preservation of the tundra in summer on ground pressure is taken as the basis for increasing the environmental friendliness of the seaworthy all-terrain vehicles by increasing of pneumoplica's resting area, including assuming punctures (holes) of supporting pneumoplicas. Partial maintenance of the working capacity of the damaged pneumoplica with longitudinal bulkheads is suggested to be increased by air blowing from the air cushion.

Key words: seaworthy all-terrain vehicles, pneumoplica, air-supported track, flat butt-ends, hermetic compartments, resting area, pneumoplicas buoyancy, board skegs

Введение

Многолетние поисковые исследования воздухопорных гусениц и транспортных средств с их применением, проводимые в МГУ им. адм. Г.И. Невельского, получили оценку как разработка нового принципа движения – на воздухопорных гусеницах (ВГ), обеспечившего прорыв в области внедорожного транспорта [1]. Исследования инициировались Минтрансом России с целью разработки мореходных амфибийных вездеходов для разгрузки судов на необорудованный берег Арктики и Дальнего Востока. Обоснована возможность создания вездеходов большой грузоподъемности при обеспечении щадящего воздействия на грунт тундры и лесотундры летом. На рис. 1 показан эскизный облик транспортного средства на воздухопорных гусеницах (далее – ТСВГ) грузоподъемностью 100 тонн [2].

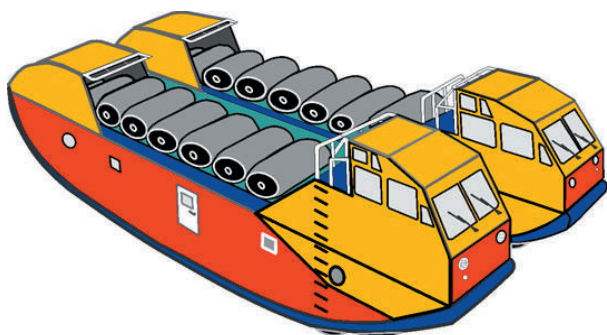


Рис. 1. Эскизный облик ТСВГ-100

Представленная на рис. 2 совмещенная схема наглядного представления и взаимной увязки основных геометрических параметров в форме проекции продольного сечения гусеницы на внутренний борт левого скега на плоском твердом горизонтальном грунте многократно опубликовывалась [3].

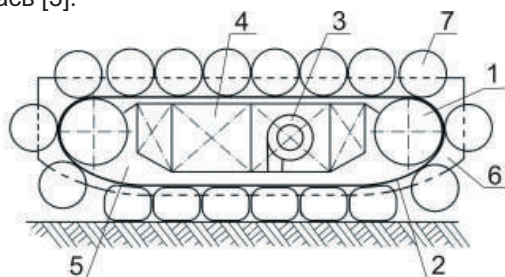


Рис. 2. Совмещенная схема воздухопорной гусеницы и скега: 1-барaban; 2-гусеничная лента; 3-воздухонагнетатель; 4-понтон; 5-воздушная подушка; 6-бортовые скеги; 7-пневмоплицы

Воздухопорные гусеницы сочетают в себе преимущества воздушной подушки и гусеницы. Понтон внутри ВГ опирается на равномерно распределенное избыточное давление воздуха. Ограждение полости избыточного давления выполнено в виде широкой эластичной ленты (гусеницы), заведенной вокруг приводных барабанов, установленных в носовой и кормовой оконечностях понтона. Бортовые срезы ВГ с предельно малым зазором движутся вдоль вертикальных плоских поверхностей бортовых ограждений – скегов. Для подъема полозьев над грунтом (обеспечения клиренса) при необходимой длине опирания гусеницы на грунт на внешней поверхности гусеницы крепятся надувные плитки (пневмоплицы), изготавливаемые из легкого прочного материала. Для снижения давления на грунт эти гиперпрофирированные грунтозацепы устанавливаются плотно друг к другу. Гусеницы приводятся в движение путем вращения приводных барабанов.

1. Проблемы снижения нагрузки пневмоплицы на грунт при движении по суше

Технические решения задач снижения нагрузки на грунт тундры за счет предельно возможного увеличения длины контактного пятна пневмоплицы описаны в [4]. На основе анализа длины контактного пятна пневмоплиц применявшихся на моделях, макетах и изготовленных для экспериментального образца вездехода грузоподъемностью 20 тонн показаны варианты увеличения длины контактного пятна усовершенствованием конструктивного оформления торцев пневмоплиц (рис. 3, 4, 5). На рис. 5 показана простая плоская в раскрое конструкция торца, допускающая предельно возможное увеличение длины контактного пятна, соответственно, предельную площадь контакта с грунтом и снижение нагрузки на грунт.

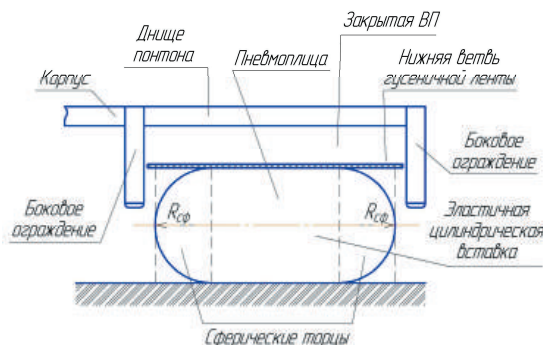


Рис. 3. Схема продольного сечения пневмоплицы со сферическими торцами

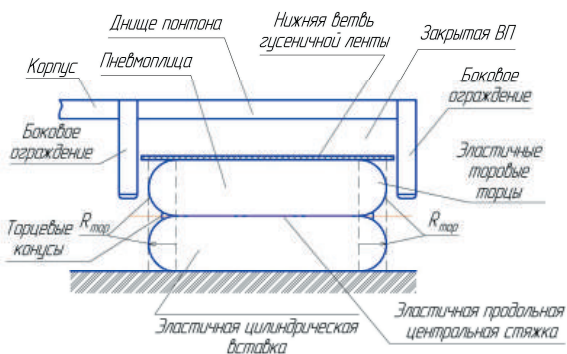


Рис. 4. Схема продольного сечения пневмоплиты с торцовыми торцами

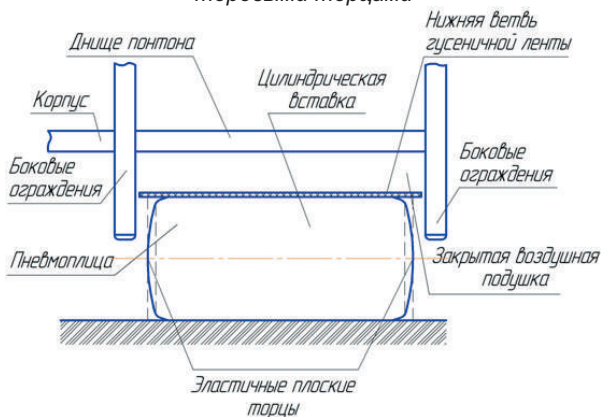


Рис. 5. Схема продольного сечения пневмоплиты с плоскими торцами

2. Увеличение длины опорной поверхности на грунте за счет усовершенствования конструкции пневмоплиты

Успешное увеличение площади контакта пневмоплит заменой сферических торцов на торцы торовые стало основой поиска конструктивных решений снижения выпуклости торцов для увеличения длины цилиндрической вставки. Принципиально возможно множеством внутренних стяжек свести к нулю выпуклость плоских торцов. Однако такое решение значительно усложняет конструкцию пневмоплиты.

Экспериментальные исследования деформирования пневмоплиты с плоскими торцами показали весьма малую выпуклость таких торцов при отсутствии внутренних стяжек (рис. 6,7). При сжатии пневмоплиты между грунтом и нижней ветвью гусеничной ленты плоский торец выпучивается в 2,66 раза меньше, чем торец торовый и в 5,32 раза меньше выпуклости торца сферического.

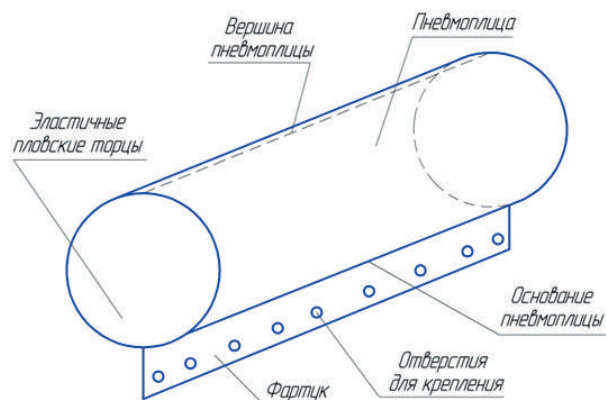


Рис. 6. Раскрывная ненагруженная форма пневмоплиты с плоскими торцами

Сравнение рис. 8 и рис. 9 наглядно показывает увеличение площади контакта при применении плоских торцов и повышение объема пневмоплит, повышающее их плавучесть.

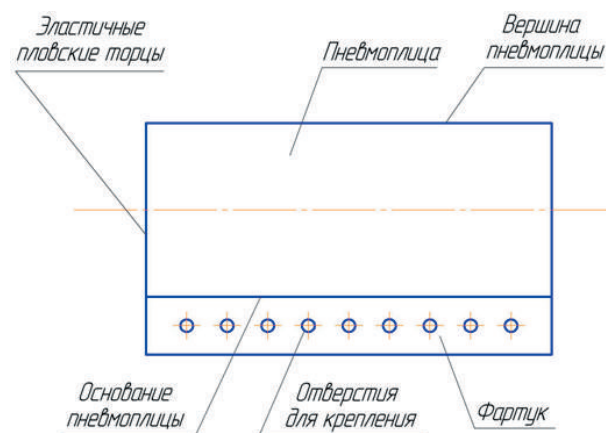


Рис. 7. Боковой вид ненагруженной формы пневмоплиты с плоскими торцами

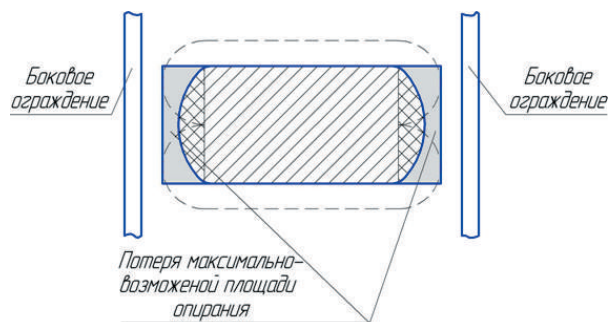


Рис. 8. Схема контактного пятна пневмоплиты с торцовыми торцами

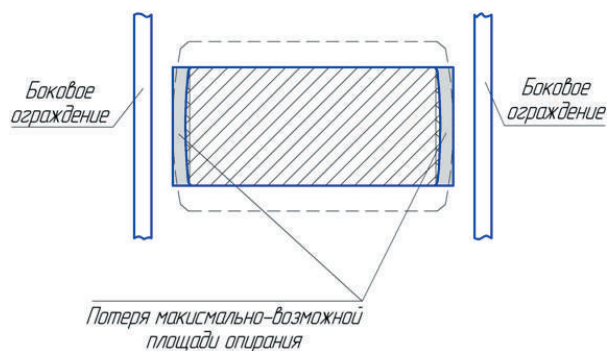


Рис. 9. Схема контактного пятна пневмошины с плоскими торцами

3. Повышение сохранности пневмошины при пробое за счет применения внутренней эластичной переборки

Работоспособная форма пневмошины достигается необходимым расчетным избыточным давлением воздуха в ней. При этом обеспечиваются её способность воспринимать контактные нагрузки на грунте и плавучесть при погружении в воду. При нарушении герметичности пневмошины (пробоина, прокол и т.п.) давление в пневмошине снижается вплоть до полного исчезновения избыточного давления воздуха в ней. При полном истечении воздуха пневмошина становится неспособной воспринимать контактные нагрузки на грунте, увеличивается нагрузка на соседние пневмошины, теряется плавучесть пневмошины при погружении в воду.

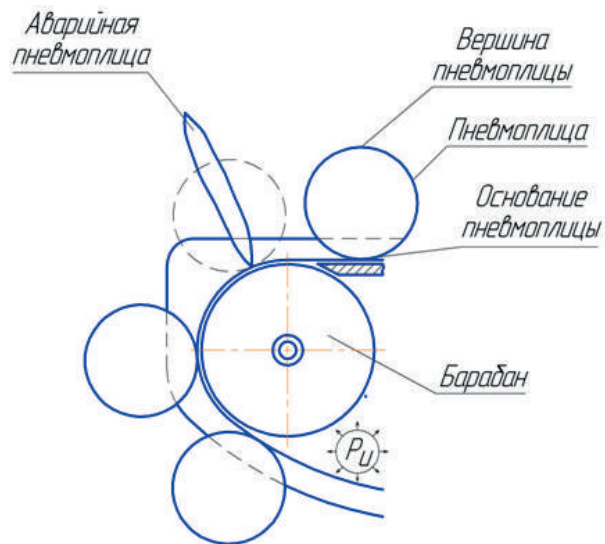


Рис. 10. Форма аварийной пневмошины под действием центробежных сил на барабане без продольной переборки

Под действием центробежных сил, возникающих при прохождении аварийной пневмошины по барабану, пневмошина удлиняется перпендикулярно поверхности барабана в 1,57 раза от первоначального размера, как это показано на рис. 10. Предполагается возможность истирания вершины пневмошины о капот расположенный

поверх верхней ветви гусеницы. Это снижает сохранность поврежденной пневмошины.

При установке внутри пневмошины эластичной продольной переборки высотой, равной диаметру шины, соединяющей вершину и основание шины, как это показано на рис. 11, при полной потере воздуха в момент прохождения аварийной пневмошины по барабану увеличивает свой габарит по нормали к поверхности барабана в 1,285 раз. Это соответствует снижению в 2 раза избыточного (по сравнению с диаметром) габарита такой шины на барабане. Но при этом полностью теряется работоспособность аварийной пневмошины на воде и на грунте.

Значительное повышение работоспособности пневмошины при пробое достигается разделением ее внутреннего объема на герметичные отсеки. Простейший вариант такого усовершенствования показан на рис. 12. Продольная переборка длиной равной длине шины герметично крепится по всему периметру. При повреждении одного из герметичных отсеков, неповрежденный изменяет форму, как это показано на рис. 13 и рис. 14. Габарит свободной оболочки поврежденного отсека на барабане не превышает исходного габарита шины. Диаметр сохранившейся части аварийной пневмошины на 20% меньше ее исходного диаметра, что в значительной мере сохраняет работоспособность шины на воде и на грунте.

Выпучивание торцев пневмошины с герметичными продольными переборками снижается удержанием их средней части оконечностями переборок. Это оправдывает повышение сложности конструкции шины.

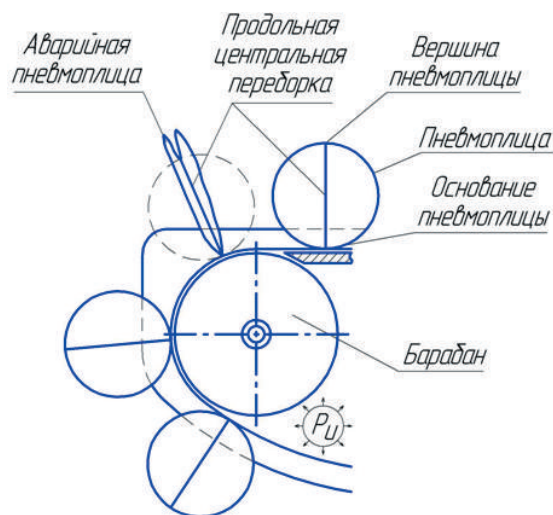


Рис. 11 Форма аварийной пневмошины под действием центробежных сил на барабане без продольной переборки

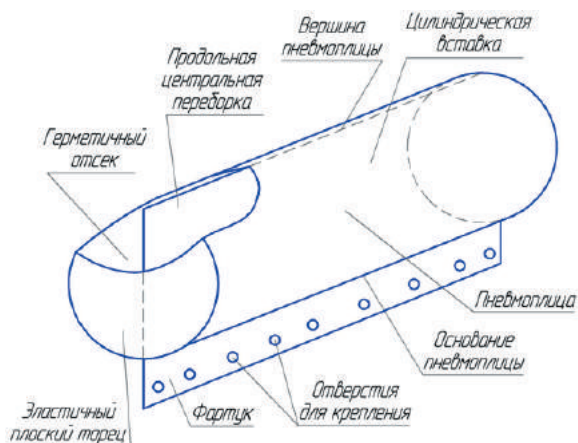


Рис. 12. Поперечное сечение работоспособной пневмоплицы раскройной ненагруженной формы с плоской продольной центральной переборкой между основанием и вершиной

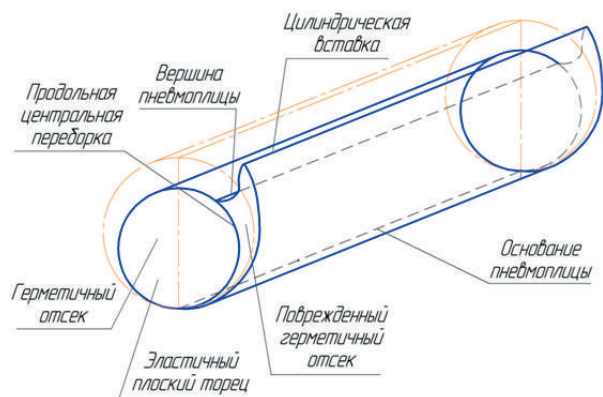


Рис. 13. Поперечное сечение аварийной пневмоплицы раскройной ненагруженной формы, разделенной на два герметичных отсека, при пробое в одном из них

При установке внутри пневмоплицы более одной продольной переборки увеличивается количество герметичных отсеков и повышается на-

дежность плитки при пробое. Необходимость такого усложнения конструкции может быть основана на пока отсутствующем опыте эксплуатации.

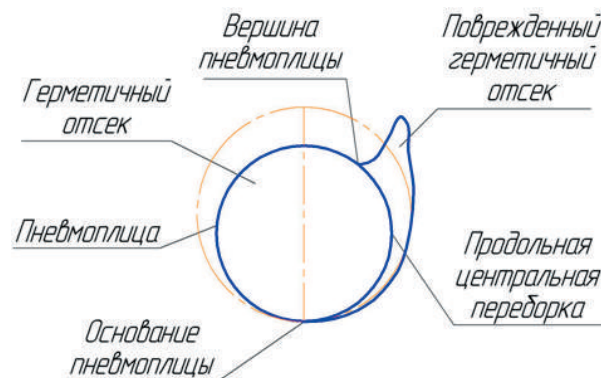


Рис. 14. Поперечное сечение аварийной пневмоплицы, разделенной на два герметичных отсека, при пробое в одном из них

Заключение

Разработаны конструктивные мероприятия по усовершенствованию пневмоплиц морского транспортного средства на воздухоопорных гусеницах, повышающие их работоспособность, а также, соответствующие рекомендации для использования на начальных этапах проектирования ТСВГ.

Предложено техническое решение задачи снижения нагрузки на грунт тундры. Эффект достигается предельно возможным увеличением длины контактного пятна пневмоплицы на ВГ мореходного вездехода.

Сохранность пневмоплицы при пробое и обеспечение частичной ее работоспособности предложено установкой продольных эластичных переборок внутри пневмоплицы.

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. Разработка технических предложений. Пояснительная записка по опытно-конструкторской работе «Разработка технического предложения и формирование облика мореходного транспортного средства на воздухоопорных гусеницах грузоподъемностью 100 тонн» ГBT № 1.23/7-2017, регистрационный № НИОКТР АААА-А17-117052410042-1 от 24.05.2017 г. Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского. Владивосток. 2017 г.
3. Москаленко О.В. Разработка совмещенной схемы воздухоопорной гусеницы и скега, как базового элемента автоматизированного проектирования ТСВГ // 58-я международная научно-практическая конференция «Молодежь-Наука-Инновации». Сборник конференции, т.1. МГУ им. адм. Г.И. Невельского, Владивосток, 2010. С. 174-177.
4. Азовцев А.И., Огай С.А., Москаленко О.В. Снижение нагрузки на грунт тундры увеличением длины контакта пневмоплицы мореходного вездехода // «Морские интеллектуальные технологии». Спецвыпуск №1, 2016. С. 100-105.

References

1. Azovtsev A.I., Ogay S.A., Moskalenko O.V. Proryiv v oblasti vnedorozhnogo amfibiynogo transporta // Nauka i transport. Morskoy i rechnoy transport. Transport Rossiyskoy Federatsii. 2011. S. 48-50.
2. Razrabotka tehnikeskikh predlozheniy. Poyasnitelnaya zapiska po opytitno-konstruktorskoy rabote «Razrabotka tehnikeskogo predlozheniya i formirovanie oblika morehodnogo transportnogo sredstva na vozduhoopornyyih gusenitsah gruzopod'emnostyu 100 tonn» GBT № 1.23/7-2017, registratsionnii №

NIOKTR AAAA-A17-117052410042-1 ot 24.05.2017 g. Morskoy gosudarstvennyy universitet im. adm. G.I. Nevelskogo. Vladivostok. 2017 g.

3. Moskalenko O.V. Razrabotka sovmeschennoy shemyi vozduhopornoj gusenitsyi i skega, kak bazovogo elementa avtomatizirovannogo proektirovaniya TSVG // 58-ya mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya «Molodezh-Nauka-Innovatsii». Sbornik konferentsii, t.1. MGU im. adm. G.I. Nevelskogo, Vladivostok, 2010. S. 174-177.
4. Azovtsev A.I., Ogay S.A., Moskalenko O.V. Snizhenie nagruzki na grunt tundryi uvelicheniem dlinyi kontakta pnevmoplitsyi morehodnogo vezdehoda // «Morskie intellektualnyie tehnologii». Spets-vyipusk №1, 2016. S. 100-105.

УДК 629.12.001

ПРОЕКТ ЛЕДОВЫХ УСИЛЕНИЙ СУХОГРУЗНОГО СУДНА**Виктор Анатольевич Кулеш**

доктор технических наук, профессор
профессор кафедры Кораблестроения и океанотехники
Дальневосточный федеральный университет
690091, Владивосток, ул. Суханова. 8
тел. 8-8098-689-038; e-mail: vkulesh@mail.ru

Сергей Алексеевич Огай

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

Николай Геннадьевич Пец

аспирант кафедры Кораблестроения и океанотехники
Дальневосточный федеральный университет
690091, Владивосток, ул. Суханова. 8
тел. 8-999-615-2479; e-mail: pecng85@gmail.com

Аннотация

Актуальность ледовых усиления корпуса судна обусловлена наличием в составе отечественного флота большого количества судов иностранной постройки. Одной из их проблем является неудовлетворительная ледовая прочность, т.к. большинство их не предназначено для навигации во льдах, а особенностью условий российских морей является ледовый период. Основываясь на сложившихся экономических тенденциях можно утверждать, что эта проблема сохранит свою актуальность в ближайшем будущем.

В работе на одном примере рассмотрен вопрос повышения ледовой прочности корпуса переклассифицированного судна. Выполнены расчеты корпусных конструкций. Определены проблемные зоны, типичные для судов иностранной постройки. Разработана схема установки усиления и произведен расчет их характеристик. Предложен вариант установки наружных усиления – приварных полос в виде полукруглых сегментов. Рассмотрены особенности применения наружных усиления.

Ключевые слова: суда зарубежной постройки, ледовая прочность, ледовые усиления, наружные усиления

PROJECT OF ICE STRENGTHENING OF CARGO VESSEL HULL**Victor Anatolievich Kulesh**

Professor, Dr. Sci. Tech.
Professor of Shipbuilding Department
Far Eastern Federal University
8, Sukhanova st., 690091, Vladivostok, Russia
tel.: 8-9089-686-038; e-mail: vkulesh@mail.ru

Sergei Alexeevich Ogai

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

Nikolay Gennadievich Petc

postgraduate of Shipbuilding Department
Far Eastern Federal University
8, Sukhanova st., 690091, Vladivostok, Russia
tel.: 8-999-615-2479; e-mail: pecng85@gmail.com

Abstract

The relevance of the ship's hull ice reinforcement is due to the presence in the domestic fleet of a large number of vessels of foreign construction. One of their problems is unsatisfactory ice strength, because most of them are not intended for navigation in ice, and the ice period is the feature of navigation of most Russian seas. Based on the current economic trends, it can be argued that this problem will remain relevant in the near future.

In the work on the example of a dry cargo vessel, the issue of increasing the ice strength of the hull of reclassified vessels was considered. The strength of hull structures is calculated. The problem areas typical for foreign-built vessels are identified. A scheme for setting the amplifications is developed and their characteristics are calculated. The variant of installation of external strengthenings - welded strips in the form of semicircular segments is offered. The problems of using external amplifiers are considered.

Keywords: *Vessels of foreign construction, hull strength in ice, hull reinforcement, outer strengthening*

Введение

Несмотря на активизацию военного судостроения последних лет гражданское судостроение России по-прежнему ведется в недостаточной мере. Постройка новых судов недоступна большинству судовладельцев, поэтому пополнение флота чаще осуществляется за счет закупки бывших в эксплуатации судов зарубежной постройки. Характерной проблемой для таких судов, кроме сроков эксплуатации, являются недостаточные ледовые качества и, как следствие, ограниченная навигация в российских условиях. Эта проблема отражена в ряде работ отечественных исследователей, например в [1] и [2]. Решение ее возможно двумя способами. Во-первых, ограничением безопасной скорости движения в ледовых условиях. Вопросы, связанные с допустимым режимом движения судна во льду, рассмотрены в [2]. Преимуществом такого решения в том, что затраты на подготовку к ледовой навигации минимальны. Минусом являются низкие эксплуатационные характеристики судна, вынужденные простои по причине тяжелых ледовых условий и, как следствие, снижение рентабельности. Альтернативой является повышение ледовых качеств за счет усиления конструкций корпуса. Основным недостатком этого решения является высокая стоимость. Традиционные методы подкреплений заключаются в установке дополни-

тельного набора, заменах листов обшивки - все это требует выполнения работ внутри корпуса, в стесненных условиях помещений носовой оконечности. Поэтому важна разработка альтернативных методов подкреплений корпусов. В качестве такого метода может быть установка наружных усилений в виде приварных сегментов. Ранее эта тема затрагивалась в работах [1] и [5], но проблемы развития сохраняются.

Ниже представлены результаты проекта ледовых подкреплений и реализации на примере конкретного судна.

1. Описание судна

Теплоход "Севастополь" построен в 2001 году на верфи Hudong-Zhonghua Shipbuilding (Group) Co Ltd, Шанхай, Китай. Он представляет собой морское, стальное, одновинтовое, однопалубное, с двойным дном и двойными бортами, баком, ютом и расположенной на нём семи-ярусной рубкой, кормовым расположением машинного отделения, бульбообразным носом и транцевой кормой судно. Предназначено для перевозки генеральных, в т.ч. тяжеловесных грузов и контейнеров, проектная контейнеровместимость составляет 650 TEU. Боковой вид судна показан на схеме (Рис.1).

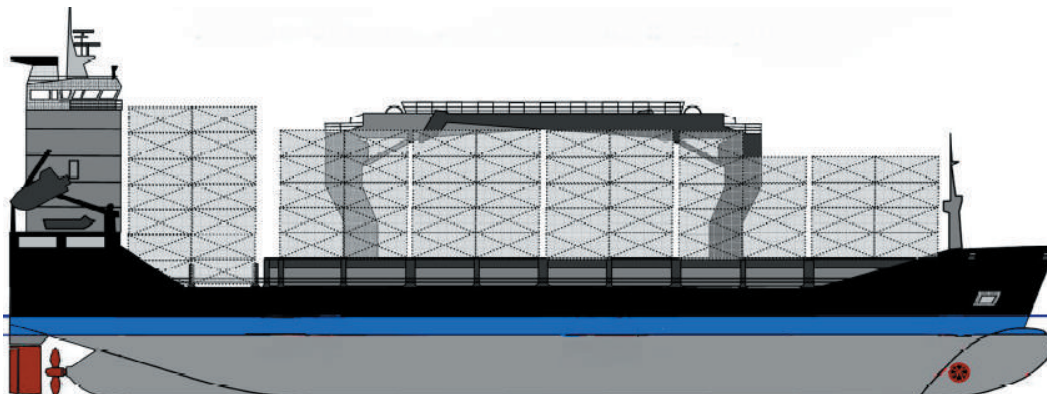


Рис. 1 Боковой вид т/х "Севастополь"

Судно построено на класс Регистра Ллойда (RL) и изначально имело ледовую категорию Ice

1С по Финско-Шведской ледовой классификации. Для усиления на протяжении от 4½ теор. шп. до

форштевня были установлены промежуточные шпангоуты, а толщина наружной обшивки в ледовом поясе увеличена с 12 до 20-24 мм в носовом районе. В 2014 году т/х "Севастополь" перешел из класса RL в класс Российского Морского Регистра Судоходства с присвоением ледовой категории Ice2. С учетом планируемой эксплуатации судна в Арктике были выполнены расчеты допустимых режимов работы судна для ледовых условий категории Arc4. Расчеты показали, что необходимы значительные ограничения в эксплуатации: самостоятельное плавание возможно только в битых льдах со скоростью не выше 3,5 узлов, а в канале за ледоколом – не выше 2 узлов. Ледовая навигация судна в балластном состоянии проблематична из-за слабости скуловых районов. Это снижает рентабельность судна и для повышения ледовых качеств важны дополнительные ледовые подкрепления.

2. Анализ конструкций корпуса

Для определения необходимых изменений конструкции выполнены расчеты прочности.

Наиболее существенное отличие требований правил российского Регистра от зарубежных состоит в распространении зон усиления на районы корпуса ниже переменных ватерлиний, вплоть до днища. В таблицах 1, 2 и 3 приведены сопоставления результатов расчетов.

Таблица 1

Сравнение расчетных толщин обшивки на категорию Arc4 с построчными

Район, шп	Толщина обшивки, мм	Толщина по правилам, мм	Наибольшее отклонение, %	
AI	127¼–125¼	24	20,4	18
	120¼–111¼	13	26,9	-52
	125¼–111¼	20-11	20,6-26,9	-59
	111¼–102¾	11-23	22,2-28,7	-62
A _I I	102¾–93¾	10-23	19,4	-49
	93¾–78¾			20
A _I II	102¾–93¾	11	21,1	-48
	93¾–78¾			-42
A _I III	102¾–93¾	13	19,3-19,6	-34
	93¾–85¾			-33
	89¼–78¾			-38
A _I IV	93¾–78¾	11-13	19,3 – 20	-43
	102¾–93¾	13	19,3-20	-35
BI	78¾ – 31¼	12	14,6 – 16,4	-27
	31¼–20¾	12	14,1	-15
BII	78¾–31¼	12	15,1	-21
	31¼–20¾	10	14,6	-32
CI	20¾–11¼	13	17,6	-26
	20¾–11¼	12	12,6	-5
	11¼– -3	13	18,1	-28

Анализ этих данных показывает значительные отклонения от требований Правил.

По толщине обшивки наибольшие отступления наблюдаются на участках ниже пояса переменных ватерлиний, что объясняется несопадением границ районов усиления для разных клас-

сификаций и ледовых категорий. Сходная картина наблюдается и с бортовым набором корпуса судна. Подобная ситуация типична для случаев переклассификации судов с иностранной ледовой категорией.

Таблица 2

Толщина форштевня и прилегающих листов

Участок по высоте судна	Величины		Отклонение, %
	Построечные	По правилам	
ниже 6.8 м от ОП	24	24.4	-2
6.8–8.0 м от ОП	20	28.6	-30
8.0–8.6 м от ОП	20	30.7	-35
8.6–10.2 м от ОП	14	30.7	-54

В таких случаях необходимы либо ограничения на условия эксплуатации судна, определяемые безопасными скоростями движения и другими параметрами, либо значительные затраты на усиления корпуса для полного приведения судна в соответствие с требованиями российской ледовой классификации.

Таблица 3

Сравнение характеристик набора, рассчитанных на категорию Arc4, с построчными

Район	Участок судна, шп.	W _{постр.} , см ³	W _{расч.} , см ³	Наибольшее отклонение, %
AI	126-117	925	2133	-57
	117-112	925-932	1509-1875	-50
	103-112	1121-1155	2354-2276	-52
A _I I	103 - 96	1121-1156	1539-1804	- 36
	96 - 92	1121-1155	1539 - 3062	- 62
	92 - 79	1155	1966	-41
A _I II	92-79	1124	585	92
A _I IV	102-79	163	161	1
BI	79-62	301-234	1506-1620	- 86
	62 - 31	301-234	1426 - 1521	- 85
	31 - 28	301-234	924 - 928	- 75
	28 - 21	405 - 234	608 - 650	- 64
BII	79-62	301-234	284	- 18
	62 - 31	301-234	272	- 14
	31 - 28	299	264	13
CI	21 - 11	405 - 164	505 - 580	- 72

3. Эксплуатационные ограничения

Эксплуатационные ограничения (при отсутствии подкреплений) в форме диаграммы безопасных скоростей движения в самостоятельном плавании и в канале ледокола при разных условиях загрузки (водоизмещениях) судна показаны на диаграмме (Рис. 2).

Здесь видно, что судно в состояниях частичной или полной загрузки сохраняет достаточно высокие скоростные качества во льдах – до 4 узлов. При отсутствии грузов – в балластных переходах (что характерно при возвращении из Арктики) безопасные скорости из-за слабости корпуса падают до практически неприемлемого уровня – менее 1 узла.

Для устранения данного недостатка необходимо произвести эффективные ледовые подкре-

пления, прежде всего это относится к наиболее слабым участкам корпуса судна. В данном случае

это район ниже проектного ледового пояса судна.

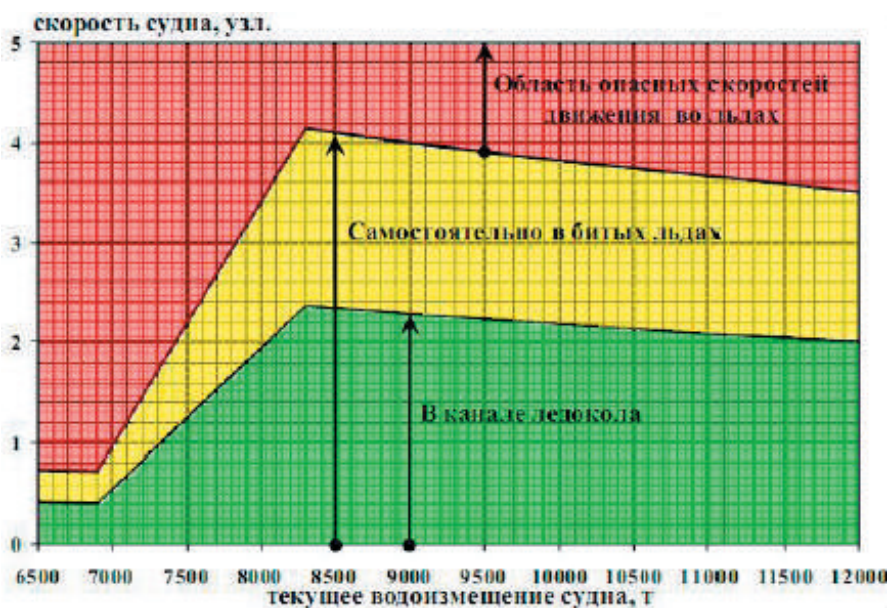


Рис. 2 Диаграмма безопасных скоростей движения

4. Схема усиления корпуса

Как показано выше, наиболее слабыми участками наружной обшивки являются:

- листы толщиной 20 мм, расположенные в районе 123 – 125 шп. над бульбом;
- листы толщиной 10–12 мм, расположенные ниже ледового пояса в районе 94 – 125 шп.

Наиболее слабыми элементами бортового набора являются основные и промежуточные шпангоуты, установленные между платформой 4.3 м от ОП и нижней палубой в районе 112 – 117 шп..

Для усиления корпуса с целью повышения ледовых качеств приняты следующие решения:

1. Форштевень и прилегающую обшивку подкрепить путем установки дополнительных бракет-брештуков.
2. Шпангоуты подкрепить путем установки бортового стрингера таврового сечения 10×500/10×150 на участке 115-117 шп..
3. Наружную обшивку ниже проектного ледового пояса подкрепить путём приварки наружных продольных сегментов (см. схему, Рис.3).

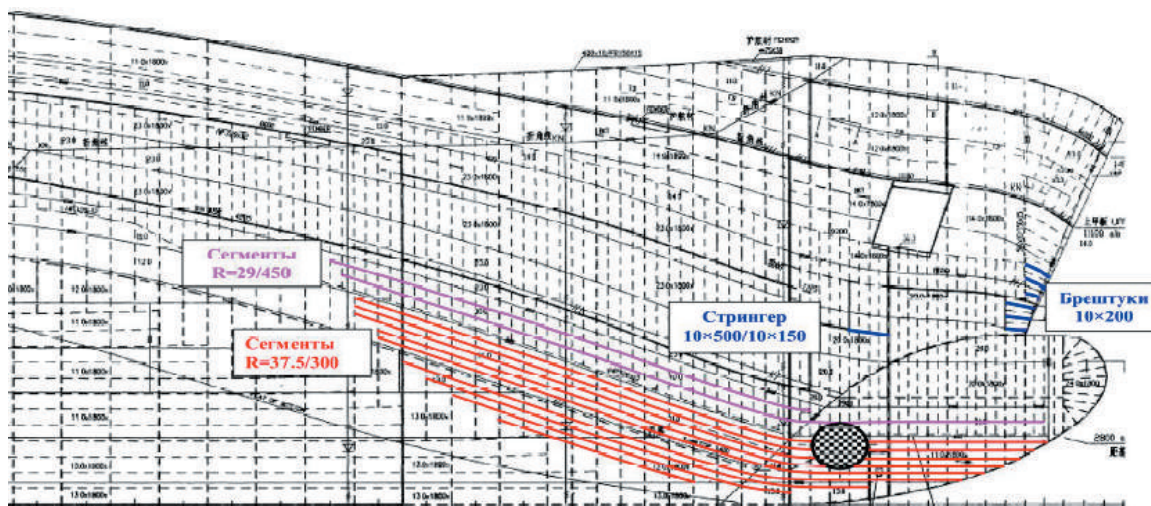


Рисунок 3. Схема ледовых усиления носового района т/х Севастополь

Наружные сегменты предложены в форме полукруглого сечения с радиусом 29 мм и интервалом 450 мм для верхнего участка борта, где установлены промежуточные шпангоуты. Для ниже-

расположенных участков борта и скулы сечение сегментов также полукруглое с радиусом 37,5 мм и интервалом 300 мм.

На фотографиях (Рис. 4 – 6) представлены фотографии - фрагменты реализации ледовых подкреплений носового района корпуса в процессе ремонта судна в 2015 году в Китае. Кроме но-

сового района были рекомендованы, но не реализованы подкрепления среднего района корпуса.

Размещение наружных сегментов в поперечном сечении показано на схеме (Рис. 7).

Учитывая, что подавляющая часть ремонтных работ была вынесена наружу, технологические сложности сведены к минимуму, а стоимость реализации ледовых усилений носового района составила менее 40 тыс. долларов США.



Рис. 4. Реализация ледовых усилений в Китае



Рис. 5. Завершение ремонта над бульбом



Рис. 6. Завершение усиления бульба

5. Оценка эффективности усилений

В процессе ремонта рассматривался вопрос об усилении среднего района корпуса. Принципи-

альная схема подкреплений показана на Рис. 8 и включала установку бортового стрингера на уровне 6,6 м от основной плоскости в отсеках двойных бортов по длине грузовой зоны. Реализация таких усилений увеличивала стоимость ремонта в 2 раза и от них отказались. Это не позволило претендовать на уровень категории Arc4 в символ класса.

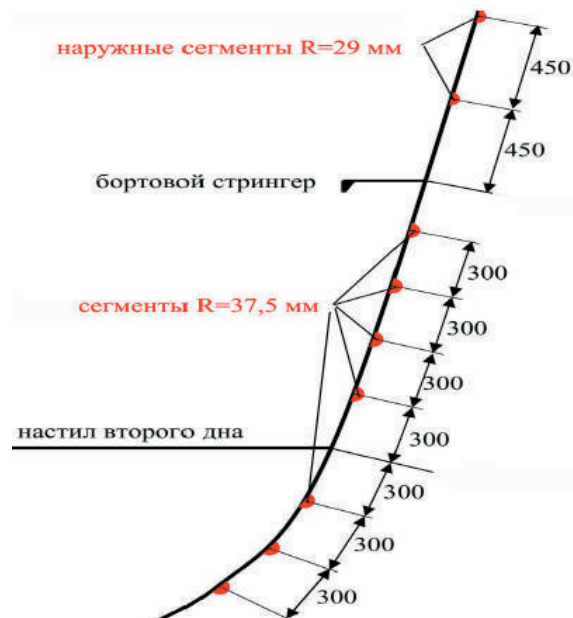


Рис. 7. Схема установки внешних сегментов

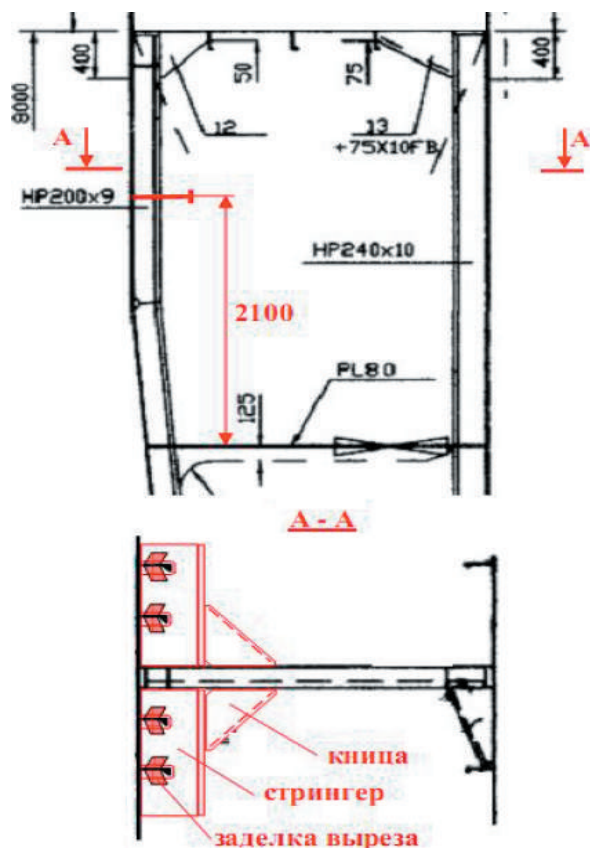


Рисунок 8. Схема подкреплений шпангоутов в двойных бортах грузовой зоны судна

Подкрепление обшивки наружными сегментами в носовом районе позволило значительно повысить предельную прочность. В Таблице 4 показано, что с учетом подкреплений толщины обшивки превышают требования на класс РС [4], но остаются меньше требований к новому судну.

Таблица 4

Сопоставление построечных толщин обшивки с расчетными значениями после подкреплений

Район	Шпангоуты	Построечная толщина, мм	Расчетная после подкрепления
AI	125-123	11	10.2 - 9.8
	123-112	11 - 13	7.7 - 8.8
	112-103	10 - 13	8.1 - 9.1
A ₁ I	103-94	10	7.3

Характеристики бортового набора в носовом районе с учетом подкреплений сравниваются в Таблице 5. В процентах дано отступление от нормативного значения. Здесь также достигнут уровень, требуемый на класс РС [4] при допуске на износ 20%. Таким образом, с учетом выполненных подкреплений корпусные конструкции носового района удовлетворяют условиям ледовой категории Arc4.

Таблица 5

Сравнение построечных характеристик набора с расчетными на категорию Arc4

Шпангоуты	Профиль (НР)	Участок по высоте	Расчетные характеристики с учетом подкрепления		
			W, см ³	A, см ²	S, мм
AI 117-112шп (помещение ПУ)					
Осн./Пром.	300×11	4.3-6.5м от ОП	1146	22,5	5.8
			-19%	56%	90%
		6.5-8.0м от ОП	567	21.4	5.6
			64%	65%	96%

Несмотря на частичную реализацию подкреплений удалось значительно (в 2,5 раза) повысить безопасную скорость движения судна во льдах в балластном состоянии.

Повышение безопасной скорости движения снижает продолжительность рейса, вероятность ледового плена судна и сопутствующих такому сценарию затрат.

6. Обсуждение

Практика показывает, что объем работ по ледовым усилениям судов иностранной постройки для российских условий и категорий может на порядок превышать стоимость, указанную для рассмотренного случая.

Как правило, инженерные компании для разработки проектов усиления чаще используют

формальный подход – определяют места и связи, не удовлетворяющие требованиям Регистра на желаемую категорию, и предлагают судовладельцу произвести замены с увеличением толщин и размеров связей до уровня требований. При этом, кроме высокой стоимости реализации таких подходов, возникают технологические проблемы, связанные с ограниченными пространствами отсеков в районе форштевня, форпика и скулы. Известны случаи отказов судоремонтных компаний производить такие усиления из-за трудной доступности к местам замен и невозможности гарантий качества работ.

Поэтому задача разработки эффективных и неформальных подходов к усилениям корпусов для плавания во льдах остается актуальной. Внешние усиления предоставляют определенные условия для решений такой задачи. Они обладают рядом существенных преимуществ (подробнее изложены в [1, 5]):

- меньшая по сравнению с традиционными способами трудоемкость и стоимость;
- расстояние между наружными сегментами можно варьировать в более широком диапазоне, чем при установке промежуточного набора внутри корпуса, и возможно достижение большей ледовой прочности;

- наружные усиления, кроме повышения прочности, защищают наружную обшивку при контактных взаимодействиях корпуса судна со льдом и повышают ресурс - долговечность корпуса.

Широкому применению таких решений пока препятствует слабая изученность, отсутствие доступной эксплуатационной информации, методических указаний и регламентации со стороны Регистра.

Заключение

В представленной работе описан вариант эффективных и недорогих ледовых усилений корпуса. Рассмотрены различные приемы повышения ледовой прочности и показана актуальность и перспективность разработки нетрадиционных подходов к ледовым усилениям.

Авторы выражают глубокую признательность ведущему специалисту ОАО «Дальневосточный центр судостроения и судоремонта», к.т.н., доценту Каленчуку С.В. и техническому директору судоходной компании «Гудзон» Нестеренко Л.А. за содействие данной работе и поддержку в реализации нетрадиционных ледовых усиления судна при ремонте.

Литература

1. Козаков Е.В., Каленчук С.В., Котлярова И.А., Сидоренко И.С. Повышение ледовых качеств реклассифицированных судов. Вологдинские чтения, №71, Владивосток, 2008, с. 119-123
2. Кулеш В.А., Каленчук С.В. Ледовая сертификация судов на условия арктических категорий. Морские интеллектуальные технологии. № 3 (33). Т.1. СПб. 2016. С.52-56.
3. Методика расчетного обоснования скоростей движения судов во льдах для соответствия ледовой категории Регистра с ограничениями. № 11-11, ООО «НТЭК», Владивосток, 2011.

4. Правила классификационных освидетельствований судов в эксплуатации. Российский Морской Регистр Судоходства. Санкт-Петербург, 2016.
5. Victor A. Kulesh. Improving operational reliability of ice reinforcements of vessels hulls// Asia-Pacific Journal of Marine Science&Education, Vol. 3, No. 1, 2013, pp. 9-16

References

1. Kozakov E.V., Kalenchuk S.V., Kotlyarova I.A., Sidorenko I.S. Povyslenie ledovih kachestv reclassifitsirovannyh sudov. Vologdinskie Chtenia, No. 71, Vladivostok, 2008, p. 119-123
2. Kulesh V.A., Kalenchuk S.V. Ledovaya sertifikatsia sudov na uslovia arcticheskikh kategoriy. Marine intelligent technologies. № 3 (33). Т.1. SPB. 2016. P.52-56
3. Methodika raschetnogo obosnovania skorostey dvizhenia sudov vo ldah dlya sootvetstvia ledovoy kategorii Registra s ogranicheniami. №11-11, ООО «NTEK», Vladivostok, 2011.
4. Pravila klassifikatsionnyh osvidetel'stvovaniy sudov v ehkspluatacii. Rossijskij Morskoj Registr Sudohodstva. Sankt-Peterburg, 2016
5. Victor A. Kulesh. Improving operational reliability of ice reinforcements of vessels hulls// Asia-Pacific Journal of Marine Science&Education, Vol. 3, No. 1, 2013, pp. 9-16

УДК 629.5.083.5:629.565.2

МАТРИЧНЫЙ РАСЧЁТ МЯГКОБОЛОЧЕЧНЫХ ВЕТРОЗАЩИТНЫХ ЗАКРЫТИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ КОМБИНИРОВАННЫХ МОДЕЛЕЙ

Анатолий Иванович Азовцев

доктор технических наук, профессор
начальник кафедры Теории и устройства судна
Морской государственной университет им. адм. Г.И. Невельского
690059, Владивосток, ул. Верхнепортовая, 50-а
e-mail: Azovtsev@msun.ru

Алексей Сергеевич Огай

кандидат технических наук, доцент
доцент кафедры Теории и устройства судна
Морской государственной университет им. адм. Г.И. Невельского
690059, Владивосток, ул. Верхнепортовая, 50-а
e-mail: Ogay_A@msun.ru

Анна Ивановна Заводовская

доцент кафедры Экономики и финансов
Морской государственной университет им. адм. Г.И. Невельского
690059, Владивосток, ул. Верхнепортовая, 50-а
e-mail: Zavodovskaya@msun.ru

Аннотация

В работе рассмотрены современные подходы к расчёту напряжённо-деформированного состояния пространственных мягкооболочечных комбинированных конструкций, ориентированные на использование матричных методов. Выполнен нелинейный расчёт проницаемого ветрозащитного закрытия торца плавучего дока методом конечных элементов. В работе уточнен характер распределения ветровой нагрузки на закрытие по высоте дока с учётом пульсационной составляющей. Получены значения ветровой нагрузки на полотнище закрытия в зависимости от его проницаемости.

На основании расчётов установлена взаимосвязь проницаемости клапана с его геометрическими параметрами. Исследована зависимость формообразования и напряжённо-деформированного состояния ветрозащитного закрытия от проницаемости полотнища. Предложен подход определения аэродинамических коэффициентов с учётом проницаемости ветрозащитного закрытия. Численный эксперимент по предложенной методике подтвердил возможность выполнения проектных расчётов ветрозащитных закрытий с заранее заданными свойствами.

Ключевые слова: судоремонт, плавучий док, ветрозащитное торцовое закрытие, мягкая оболочка, ткани с полимерным покрытием

MATRIX-BASED CALCULATION OF THE SOFT-COVERING WIND-PROOF CLOSINGS BASED ON THE COMBINED MODELS

Anatoliy Ivanovich Azovtsev

Professor, Dr. Sci. Tech.
Director of Naval architecture department
Maritime state university named Admiral G. Nevelskoy
50 – a, Verkhneportovaya st., 690059, Vladivostok, Russia
tel.: (423) 241–49–68; e-mail: Azovtsev@msun.ru

Alexey Sergeevich Ogai

Associative professor, Cand. Sci. Tech.
Associative professor of Naval architecture department
Maritime state university named Admiral G. Nevelskoy
50 – a, Verkhneportovaya st., 690059, Vladivostok, Russia
e-mail: Ogay_A@msun.ru

Anna Ivanovna Zavodovskaya

Associative professor of department of Economics and finance
Maritime state university named Admiral G. Nevelskoy

50 – а, Verkhneportovaya st., 690059, Vladivostok, Russia
e-mail: Zavodovskaya @msun.ru

Abstract

In the article is studied the modern matrix-oriented approaches to the calculation of the stress and strain state of the spatial soft-covering combined constructions. Implemented the nonlinear calculation of the permeable wind-proof dock end closing with the use of finite elements method. In the article specified the way of the wind load distribution on the closing throughout the height of the dock with an allowance for fluctuating element. Calculated the value of the wind load to the breadth of the end closing depending on its permeability.

Based on calculations determined the interconnection between flap permeability and its geometry variables. Studied the relation between morphogenesis and stress-strain state of the wind-proof closing and permeability of the breadth of closing. Suggested the approach to calculate aerodynamic coefficients with an allowance for permeability of the wind-proof end closing. The numerical experiment fulfilled according to the proposed method confirmed an opportunity to carry out the design calculations of the windproof end closings with pre-assigned properties.

Keywords: *ship repair, floating dock, wind-proof end closing, soft cover, polymeric-coating fabric*

Введение

Плавающие доки в соответствии с Требованиями техники безопасности к морским судам, Правилами безопасности труда на промышленных предприятиях Минморфлота, а также Рекомендациями по выбору типов, количества и расположения ветрозащитных устройств на плавучих доках должны быть оборудованы торцевыми и промежуточными ветрозащитными закрытиями [1-3].

Ветрозащитные торцевые закрытия являются штатным оборудованием дока, служат для организации труда рабочих мест доковых рабочих. Они должны быть рассчитаны на ветровую нагрузку, действующую в географическом регионе эксплуатации дока в соответствии с правилами Российского морского регистра судоходства.

Эргономические требования к улучшению условий труда рабочих судоподъёмных сооружений направлены на интенсификацию судоремонтного производства, повышение его безопасности, обеспечение высокого качества и сокращение длительности технологических процессов.

В последнее время наряду с традиционными металлическими торцевыми закрытиями используются закрытия, выполненные из тканей с полимерным покрытием. Из них следует отметить проницаемое закрытие торца дока [4]. Эти конструкции используются на плавучих доках грузоподъёмностью 8500 тонн и требуют усовершенствования.

Данное закрытие выполнено в виде шторы из эластичных клапанов в форме трапеции, закреплённых по трём сторонам на горизонтальных и вертикальных фалах. Полотнище шторы по нижней и верхней кромке закреплёно между башнями рабочего торца дока с помощью металлических тросов.

Это новые облегчённые большепролётные висячие системы закрытия торцов доков, методика расчёта которых в настоящее время разрабатывается и уточняется. Разработка эффективных алгоритмов расчёта висячих комбинированных конструкций изменяемой формы в потоке в геометрически и физически нелинейной постановке

является актуальной задачей повышения использования высокопрочных материалов.

Одной из проблем применения висячих мягкооболочечных конструкций является их значительная кинематическая подвижность и деформативность. Расчётные модели таких конструкций относят к классу геометрически и физически нелинейных систем с односторонними связями.

Эксплуатационную готовность и надёжность ветрозащитного закрытия торца дока в большей степени определяет ветровая нагрузка. К сожалению, в российских нормах [5-8] вопрос расчёта ветрового давления на сооружения из мягких оболочек не освещён, что требует проведения дополнительных исследований и уточнения действия ветровой нагрузки на закрытие. В частности вызывает затруднение расчёт давления ветра на мягкое полотнище закрытия.

Проницаемость является плавно действующим демпфирующим фактором, оказывающим существенное влияние на напряжённо-деформированное состояние конструкций. Для исследуемого закрытия его проницаемость является важнейшим аэродинамическим свойством, связанным с его конструктивной формой. В данной работе рассматривается влияние геометрических параметров клапанов на проницаемость.

Настоящая работа посвящена:

- уточнению характера распределения ветровой нагрузки на закрытие по высоте дока с учётом пульсационной составляющей;
- исследованию зависимости формообразования и напряжённо-деформированного состояния (НДС) исследуемой конструкции от проницаемости полотнища.

1. Методы расчёта

Современные подходы к анализу НДС сложных пространственных мягкооболочечных конструкций ориентированы на использование матричных методов. Матричный нелинейный расчёт закрытия выполняется методом конечных элементов в форме метода перемещений с использованием итерационного метода решения системы нелинейных алгебраических уравнений на

основе метода Ньютона-Канторовича, продолжения по параметру возмущения и методов установления.

Используется один из подходов нелинейной теории упругости, который заключается в линеаризации уравнений движения относительно произвольного НДС, принимаемого на каждом шаге за исходное, что приводит к уравнениям вращениях [9].

Механика деформирования элементов закрытия может быть изучена на основе комбинированных расчётных схем. При построении дискретных моделей фрагменты мягкой оболочки аппроксимируются совокупностью плоских треугольных конечных элементов (рис. 9), а тросовые фрагменты (фалы, на которых закреплены клапаны, и крепёжные тросы) – растянуто-напряжёнными стержнями.

Для конструкций, составленных из элементов разного вида, соединяемых в узлах, в силу различия функций формы матрица реакций для системы получается суммированием матриц реакций отдельных элементов. При этом условие совместности перемещений выполняется в общем случае лишь в узловых точках. Такой подход используется при решении данной задачи.

2. Определение проницаемости ветрозащитного закрытия

Раскрой оболочки закрытия выполнен в виде набора клапанов из эластичного воздухонепроницаемого материала, которые имеют одинаковый размер и раскройную форму в виде трапеции. При действии ветра верхние незакреплённые кромки клапанов прогибаются, приобретая форму дуги окружности (см. схему, Рис. 1).

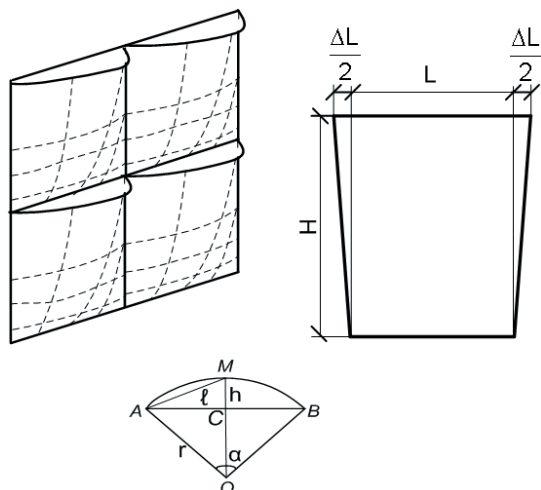


Рис. 1. Фрагмент ветрозащитного закрытия в рабочем состоянии, раскройная форма клапана, сегмент круга

В результате клапан приобретает выпуклую форму лотков, круто направленных вверх. Угол наклона в лотках зависит от разности длин верхней и нижней сторон клапана (ΔL).

Поток воздуха поворачивается вверх при взаимодействии с поверхностью клапана, создавая

противоток основному ветровому потоку над закрытием. При этом проницаемость закрытия снижает ветровое воздействие на конструктивные элементы, а смещение ветрового потока вверх позволяет увеличить ветровую тень [10].

Открывающийся проём клапана представляет собой сегмент, геометрические параметры которого вычисляются по следующим формулам:

длина хорды AM $\ell = \frac{3p+L}{8}$ из формулы Гюйген-

са $p \approx 2\ell + \frac{2\ell-L}{3}$, где p – длина дуги, равная

незакреплённой стороне клапана, L – длина хор-

ды AB , равная длине закреплённой стороны кла-

пана; высота сегмента $h = \frac{\sqrt{9p^2 + 6pL - 15L^2}}{8}$; ра-

диус окружности $r = \frac{L^2 + 4h^2}{8h}$, площадь сегмента

$S_{\text{segm}} = \frac{1}{2}(p \times r - L \times r + Lh)$.

Рационально выполнять расчёт в безразмер-

ной форме. Обозначим $h_0 = \frac{h}{L}$, $r_0 = \frac{r}{L}$,

$S_{\text{segm}0} = \frac{S_{\text{segm}}}{L^2}$.

Расчётные формулы примут вид:

$h_0 = \frac{3\Delta L_0}{8} \sqrt{1 + \frac{8}{3\Delta L_0}}$, $r_0 = \frac{1}{2} \left(h_0 + \frac{1}{4h_0} \right)$,

$S_{\text{segm}0} = \frac{1}{2} (h_0 + r_0 \times \Delta L_0)$, где $\Delta L_0 = \frac{\Delta L}{L}$, (1)

где ΔL – избыток длины верхней стороны кла-

пана. Коэффициент проницаемости (в %) определяется отношением суммы площадей просветов к площади проекции конструкции закрытия на вертикальную плоскость

$$\mu = \frac{\sum S_{\text{segm}}}{S_f} \times 100\% . \quad (2)$$

Численный эксперимент проведен для плавучего дока производства Херсонского завода «Паллада» проектов 1760, 1760ПР грузоподъёмностью 8500 тонн, с главными размерениями: длина наибольшая 155,5 м, высота понтона 4,8 м, высота от ОП до Топ-Палубы 14,8 м, ширина между башнями 25,2 м. Размеры полотнища закрытия: ширина 25,2 м, высота 10 м.

В этой серии экспериментов исследовали варианты клапанов, имеющих одинаковую высоту (2,00 м) и одинаковую ширину нижней стороны (1,26 м), т. е. полотнище состоит из 20 клапанов по ширине дока и 5 клапанов по высоте. Варьировали избыток длины незакрепленной стороны ΔL от 0,05 м до 0,25 м с шагом 0,05 м. Величина $\Delta L/L$ была принята как основной геометриче-

ский параметр модели, равнялась соответственно 0,04; 0,08; 0,12; 0,16; 0,20.

Расчётные кривые, построенные по формулам (1) приведены на рис. 2. По графикам при разных значениях $\Delta L/L$ можно определить геометрические характеристики клапана. Определена минимально необходимая величина $\Delta L = 0,05$ м, при которой острый угол трапеции составляет 89° .

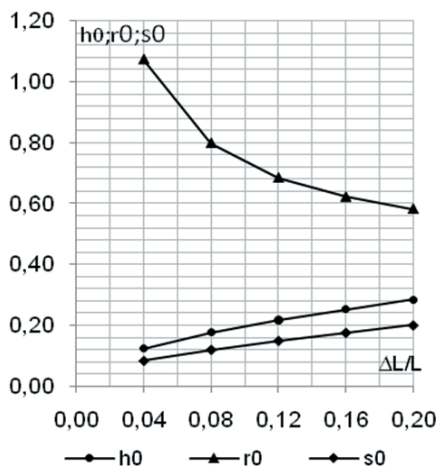


Рис. 2. Зависимость геометрических параметров клапана от длины незакрепленной стороны

Далее исследовали влияние на проницаемость высоты клапана, т. е. количества клапанов по высоте полотнища. Длина закрепленной стороны и количество клапанов по ширине дока не менялись. Варьировалось количество клапанов по высоте полотнища от 5 до 12. Величина H при этом принимала соответственно значения 2,00; 1,67; 1,43; 1,25; 1,11; 1,00; 0,91; 0,83.

На графиках (Рис. 3) приводятся коэффициенты проницаемости, вычисленные по формуле 2, в функции переменных высоты клапана H и параметра изменения избытка длины незакрепленной стороны $\Delta L/L$.

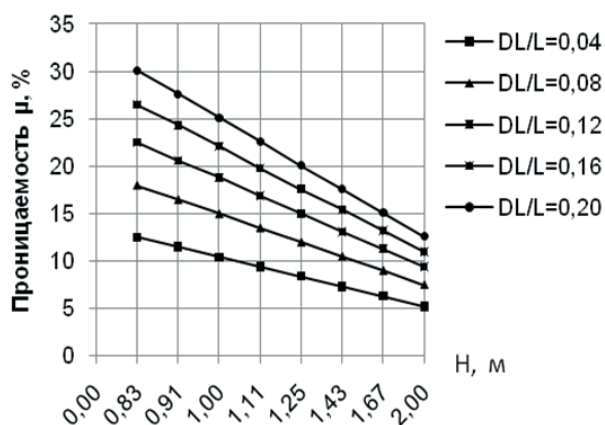


Рис. 3. Коэффициенты проницаемости

На основании проведённых расчётов установлена взаимосвязь проницаемости клапана с его геометрическими параметрами. (рис. 3). Минимальная проницаемость наблюдается при варианте полотнища с пятью клапанами по высоте. С увеличением количества клапанов по высоте полотнища и длины

незакрепленной стороны проницаемость ветрозащиты возрастает.

3. Определение расчётной ветровой нагрузки

Полотнище имеет сложную геометрическую форму, для которой в [5] не приводятся значения аэродинамических коэффициентов для назначения действующих на него ветровых нагрузок. Для их определения также использованы подходы, принятые в [11]. С учётом применения ЭВМ необходимые табличные данные из нормативных документов представлены в виде аналитических зависимостей.

В соответствии со СНиП 2.01.07-85* «Нагрузки и воздействия» [5] нормативное значение ветровой нагрузки на несущие и ограждающие конструкции рассматривается как сумма нормативных значений средней (статической) и пульсационной (динамической) составляющих

$$w_i = w_m + w_\delta, \tag{3}$$

где

$$w_m = w_0 \cdot k(z) \cdot c, \tag{4}$$

$$w_p = w_m \cdot \xi \cdot \zeta(z) \cdot v, \tag{5}$$

w_0 – нормативное значение ветрового давления, принимаемого по [5] в зависимости от ветрового района; $k(z)$ – коэффициент, учитывающий изменение средней составляющей давления ветра по эквивалентной высоте z (в метрах) в зависимости от типа местности; c – аэродинамический коэффициент; ξ – коэффициент динамичности; $\zeta(z)$ – коэффициент пульсации давления ветра; v – коэффициент пространственной корреляции пульсации давления ветра.

Расчётная ветровая нагрузка определяется с учётом коэффициента надёжности по нагрузке $\gamma_f = 1,4$: $w = w_i \cdot \gamma_f$. $\tag{6}$

Принимая во внимание, что плавучие доки находятся в акватории морских портов, то при определении ветрового давления эта местность может быть классифицирована как местность типа «А» (п.11.1.6 СНиП). Коэффициенты $k(z)$ для местности типа «А» определяется по зависимости, предложенной в [12]

$$K(z) = \begin{cases} 0,75, & z \leq 5 \\ 0,170 + 0,361 \cdot \ln z, & 5 < z \leq 50 \end{cases} \tag{7}$$

Аэродинамические коэффициенты для дока предлагается определить по схеме Д.1.9. Приложения Д «Здания, постоянно открытые с одной стороны» (рис. Д.11, схема слева СНиП) для наветренной стороны $c_a = 0,8$, для подветренной стороны $c_i = -0,2$. Аэродинамический коэффициент полного давления c_p вычисляется по формуле

$$\tilde{n}_p = c_a + c_i. \tag{8}$$

Очевидно, что методика расчёта давлений, применяемая для зданий, может быть распространена и на ветрозащитные закрытия доков.

Согласно данной схемы, если при эксплуатации ограждения его проницаемость $\mu \leq 5\%$, то $c_i = -0,2$, при $\mu \geq 30\%$ $c_i = -0,5$. Для других значений μ коэффициент внутреннего давления c_i предлагается определять в зависимости от проницаемости по формуле

$$a_n = a_1 + d(n-1) \quad (9)$$

с помощью арифметической прогрессии из 51 члена, первый член которой равен $-0,2$, последний $-0,5$, разность прогрессии $-0,006$ (рис. 4).

Используя расчётные значения проницаемости для различных вариантов конструкции ветрозащитного закрытия (Рис. 3) и значения аэродинамического коэффициента внутреннего давления, были определены аэродинамические коэффициенты полного давления по формуле 8 (Рис. 4). С увеличением проницаемости закрытия от 5% до 30% аэродинамический коэффициент полного давления уменьшается от 0,6 до 0,3.

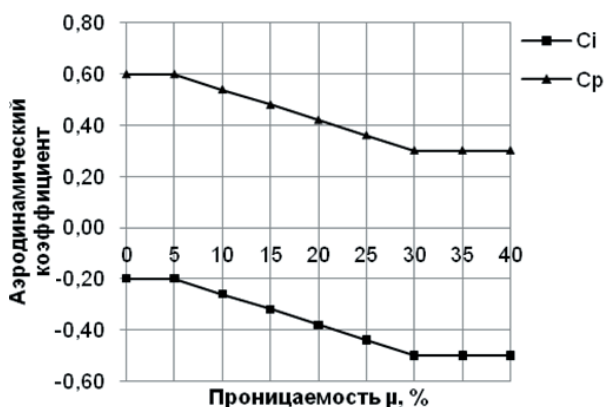


Рис. 4. Значения аэродинамических коэффициентов внутреннего и полного давления ветра в зависимости от проницаемости ветрозащитного закрытия

Для расчёта пульсационной составляющей ветровой нагрузки по формуле (5) использованы экспериментальные данные ЗАО «НПП «Хитон», полученные в результате исследования обтекания моделей мягких оболочек в аэродинамической трубе ЦАГИ им. Н.Е. Жуковского и натурных испытаний сооружений с тканевыми ограждающими поверхностями [11]. Основные положения данной работы позволяют путём уточнения методики, принятой в нормативных документах, уточнить и распространить методологию СНиП на сооружения изменяемой формы.

Сотрудниками ЗАО «НПП «Хитон» были получены значения логарифмических декрементов колебаний и частот собственных колебаний исследуемых сооружений (для значений двух первых тонов), что позволяет в пересчёте на значения скоростей ветровых районов дополнить данные СНиП.

В соответствии с обозначениями на рис. 12 [11] для исследуемого закрытия принимаем зна-

чение логарифмического декремента колебаний $\delta = 0,075$ для мембранных конструкций, выполненных с использованием инженерных систем тканевых с несущими конструкциями решетчатыми. С учётом выбранного типа сооружения и ветрового района по данному рисунку определяется частота собственных колебаний f_1 . Например, IV ветровому району (Владивосток) соответствует скорость потока 27,71 м/с, для данного типа сооружения $f_1 = 7,2$ Гц.

Значение параметра динамичности по рекомендации СНиП (п.11.1.8) определяется выражением

$$\varepsilon = \frac{\sqrt{w_0 \cdot k(z) \cdot \gamma_f}}{940 \cdot f_1} = \frac{\sqrt{480 \times 1 \times 1,4}}{940 \times 7,2} = 0,0038 \quad (10)$$

Коэффициент динамичности $\xi = 1,2$ для закрытия определяется в зависимости от вида конструкции, т. е. от параметра динамичности ε и логарифмического декремента δ по рис. 13 [11].

Коэффициент пульсации давления ветра на уровне z предлагается аппроксимировать зависимостью

$$\zeta = \begin{cases} 0,85, & z \leq 5 \\ 0,990 - 0,101 \times \ln z, & 5 < z \leq 50 \end{cases} \quad (11)$$

полученной при обработке табл. 11.4 [5] для типа местности «А».

Коэффициент пространственной корреляции пульсаций давления ν определяется для расчётной поверхности конструкции по табл. 11.6 [5] в зависимости от параметров ρ и χ , принимаемых по табл. 11.7.

Для рассматриваемого примера расчётная поверхность является прямоугольником, определяется шириной ρ и высотой χ торца дока. Для плавучего дока проектов 1760, 1760ПР $\rho = 25,2$ м, $\chi = 10$ м. Для этих размеров торца дока значение $\nu = 0,77$.

4. Результаты исследования и их обсуждение

Расчёт ветрозащитного закрытия выполнен методом конечных элементов с использованием программ, написанных на языке Object Pascal в среде Delphi 7 [13]. В основу программ положена система математического обеспечения комплекса «Прочность – 75», написанного на языке Фортран для ЕС ЭВМ, которая приспособлена к современным вычислительным системам и дополнена программными модулями.

Расчёт выполнен для конкретного типа материала 8-98 с двусторонним покрытием. Тканевая основа – капрон в два слоя, толщина 0,05 см. масса 630 г/м², плотность $1,26 \times 10^{-3}$ кг/см³, прочность на разрыв по основе и по утку 180 кгс/см. Материал оболочки принимался изотропным с модулем упругости $E = 14,7$ МПа, коэффициентом Пуассона $\nu = 0,387$. Крепёжные тросы верхний и

нижний – канат двойной свивки типа ЛК РО конструкции 6×36(1+7+7/7+14)+7×7(1+6) по ГОСТ 7669-80 диаметром 28 мм. Вертикальные и горизонтальные фалы – канат полиамидный тросовой свивки по ГОСТ 30055-93 диаметром 10 мм. Боковые кромки полотнища по периметру усилены капроновым канатом диаметром 22,3 мм.

Расчётная схема клапанов приведена на рис. 9. Конструкция, например для 8 клапанов по высоте и 20 по ширине полотнища, состоит из 1280 треугольных КЭ. Тросовая система моделируется шарнирно-стержневой системой из 720 КЭ.

Расчёт выполнен для четырех вариантов конструкции с разной проницаемостью, содержащих от 5 до 8 клапанов по высоте полотнища и по 20 клапанов по ширине. Давление ветра определялось по предложенной выше методике для ветрозащитного закрытия, установленного на доке в IV ветровом районе.

На графиках и эпюрах (Рис. 5–8) приведены результаты расчётов для варианта с 8 клапанами по высоте полотнища.

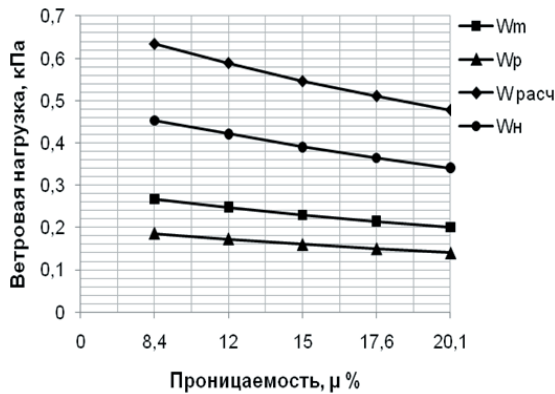


Рис. 5. Зависимость ветровой нагрузки от проницаемости полотнища

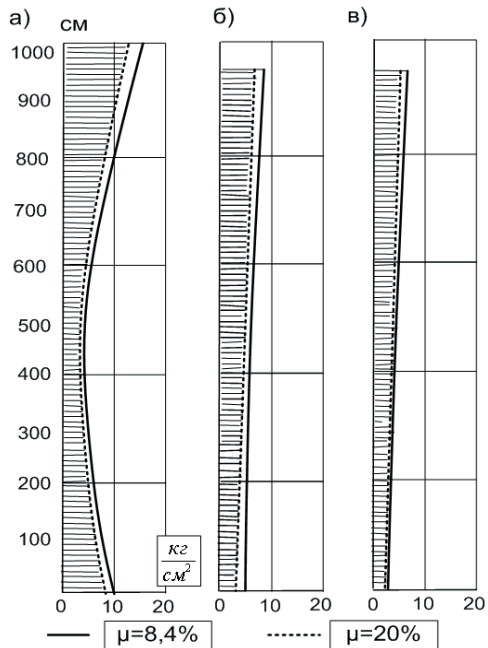


Рис. 6. Эпюры главных максимальных напряжений, мПа, при параметре нагрузки $\lambda = 0,5$ в зависимости

от проницаемости закрытия: а – в сечении А – А, б – в сечении Б – Б, в – в сечении В – В)

Расчётная величина ветровой нагрузки на высоте 10 м (высота расположения флюгера метеостанции) в зависимости от проницаемости (длины незакреплённой стороны) представлена на графиках (Рис. 5).

Расчётная ветровая нагрузка на полотнище варианта $\Delta L / L = 0,04$, $\mu = 8,4\%$ больше на 34,04% по сравнению с вариантом $\Delta L / L = 0,20$, $\mu = 20,1\%$.

Расчётная схема полотнища закрытия приведена на Рис. 9.

Повышение проницаемости с 8,4% до 20% снижает главные максимальные напряжения по краю полотнища (сечение А – А) в верхней части на 15%, в нижней на 10 %, что важно, поскольку в этих местах полотнище крепится к доку с помощью крепёжных тросов (Рис. 6, а).

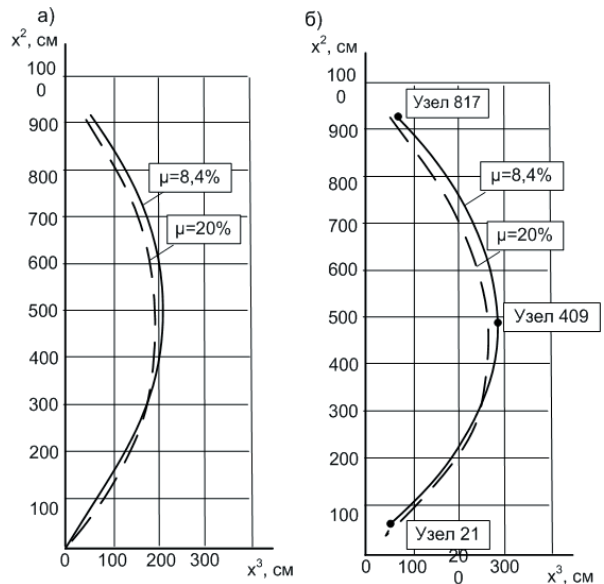


Рис. 7. Влияние проницаемости на форму провисания закрытия при параметре нагрузки $\lambda = 0,5$: а – нижний трос закреплён, б – нижний трос не закреплён

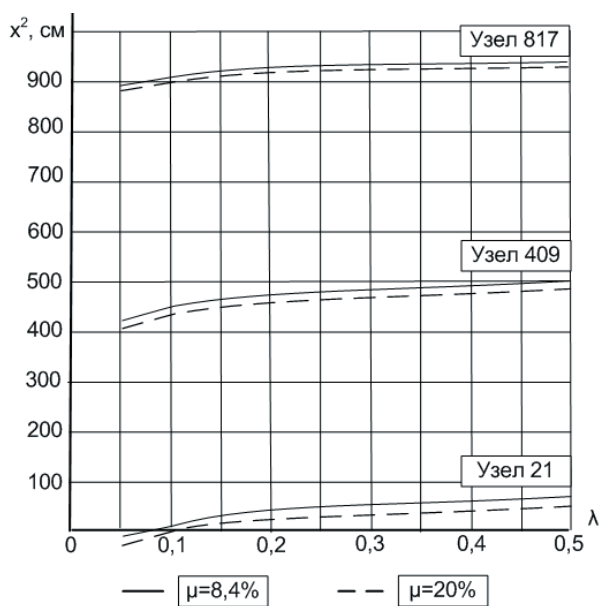


Рис. 8. Вертикальные перемещения узлов в плоскости симметрии закрытия в зависимости от параметра нагрузки $\lambda = 0,5$, нижний трос не закреплён

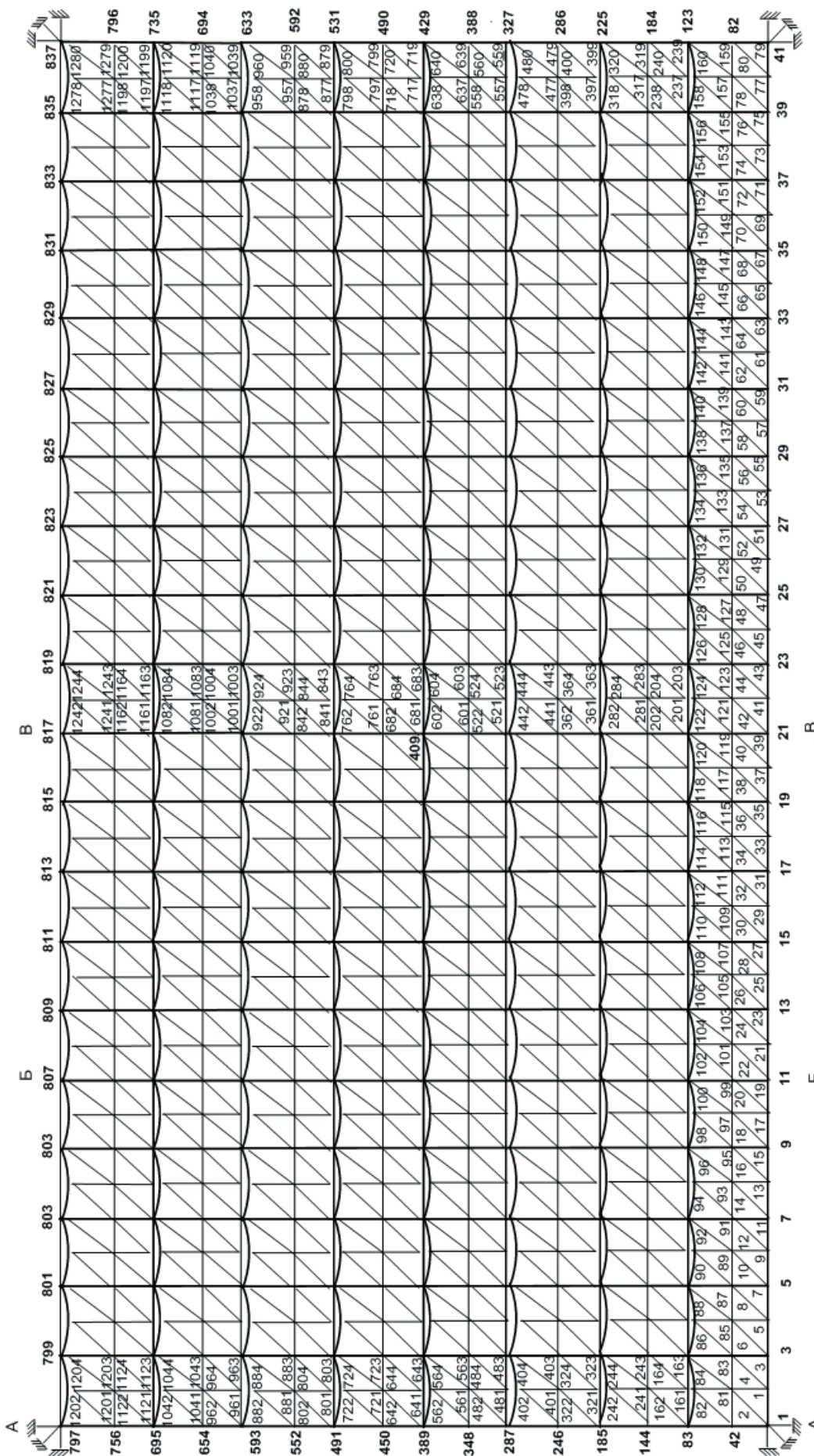


Рис. 9. Расчётная схема полотнища из клапанов (нумерация узлов и элементов мягкой оболочки)

В сечении Б – Б увеличение проницаемости закрытия с 8,4% до 20% снижает главные максимальные напряжения на 10% практически равномерно по высоте (Рис. 6, б). В средней части закрытия в сечении В – В увеличение проницаемости на ту же величину вызывает уменьшение главных максимальных напряжений на 7% только в верхней части закрытия (Рис. 6, в).

Так как нагрузка от ветра изменяется по величине и направлению во времени незначительно, то форма закрытия постоянно не меняется из-за гибких вертикальных связей, натягивающихся между верхним и нижним металлическими тросами при приведении закрытия в рабочее положение (Рис. 7).

В нижней части закрытия на высоте до 3,5 м от ступень-палубы форма закрытия практически не меняется. На высоте более 3,5 метров эффект влияния проницаемости закрытия на изменение формы становится значительным.

Перемещения узлов в плоскости симметрии за счет проницаемости закрытия незначительны. Перегибы на графике вертикального переме-

ния узла 21 соответствуют образованию складок внизу полотнища на начальном этапе нагружения. Наибольшие вертикальные перемещения в плоскости симметрии имеют узлы в нижней и средней части полотнища при малых параметрах нагрузки.

Таким образом, проницаемость ветрозащитного закрытия позволяет частично разгрузить конструкцию от давления ветра.

Заключение

Обширный численный эксперимент по предложенной в статье методике подтвердил возможность выполнения проектных расчётов ветрозащитных закрытий с заранее заданными свойствами. Влияние значительных формоизменений на характер ветрового воздействия адекватно учитывается в расчётной схеме.

Предложенная схема расчёта может быть использована не только для проектирования ограждающих конструкций, но и для разработки устройств по управлению потоками.

Литература

1. Требования техники безопасности к морским судам : РД 31.81-01-87 : утв. Минморфлотом и Минсудпромом РФ 02.08.88 г. : введ. в действие с 01.07.1990 г.
2. Правила безопасности труда на промышленных предприятиях Минморфлота : РД 31.83.04-89 : утв. Минморфлотом СССР 12.07.90 : введ. в действие с 01.03.1991 г.
3. Рекомендации по выбору типов, количества и расположения ветрозащитных устройств на плавучих доках : РД 31.83.06-83 : утв. Минморфлотом СССР 01.01.1970 : введ. в действие с 01.06.84. – М.: Мортехинформреклама, 1984. – 31с.
4. Ветрозащитное закрытие / а.с. 1622222 СССР, МКИ₅ В 63 С 5/00 / С. А. Огай, В. В. Малышкин : заявитель и патентообладатель ДВВИМУ им. адм. Г.И. Невельского. – №4640610/11 / заявл. 26.12.88 ; опубл. 23.01.91, Бюл. № 3. – 8 с.
5. Свод правил СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85* : утв. Минстрой РФ 03.12.2016 : введ. в действие с 04.06.2017.
6. Свод правил СП 131.13330.2012 Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99* : утв. Минрегион России 30.06.2012 : введ. в действие с 01.01.2013.
7. Рекомендации по уточненному динамическому расчету зданий и сооружений на действие пульсационной составляющей ветровой нагрузки : утв. ЦНИИСК 15.12.99.
8. Правила устройства электроустановок (ПУЭ) : утв. Минэнерго России 08.07.2002 : введ. в действие с 01.01.2003.
9. Оден Дж. Конечные элементы в нелинейной механике сплошных сред. М.: Мир, 1976. – 464 с.
10. Огай А. С. Разработка методик расчёта и выбора вспомогательных мягкооболочечных доковых устройств : дис. ... канд. техн. наук : 05.08.04 : – Владивосток, 2004. – 165 с.
11. Расчет зданий и сооружений на ветровую нагрузку. Модель ветрового воздействия для сооружений изменяемой формы в потоке. <http://www.chiton.orq.ru> (Дата обращения: 07.08.2006).
12. Заводовская, А. И. Учет ветровой нагрузки при проектировании ветрозащитного торцового закрытия плавучего дока // Проблемы транспорта Дальнего Востока: материалы седьмой Международной научно-практической конференции. – Владивосток, 2007. – С. 183–185.
13. Заводовская А.И. Комплекс программ для исследования сильно-нелинейных комбинированных мягкооболочечных конструкций // Материалы шестой международной научно-практической конференции «Проблемы транспорта Дальнего Востока». – Владивосток, 2005. – С. 230-232.

References

1. Trebovanija tehniki bezopasnosti k morskim sudam : RD 31.81-01-87 : utv. Minmorflotom i Minsudpromom RF 02.08.88 g. : vvod. v dejstvie s 01.07.1990 g.
2. Pravila bezopasnosti truda na promyshlennyh predpriyatijah Minmorflota : RD 31.83.04-89 : utv. Minmorflotom SSSR 12.07.90 : vvod. v dejstvie s 01.03.1991 g.

3. Rekomendacii po vyboru tipov, kolichestva i raspolzhenija vetrozashhitnyh ustrojstv na plavuchih dokah : RD 31.83.06-83 : utv. Minmorflotom SSSR 01.01.1970 : vvod. v dejstvie s 01.06.84. M.: Morteinformreklama, 1984. 31s.
4. Vetrozashhitnoe zakrytie / a.s. 1622222 SSSR, MKI5 V 63 S 5/00 / S. A. Ogaj, V. V. Malyskin : zajavitel' i patentoobladatel' DVVIMU im. adm. G.I. Nevel'skogo. №4640610/11. zajavl. 26.12.88; opubl. 23.01.91, Bjul. № 3. 8 s.
5. Svod pravil SP 20.13330.2016 Nagruzki i vozdeystvija. Aktualizirovannaja redakcija SNiP 2.01.07-85* : utv. Minstroj RF 03.12.2016 : vvod. v dejstvie s 04.06.2017.
6. Svod pravil SP 131.13330.2012 Stroitel'naja klimatologija. Aktualizirovannaja redakcija SNiP 23-01-99* : utv. Minregion Rossii 30.06.2012 : vvod. v dejstvie s 01.01.2013.
7. Rekomendacii po utochnennomu dinamicheskomu raschetu zdaniy i sooruzhenij na dejstvie pul'sacionnoj sostavljajushhej vetrovoj nagruzki : utv. CNIISK 15.12.99.
8. Pravila ustrojstva jelektroustanovok (PUJe) : utv. Minjenergo Rossii 08.07.2002 : vvod. v dejstvie s 01.01.2003.
9. Oden Dzh. Konechnye jelementy v nelinejnoj mehanike sploshnyh sred. M.: Mir, 1976. 464 s.
10. Ogaj A. S. Razrabotka metodik raschjota i vybora vspomogatel'nyh mjagkoobolochechnyh dokovyh ustrojstv. Dis. ... kand. tehn. nauk : 05.08.04. Vladivostok, 2004. 165 s.
11. Raschet zdaniy i sooruzhenij na vetrovuju nagruzku. Model' vetrovogo vozdeystvija dlja sooruzhenij izmenjaemoj formy v potoke. <http://www.chiton.orq.ru> (Data obrashhenija: 07.08.2006).
12. Zavodovskaja A.I. Kompleks programm dlja issledovanija sil'no-nelinejnyh kombinirovannyh mjagkoobolochechnyh konstrukcij. Materialy shestoj mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii «Problemy transporta Dal'nego Vostoka». Vladivostok, 2005. S. 230-232.
13. Zavodovskaja, A. I. Uchet vetrovoj nagruzki pri proektirovanii vetrozashhitnogo torcovogo zakrytija plavuchego doka // Problemy transporta Dal'nego Vostoka: materialy sed'moj Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii. Vladivostok, 2007. S. 183-185.

УДК 534.3/4

ЭФФЕКТ ПРЕДЕЛЬНОГО ПЕРЕХОДА В ДИНАМИЧЕСКИХ ЗАДАЧАХ С УЧЕТОМ ДЕМПФИРОВАНИЯ СРЕДЫ

Николай Алексеевич Тарануха

доктор технических наук, профессор
заведующий кафедрой Кораблестроения
Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет
Россия, 681013, Комсомольск-на-Амуре, ул. Ленина 27
тел.: (4217) 24-11-42; e-мэйл: taranukha@knastu.ru

Ирина Николаевна Журбина

кандидат физико-математических наук, доцент
доцент кафедры Кораблестроения
Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет
Россия, 681013, Комсомольск-на-Амуре, ул. Ленина 27
тел.: (4217) 24-11-42; e-мэйл: zhurbina-irina@mail.ru

Евгений Игоревич Селиванов

кандидат технических наук, инженер кафедры кораблестроения
Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет
Россия, 681013, Комсомольск-на-Амуре, ул. Ленина 27
тел. (4217) 24-11-42; e-mail: e.i.selivanov@mail.ru

Аннотация

Данная статья посвящена проблемам, связанным с исследованием демпфирующих характеристик колеблющихся систем. Рассматривается система «конструкция-жидкость». При этом жидкость рассматривается как внешняя среда по отношению к конструкции. В качестве жидкости исследовались четыре разных среды: воздух, вода, дизельное топливо, машинное масло.

В статье показана общая постановка задачи. Здесь показано разделение общих демпфирующих свойств системы на две части: (а) внутреннее демпфирование (для материала конструкции) и (б) внешнее демпфирование (для жидкости). Показано определение демпфирующих характеристик внутренней среды (материал конструкции). Они определяются для точки предельного перехода (эффект предельного перехода). Сразу отметим, что эффект предельного перехода устраняет проблему отделения демпфирования материала от демпфирования конструкции. Показано определение демпфирующих характеристик внешней среды (жидкости). Они определяются как разница между полным сопротивлением системы и сопротивлением внутренней среды.

Ключевые слова: колебания; система «конструкция-жидкость»; демпфирующие характеристики; эффект предельного перехода; эксперименты

EFFECT OF LIMITING TRANSITION IN DYNAMIC PROBLEMS CONSIDERING THE DAMPING OF ENVIRONMENT

Nikolay Alexeevich Taranukha

Professor, Dr. Sci. Tech.
Director of the department of Shipbuilding
Komsomolsk-on-Amur State Technical University
27, Lenina st., 681013, Russia, Komsomolsk-on-Amur
tel.: (4217) 24-11-42; e-mail: taranukha@knastu.ru

Irina Nikolaevna Zhurbina

Associate professor, Cand. Sci. Phis.-Math.
Associate professor of the department of Shipbuilding
Komsomolsk-on-Amur State Technical University
27, Lenina st., 681013, Russia, Komsomolsk-on-Amur
tel.: (4217) 24-11-42; e-mail: zhurbina-irina@mail.ru

Evgeniy Igorevich Selivanov

Cand. Sci. Tech., engineer of the Shipbuilding Department
Komsomolsk-on-Amur State Technical University

27, Lenina st., 681013, Russia, Komsomolsk-on-Amur
tel.: (4217) 24-11-42; e-mail: e.i.selivanov@mail.ru

Abstract

This article is devoted to problems related to the study of the damping characteristics of the vibrating systems. We consider the system «structure-liquid». In this case, the liquid is considered as an external environment in relation to design. The liquid is has been succeeded by four different environment: air, water, diesel fuel, machine oil.

The article shows the General formulation of the problem. Here shows the division of total damping properties of the system into two parts: (a) internal damping (material design) and (b) external damping (for liquid). Shows how to define damping characteristics of the internal environment (material design). They are defined for the point of limiting transition (effect of limiting transition). Just note that the effect of limiting transition solves the problem of separation of the damping material from the damping of the structure. Shows how to define damping characteristics of the external environment (fluid). They are defined as the difference between the total system resistance and the resistance of the internal environment.

Key words: *fluctuations; system «structure-liquid»; damping characteristics; effect of limiting transition; experiments*

Введение

При решении динамических задач сложных систем практически всегда возникает проблема учета влияния неупругой среды на параметры движения рассматриваемых систем.

Влияние неупругой среды состоит из двух частей: а) влияние внутренней среды (внутреннее трение материала конструкции или внутреннее трение между элементами конструкции); б) влияние внешней среды (например, влияние вязкой окружающей жидкости).

Учет подробного влияния сводится к определению демпфирующих характеристик внешней и внутренней среды. При этом возникают две специфические проблемы. Первая проблема - отделение демпфирования внутренней среды от демпфирования внешней. Вторая проблема - отделение демпфирования материала от демпфирования конструкции. Решение этих двух проблем является чрезвычайно сложной задачей в силу бесконечного многообразия материалов, конструкций и внешних сред.

Авторы данной статьи предлагают для решения этих проблем использовать новый универсальный метод, основанный на открытом ими новом эффекте – эффекте предельного перехода.

В современной практике исследования по проблеме обобщенных демпфирующих характеристик являются актуальными. При этом исследователи вынуждены выбирать один из трех следущих путей: либо принимать допущение, что демпфирующими свойствами можно пренебречь; либо использовать существующие приближенные сведения о демпфирующих характеристиках; либо выполнить собственные полномасштабные экспериментальные исследования для конкретной ситуации. Наиболее распространен на практике последний путь. При этом он является долгим и затратным и не является универсальным.

Главной целью данной работы было разработать методику определения демпфирующих характеристик материалов, конструкций и жидкостей как обобщенных свойств внутренней и внешней среды с использованием нового эффекта предельного перехода. При этом важно было получить коэффициенты демпфирования именно среды (внутренней или внешней), а не коэффициенты сопротивления конкретной конструкции.

1. Демпфирующие характеристики системы «конструкция-жидкость» (этап 1)

По природе своего возникновения и механизму воздействия следует различать два вида неупругого сопротивления среды: неупругое сопротивление внутренней среды (“трение” внутри материала) и неупругое сопротивление внешней среды (например, сопротивления окружающей вязкой жидкости).

Основная проблема – это разделение общих демпфирующих свойств системы на две части: 1) внешнее демпфирование (для жидкости); 2) внутреннее демпфирование (для материала конструкции).

Исследования выполнены на основе экспериментов. Эксперименты были проведены на примере консольной балки, имеющей прямоугольное сечение $b \times h$ (Рис. 1). Применение такой простой конструкции (и системы) позволяет более просто и ясно продемонстрировать смысл и механизм идеи (эффекта) предельного перехода. Параметры балки и материала следующие:

$$L = 0.335 \text{ m}, b = 0.0023 \text{ m}, h = 0.012 \text{ m}, \\ \rho = 7800 \text{ kg/m}^3, E = 2e11 \text{ H/m}^2, m_{ep} = 0.421 \text{ kg}, \\ m_{блк} = 0.072 \text{ kg}, m = m_{ep} + m_{блк} = 0.493 \text{ kg}.$$

Один конец балки является жестко зашпемленным, а другой (свободный) конец этой балки имеет сосредоточенную массу в виде грузов (Рис. 1). При этом исследовались четыре варианта балки (Рис. 2). Во всех вариантах была одинаковая упругая часть (балка) и одинаковая масса на конце. Но были разные площади парусности $S_{пар}$.

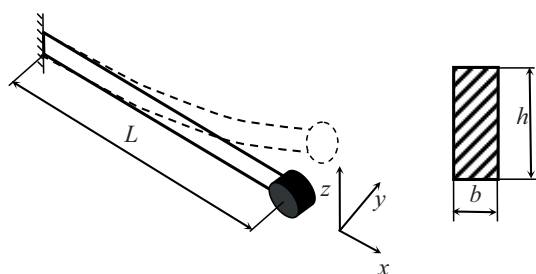


Рис. 1. Расчётная схема балки: а - закрепление балки; б – поперечное сечение (колебания в горизонтальной плоскости)

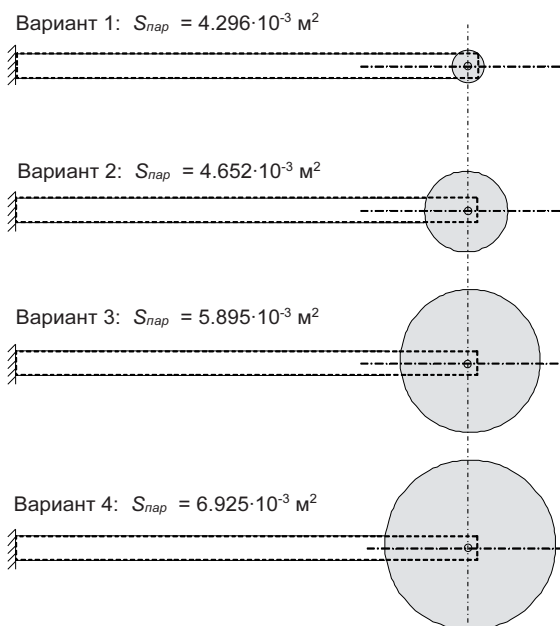


Рис. 2. Варианты схем балки (масса грузов m на конце одинаковая, площади парусности $S_{пар}$ разные)

«Площадь парусности» – это площадь боковой поверхности колеблющейся конструкции.

Можно построить функции амплитудно-частотных характеристик колеблющейся конструкции в зависимости от «площади парусности». А затем можно перейти методом экстраполяции к предельной точке А, которая имеет нулевую парусность $S_{пар} = 0$. Сразу заметим, что конструкция колеблется в вязкой среде. Учитывалась боковая поверхность балки и груза (парусность). Система подвергалась свободным колебаниям.

Экспериментальная установка показана на фотографии (Рис. 3).

Демпфирующие характеристики определялись в два этапа. На первом этапе применялась известная традиционная методика. А именно: а) для каждого варианта балки (Рис. 2) и для каждого варианта жидкости были экспериментально сделаны графики затухающих колебаний (например, как показано на графике, Рис. 4); б) для каждого случая определены период T и декремент затухания D (как отношение амплитуд двух соседних колебаний); в) для каждого случая определены другие характеристики демпфирования.



Рис. 3. Экспериментальная установка

Данные характеристики (коэффициенты) здесь не являются характеристиками сопротивления отдельно внешней среды и отдельно внутренней среды. Эти коэффициенты определяются здесь на основе экспериментальных данных для колебаний балки в жидкости. Эти коэффициенты отражают собой «суммарные» демпфирующие свойства для колеблющейся системы «конструкция-жидкость» («суммарные» коэффициенты).

Для разделения «суммарных» коэффициентов на внутренние (для материала) и внешние (для жидкости) нужно выполнить обработку результатов. Это делается на втором этапе исследований. На втором этапе сформулирована и применена новая идея – идея предельного перехода. Эта идея была сформулирована авторами данного исследования [1-8] и после проверки получила название «эффект предельного перехода». Смысл этого эффекта будет пояснен ниже в данной статье.

2. Обработка результатов экспериментов (этап 2)

Полученные в результате эксперимента характеристики ($T_{экс}$, $D_{экс}$, $\beta_{экс}$, $\gamma_{экс}$) приведены в таблице 1. На графиках (Рис. 5, 6) показаны зависимости периода T и декремента D в зависимости от площади парусности в четырёх различных средах (воздух, вода, дизельное топливо, машинное масло). Графики позволяют проследить тенденцию изменения указанных выше показателей, в зависимости от площади парусности. Эти графики дают возможность выйти на «нулевую парусность». Колебания в точке с «нулевой парусностью» можно трактовать как колебания в вакууме. Значения экспериментальных точек на графиках (Рис. 5, 6) соответствуют вариантам ранее показанных графиков (Рис. 2) и данным в Таблице 1.

Из графиков на рис. 5, 6 видно, что все графики (для воздуха, воды, дизельного топлива и машинного масла) при уменьшении площади парусности $S_{пар}$ до нуля сходятся к некоторой одной

точке **A**, которую можно назвать точкой предельного перехода. В этой точке **A** площадь парусности конструкции равна нулю, т.е. реальных размеров колеблющейся конструкции как бы нет

(предельное состояние по размерам конструкции). Значит в точке **A** нет демпфирующего влияния внешней среды (предельное состояние по влиянию внешней среды).

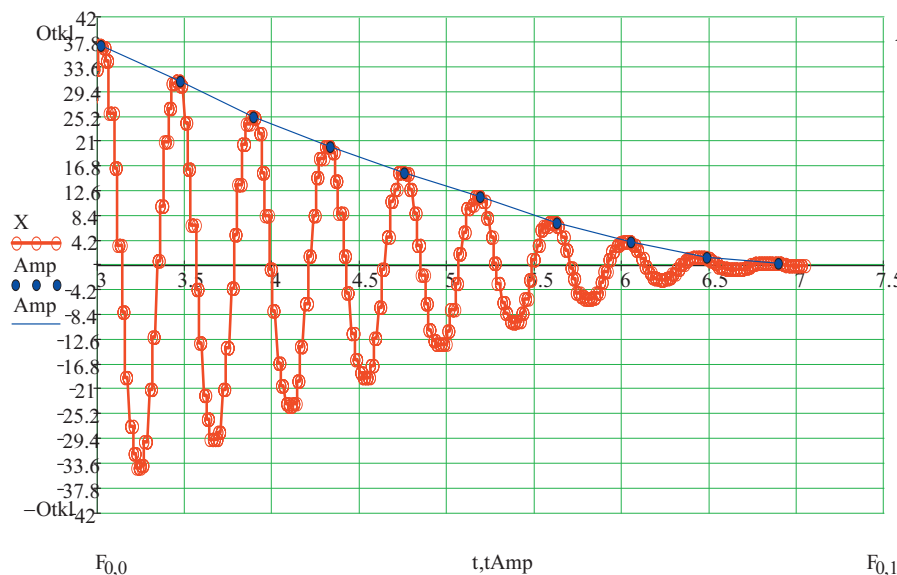


Рис. 4. График затухающих колебаний данной балки (пример для одного случая в воздухе)

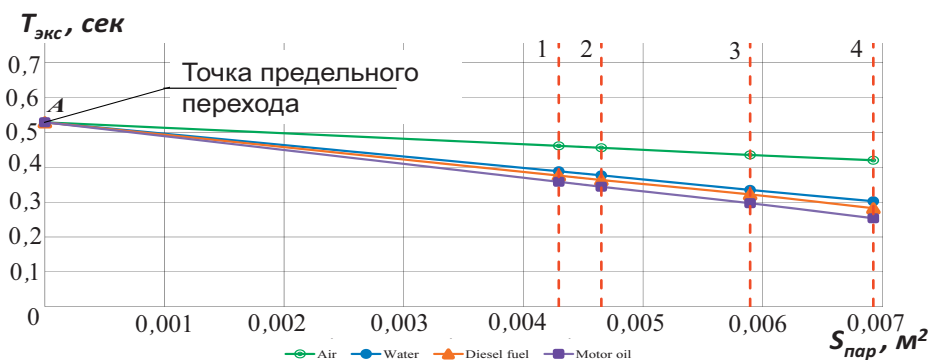


Рис. 5. Графики зависимости периода $T_{экс}$ от площади парусности $S_{пар}$ (1, 2, 3, 4 – варианты балок на рис. 2)

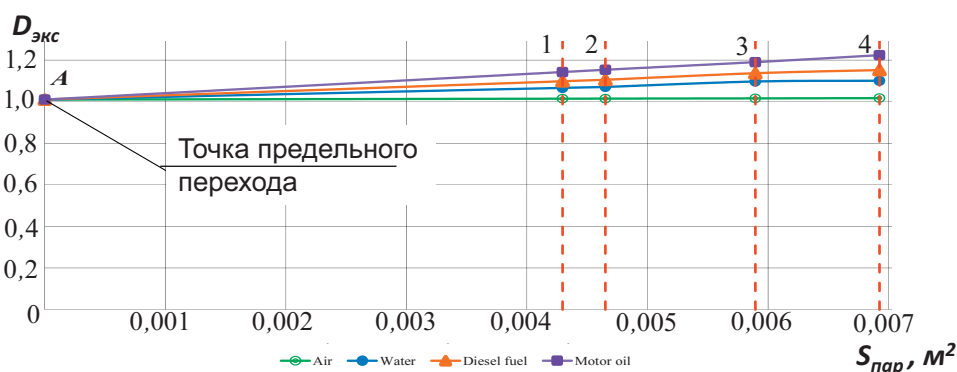


Рис. 6. Графики зависимости декремента D от площади парусности $S_{пар}$ (1, 2, 3, 4 – варианты балок на рис. 2)

Именно поэтому точка **A** названа точкой предельного перехода, т.к. в ней колеблющаяся конструкция как бы переходит в свое предельное состояние, когда у конструкции нет размеров (площадь парусности равна нулю) и нет влияния сопротивления внешней среды (например, окружающей жидкости). Тогда для такой колеблю-

щейся системы затухание колебаний обуславливается только наличием внутреннего сопротивления материала, а не особенностями конструкции. Конечно, точку предельного перехода **A** экспериментально определить невозможно. Но эту точку **A** можно получить путем экстраполяции по нескольким экспериментальным точкам при не-

скольких различных площадях парусности (но при одинаковой массе) колеблющейся системы.

Именно это и сделано в настоящем исследовании и показано на графиках (Рис. 5, 6).

Таблица 1

Значения экспериментальных коэффициентов, полученных при колебаниях данной системы «конструкция-жидкость»

Вариант балки	Площадь парусности S, м ²	Период T, сек	Декремент D	Коэффициент затухания, $n_{\Sigma}^{\Sigma}, \frac{1}{сек}$	Коэффициент сопротивления, $\beta_{\Sigma}^{\Sigma}, \frac{H}{M} \cdot сек$	Коэффициент поглощения Ψ_{Σ}^{Σ}	Коэффициент сопротивления γ_{Σ}^{Σ}
Колебания в вакууме (в предельной точке А)							
0	0	0.52932	1.00966	0.01816	0.01790	0.01922	0.00306
Колебания в воздухе							
1	4.296E-3	0.46176	1.01394	0.02997	0.02955	0.02768	0.00441
2	4.652E-3	0.45616	1.01429	0.03110	0.03067	0.02838	0.00452
3	5.900E-3	0.43562	1.01543	0.03515	0.03279	0.03062	0.00487
4	6.925E-3	0.42042	1.01655	0.03905	0.03851	0.03284	0.00523
Колебания в воде							
1	4.296E-3	0.38875	1.06590	0.16417	0.16188	0.12765	0.02032
2	4.652E-3	0.37710	1.07057	0.18082	0.17829	0.13637	0.02171
3	5.900E-3	0.34533	1.09651	0.23847	0.23513	0.18425	0.02932
4	6.925E-3	0.30272	1.10033	0.31583	0.31141	0.19121	0.03043
Колебания в дизельном топливе							
1	4.296E-3	0.37636	1.09778	0.24789	0.24442	0.18659	0.02970
2	4.652E-3	0.36368	1.10509	0.27477	0.27092	0.19985	0.03181
3	5.900E-3	0.33231	1.13642	0.38478	0.37939	0.25573	0.04070
4	6.925E-3	0.28274	1.15172	0.49960	0.49260	0.28251	0.04496
Колебания в машинном масле							
1	4.296E-3	0.35853	1.14206	0.37050	0.36531	0.26567	0.04228
2	4.652E-3	0.34437	1.15304	0.41350	0.40772	0.28480	0.04533
3	5.900E-3	0.30707	1.18967	0.56560	0.55768	0.34735	0.05528
4	6.925E-3	0.25400	1.22309	0.79284	0.78174	0.40276	0.06410

После этого для экстраполированной точки А можно определить период колебаний T (рис. 5) и декремент затухания D (рис. 6). В данном исследовании в предельной точке А имеем T = 0.52932 сек и D = 1.00966. Теперь можно вычислить соответствующие демпфирующие коэффициенты для внутренней среды (материала) колеблющейся системы.

3. Идея (эффект) предельного перехода

Для сравнения был выбран коэффициент внутреннего сопротивления (трения) для стали $\gamma_{\Sigma}^{внут} = 0.00306$, полученный при нулевой парусности. Видно, что этот коэффициент попадает в известный по справочной литературе диапазон (0.002 ÷ 0.005). Это подтверждает корректность эксперимента и справедливость идеи выхода на «нулевую парусность». А также указывает на тот факт, что коэффициент сопротивления (при нулевой парусности) найден именно для материала, а не для конструкции.

В графе «Вариант» (Таблица 1) указаны варианты балок (рис. 2) и соответствующие им площади парусности S_{пар.} Здесь коэффициенты демпфирования являются суммарными коэффициентами, содержащими в себе сопротивление внутренней среды (материала) и сопротивление внешней среды (жидкости). Задача исследования

на втором этапе заключается в разделении указанных составляющих сопротивления. Делается это следующим образом. Если считать, что внешнее сопротивление вакуума равно нулю, то тогда суммарные коэффициенты в строке «0» фактически являются коэффициентами только внутреннего сопротивления (материала). Тогда коэффициенты сопротивления внешней среды (жидкости) можно вычислить, отделив от суммарных значений величину сопротивления внутренней среды. На рис. 7 это показано на примере коэффициента сопротивления для воздуха $\gamma_{\Sigma}^{возд}$.

Если выполнить аналогичные вычисления для всех суммарных коэффициентов и всех внешних сред (вакуум, воздух, вода, дизельное топливо, машинное масло), то получим таким образом разделенные коэффициенты (например, $\gamma_{\Sigma}^{возд}$, $\gamma_{\Sigma}^{вода}$, $\gamma_{\Sigma}^{диз.топливо}$, $\gamma_{\Sigma}^{маш.масло}$) отдельно для всех внешних сред без учета внутреннего сопротивления. Эти коэффициенты приведены в Таблице 2.

Коэффициент внутреннего сопротивления стали $\gamma_{\Sigma}^{внут} = \gamma_{\Sigma}^{вакуум}$ приведен в Таблице 1.

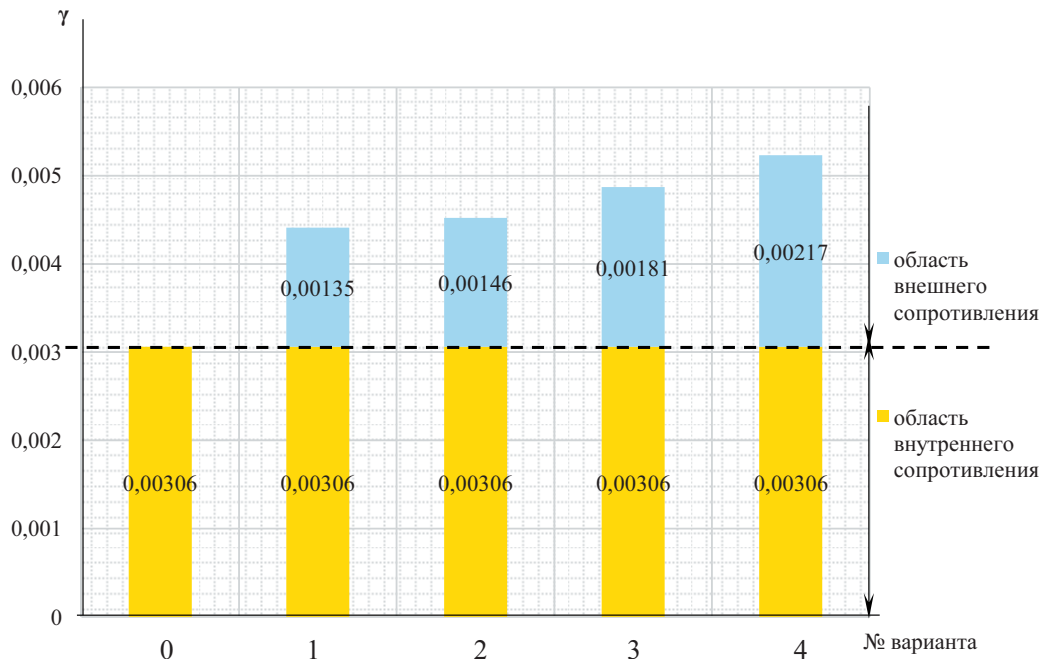


Рис. 7. Диаграмма разделения суммарных коэффициентов сопротивления на внутреннюю и внешнюю составляющие (на примере для воздуха)

Таблица 2
Кoeffициенты внутреннего и внешнего сопротивления $\gamma_{\text{экс}}$

Внутреннее сопротивление стали $\gamma_{\text{экс}}^{\text{внут}}$ (колебания консольной балки в вакууме)	0,0031
Внешнее сопротивление воздуха $\gamma_{\text{экс}}^{\text{воздух}}$ (колебания консольной балки в воздухе)	0,0014±0,0022
Внешнее сопротивление воды $\gamma_{\text{экс}}^{\text{вода}}$ (колебания консольной балки в воде)	0,0173±0,0274
Внешнее сопротивление дизельного топлива $\gamma_{\text{экс}}^{\text{диз.топливо}}$ (колебания консольной балки в дизельном топливе)	0,0267±0,0419
Внешнее сопротивление машинного масла $\gamma_{\text{экс}}^{\text{маш.масло}}$ (колебания консольной балки в машинном масле)	0,0392±0,0611

По графику (Рис. 7) и по Таблице 2 видно, что величина внешней составляющей сопротивления $\gamma_{\text{экс}}$ зависит от площади парусности $S_{\text{пар}}$. Для колебания системы «конструкция-жидкость» это

соответствует физической сущности задачи. Для того, чтобы получить коэффициенты сопротивления внешней среды, которые не зависят от площади парусности конструкции, нужно применить идею удельных площадей. Но это уже тема другого исследования.

Заключение

Для понимания полной картины колебательных процессов необходимо учитывать силы сопротивления. Важно определять демпфирующие характеристики для внутренней и внешней среды отдельно.

Приведенная и проверенная здесь идея (эффект) предельного перехода позволяет уйти от влияния масштабного фактора. Достоверность идеи основывается, в частности, на совпадении полученных результатов для стали с результатами, полученными другими авторами.

Доказана возможность применения идеи предельного перехода для определения внутренних демпфирующих характеристик материала.

Приведенная здесь методика нуждается в дополнительном исследовании.

Литература

1. Тарануха Н.А., Журбин О.В. Математическое моделирование колебаний сложных оболочек. Гидроупругая постановка с учетом сопротивления. Mathematical Modelling of Complex Shell Vibrations. Hydroelastic Statement in View of Resistance. Владивосток: Дальнаука, 2008. 253 с.
2. Тарануха Н.А., Журбин О.В., Журбина И.Н. Экспериментальное исследование внутреннего и внешнего сопротивления при колебаниях судовых конструкций // Ученые записки КнАГТУ. 2011. № IV-1(8). С. 90-101.

3. Тарануха Н.А., Журбин О.В., Журбина И.Н. Экспериментальное определение коэффициентов внутреннего и внешнего сопротивления при колебаниях стальной конструкции в воздухе и жидких средах различной плотности // Морские интеллектуальные технологии. 2012. № 4. С. 43-46.
4. Тарануха Н.А., Журбин О.В., Журбина И.Н. Решение задачи о колебаниях судовых конструкций с учетом сопротивления внешней среды различной плотности // Морские интеллектуальные технологии. 2012. № 4. С. 47-50.
5. Худяков С.А., Тарануха Н.А. Диссипация в судовых упругих системах // Морские интеллектуальные технологии. 2014. № 1(23). С. 77-79.
6. Тарануха Н.А., Журбина И.Н. Применение идеи предельного перехода к определению коэффициентов демпфирования конструкционных материалов // Морские интеллектуальные технологии. 2014. № 1(23). С. 95-98.
7. Тарануха Н.А., Журбина И.Н. Определение обобщенных коэффициентов сопротивления внешней и внутренней среды в методе модуль-элементов // Морские интеллектуальные технологии. 2016. Т.1. № 3(33). С. 86-94.
8. Research of Damping Characteristics for Fluctuating System «Structure-Liquid» on the Basis of Limiting Transition Idea / N.A. Taranukha, I.N. Zhurbina, Jun Guo // Proceedings of the Conference ISOPE-2017, San Francisco. 2017. V.4. Pp. 1061-1065.

References

1. Taranuha N.A., Zhurbin O.V. Matematicheskoe modelirovanie kolebanij slozhnyh obolochek. Gidrouprugaja postanovka s uchetom soprotivlenija (Mathematical Modelling of Complex Shell Vibrations. Hydroelastic Statement in View of Resistance). Vladivostok, 2008. 253 p.
2. Taranuha N.A., Zhurbin O.V., & Zhurbina I. N. (2011). Jeksperimental'noe issledovanie vnutrennego i vneshnego soprotivlenija pri kolebanijah sudovyh konstrukcij. Uchenye zapiski KnAGTU, IV-1(8), 90-101.
3. Taranuha N.A., Zhurbin O.V., & Zhurbina I.N. (2012). Jeksperimental'noe opredelenie koeficientov vnutrennego i vneshnego soprotivlenija pri kolebanijah stal'noj konstrukcii v vozduhe i zhidkikh sredah razlichnoj plotnosti. Morskie intellektual'nye tehnologii, 4, 43-46.
4. Taranuha N.A., Zhurbin O.V., & Zhurbina I.N. (2012). Reshenie zadachi o kolebanijah sudovyh konstrukcij s uchetom soprotivlenija vneshnej sredy razlichnoj plotnosti. Morskie intellektual'nye tehnologii, 4, 47-50.
5. Hudjakov S.A., Taranuha N.A. (2014). Dissipacija v sudovyh uprugih sistemah. Morskie intellektual'nye tehnologii, 1(23), 77-79.
6. Taranuha N.A., Zhurbina I.N. (2014). Primenenie idei predel'nogo perehoda k opredeleniju koeficientov dempfirovanija konstrukcionnyh materialov. Morskie intellektual'nye tehnologii, 1(23), 95-98.
7. Taranuha N.A., Zhurbina I.N. (2016). Opredelenie obobshhennyh koeficientov soprotivlenija vneshnej i vnutrennej sredy v metode modul'-jelementov. Morskie intellektual'nye tehnologii, T.1, 3(33), 86-94.
8. Taranukha N.A., Zhurbina I.N., Jun Guo. Research of Damping Characteristics for Fluctuating System «Structure-Liquid» on the Basis of Limiting Transition Idea (Proceedings of the Conference ISOPE-2017). San Francisco, 2017, V.4., pp. 1061-1065.

УДК 629.12.001.2

МЕТОД DTNSRDC В ПРОГНОЗИРОВАНИИ МОЩНОСТИ МОРЕХОДНОГО ВЕЗДЕХОДА НА ВОЗДУХООПОРНЫХ ГУСЕНИЦАХ ГРУЗОПОДЪЕМНО- СТЬЮ 100 ТОНН НА НАЧАЛЬНЫХ СТАДИЯХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Анатолий Иванович Азовцев

доктор технических наук, профессор
начальник кафедры Теории и устройства судна
Морской государственной университет им. адм. Г.И. Невельского
690059, Владивосток, ул. Верхнепортовая, 50-а
e-mail: Azovtsev@msun.ru

Огай Сергей Алексеевич

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

Олег Владимирович Москаленко

старший научный сотрудник
Морской государственной университет им. адм. Г.И. Невельского
690059, Владивосток, ул. Верхнепортовая, 50-а
e-mail: Moskalenkoov@msun.ru

Аннотация

Для комплексного освоения побережья и шельфа Арктики и Дальнего Востока и обеспечения безопасности этих регионов предложено применение универсальных экологичных мореходных вездеходов большой грузоподъемности. Предлагается эффективнейший принцип движения вездехода – на воздухоопорных гусеницах. Для начальных стадий проектирования обосновано применение простого метода DTNSRDC прямого прогнозирования мощности скеговых СВП для оценки мощности глсссирующего мореходного вездехода на воздухоопорных гусеницах большой грузоподъемности в предположении сходства их волнового сопротивления. С учетом одинакового аэродинамического сопротивления вездехода и СВП и значительного снижения сопротивления воды движению вездехода при движении всей его смоченной обшивки по направлению набегающего потока получены прогнозные значения мощности вездехода при глсссировании обеспечивающие преодоление горба сопротивления и не превышающие мощность, которая необходима для преодоления уклона на суше.

Ключевые слова: проектирование, мореходные вездеходы, глсссирование, прогнозирова-
ние мощности, воздухоопорная гусеница

THE DTNSRDC METHOD IN FORECASTING AT THE INITIAL PROJECTING STAGES THE CAPACITY OF A SEAWORTHY ALL-TERRAIN VEHICLE ON AIR-SUPPORTED TRACKS WITH CARRYING CAPACITY OF 100 TONS

Anatoliy Ivanovich Azovtsev

Professor, Dr. Sci. Tech.
Director of Naval architecture department
Maritime state university named Admiral G. Nevelskoy
50 – a, Verkhneportovaya st., 690059, Vladivostok, Russia
tel.: (423) 241–49–68; e-mail: Azovtsev@msun.ru

Sergey Alexeevich Ogai

Associate professor, Cand. Sci. Tech.
Rector
Maritime state university named Admiral G. Nevelskoy
50 – a, Verkhneportovaya st., 690059, Vladivostok, Russia
tel.: (423) 241–49–68; e-mail: ogay@msun.ru

Oleg Vladimirovich Moskalenko

Senior research scientist
 Maritime state university named Admiral G. Nevelskoy
 50 – a, Verkhneportovaya st., 690059, Vladivostok, Russia
 e –mail: Moskalenkoov@msun.ru

Abstract

For the integrated development of the coast and shelf of the Arctic and the Far East and ensuring the safety of these regions, the application of universal ecological seaworthy all-terrain vehicles of high carrying capacity is proposed. The most effective principle of the all-terrain vehicle movement is suggested on air-supported tracks. For the initial projecting stages it is quite reasonable to use a simple DTNSRDC method of direct forecasting the skeg air-cushion vehicle for capacity evaluation of a gliding seaworthy all-terrain vehicle on air-supported tracks by assuming their wave resistance similarity. Considering identical aerodynamic resistance of all-terrain vehicles and air-cushion vehicles and a considerable lowering of water resistance to the vehicle movement at the running of its all watered sheathing at the direction of the running current there were received forecasting values of the all-terrain vehicle gliding capacity, ensuring overcoming the resistance hump and not exceeding the capacity necessary to overcome the slope on the ground.

Key words: projecting, all-terrain vehicles, gliding, capacity forecasting, air-supported track

Введение

Транспортные средства на воздухоопорных гусеницах (ТСВГ) разрабатываются на основе многолетних теоретических и экспериментальных исследований, подтвердивших уникальную универсальность предлагаемого инновационного вида транспорта. Многократно опубликованная схема воздухоопорной гусеницы [1, 2, 3, 4] показана на рис. 1.

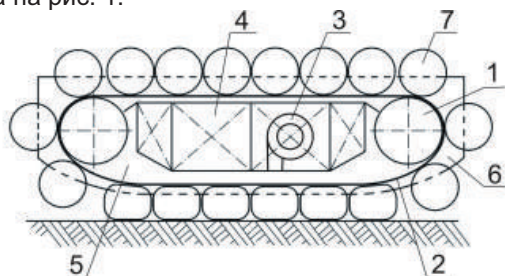


Рис. 1. Совмещенная схема воздухоопорной гусеницы и скега: 1-барабан; 2-гусеничная лента; 3-воздухонагнетатель; 4-понтон; 5-воздушная подушка; 6-бортовые скеги; 7-пневмоплицы

Требуемую работоспособность этого опорно-двигательного устройства удается обеспечить при значительной выпуклости нижней ветви гусеницы и размерах пневмоплиц при которых жесткие скеги подняты над водой. Нижняя ветвь гусеничного обвода обеспечивает плавучесть транспортного средства и является его амфибийным двигателем. При движении на воде сопротивление воды и упор для преодоления этого сопротивления создаются на одной и той же смоченной поверхности гусеницы при предполагаемом их взаимодействии.

Классическая методика проектной оценки мощности для движения на воде на основе раздельного решения задач сопротивления воды и проектирования двигателя для преодоления это-

го сопротивления не может быть использована при ходе на воздухоопорных гусеницах.

В опубликованной работе [5] показана возможность пересчета замеров мощности при модельных испытаниях, но на начальных этапах проектирования модельный эксперимент не предусмотрен.

1. Обоснование сходства волнового сопротивления глессирующей воздухоопорной гусеницы и воздушной подушки

Избыточное давление $P_{и}$ в воздушной подушке судна на воздушной подушке создает подъемную силу равную весу $\Delta_{ВП}$ (водоизмещению) судна

$$\Delta_{ВП} = P_{и} S_p,$$

где $P_{и}$ – избыточное давление воздуха, S_p – площадь воздушной подушки или опорной части гусеницы.

При этом избыточное давление воздействует на набегающий поток по нормали к его поверхности. Это воздействие возбуждает вертикальные колебания в потоке наблюдаемые как волнообразование при движении судна, что свидетельствует о наличии волнового сопротивления.

Воздухоопорная гусеница отличается от воздушной подушки тем, что является опорно-двигательным устройством, т.е. обеспечивает силу поддержания равную водоизмещению и тягу (упор) для преодоления сопротивления движению. При этом скольжение гусеницы создает прогребание поверхностной части набегающего потока, которое допустимо представить как воздействие гусеницы на поток по касательной к его поверхности. Влияние этого касательного воздействия на волнообразование и, соответственно, на волновое сопротивление пока не получило должной оценки.

На начальной стадии проектирования ТСВГ предполагается, что масса поверхности потока ускоряющегося под действием прогребания, мала в сравнении с массой набегающего потока подверженного волнообразованию под действием сил давления воздухоопорной гусеницы на поток.

Давление в воздушной подушке судна на воздушной подушке постоянно по всей ее площади. Распределение нормальных к поверхности потока сил поддержания воздухоопорной гусеницы при ее глиссировании не исследовано. В сумме силы поддержания воздухоопорной гусеницы $\Delta_{ВП}$ равны водоизмещению $\Delta_{ВГ}$ судна (вездехода): $\Delta_{ВГ} = \Delta_{ВП}$.

Поскольку гибкая воздухоопорная гусеница прижата к набегающему потоку равномерно распределенным избыточным давлением воздуха внутри нее, естественно считать, что опорные реакции поддерживающие гусеницу также постоянны по всей поверхности ее контакта с набегающим потоком, при глиссировании, что сходно с воздействием на поток воздушной подушки судна на воздушной подушке. Поэтому на стадии предварительного проектирования допустимо волновое сопротивление воздухоопорной гусеницы при ее глиссировании определять как волновое сопротивление судна на воздушной подушке с избыточным давлением равным избыточному давлению в воздушной подушке воздухоопорной гусеницы.

2. Выбор судна на воздушной подушке в качестве прототипа для расчета сопротивления ТСВГ при глиссировании

Зависимость волнового сопротивления воздушной подушки от ее формы в плане известна и изложена в опубликованной работе [6]. Для прототипа первоначально выбираются воздушные подушки с соотношением длины $L_{П}$ к ширине $B_{П}$ сходным с соотношением длины опорной поверхности $L_{Р}$ к ширине воздухоопорной гусеницы $B_{Г}$. В указанной публикации для амфибийных судов на воздушной подушке рекомендуется принимать значение относительной длины

$$L_{П} / B_{П} = 2,00 \div 2,40 .$$

Для скеговых судов на воздушной подушке можно рекомендовать значение относительной длины $L_{П} / B_{П} = 2,50 \div 5,00$.

Для проектируемого ТСВГ-100 длина опорной части гусеницы на грунте $L_{Р} = 10,00$ м. Предполагается, что при глиссировании длина смоченной части гусеницы будет достаточно близкой к этой величине при неизменном избыточном давлении в гусенице. На ранних стадиях проектирования ширину контакта гусеницы с набегающим потоком допустимо принимать равной ширине гусеничной ленты, которая для проектируемого ТСВГ-100 обоснована как $B_{Г} = 2,85$ м.

Отношение длины $L_{Р}$ к ширине $B_{Г}$ для ТСВГ-100 равно приблизительно $L_{Р} / B_{Г} \approx 3,5$.

Эта величина вписывается в диапазон относительной длины воздушной подушки скеговых судов.

3. Оценка мощности потребной для глиссирования транспортного средства на воздухоопорных гусеницах

Подробнейшее описание экспериментальных исследований составляющих сопротивления движению скеговых судов на воздушной подушке и простая схема прогнозирования мощности потребной для движения представлена в опубликованном методе исследовательского центра David W. Taylor ship research and development center (DTNSRDC) [7].

Отношение сопротивления (или его составляющих) к водоизмещению представлено в зависимости от числа Фруда $Fr_L = v / \sqrt{gL_P}$ (по длине воздушной подушки L_P , которую в данном проекте принимаем равной длине опорной поверхности гусеницы, v – скорость хода, м/с.

Полагаясь на допущение о равенстве волнового сопротивления скегового СВП и воздухоопорной гусеницы, предполагая равенство их аэродинамического сопротивления и исключая сопротивление трения скегов СВП поскольку скеги ТСВГ подняты над водой, оцениваемое полное сопротивление ТСВГ в зависимости от числа Фруда по длине Fr_L представлено на графике (Рис. 2) по относительной величине (по отношению к водоизмещению).

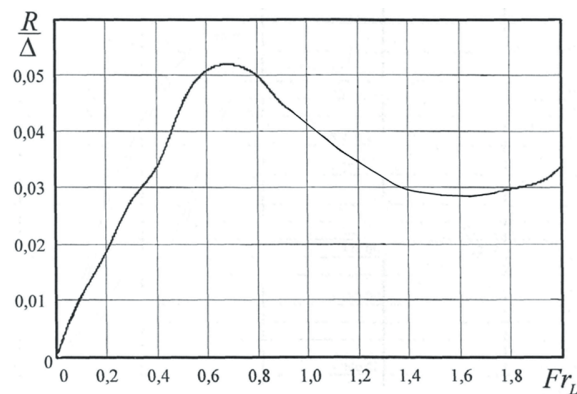


Рис.2. Зависимость относительного сопротивления мореходного вездехода на воздухоопорных гусеницах от числа Фруда

На этом графике низкое относительное сопротивление соответствует числам Фруда по длине опорной части гусеницы 1,2 – 1,8. В проекте транспортного средства на воздухоопорных гусеницах [8] принята меньшая величина числа Фруда в этом интервале $Fr_L = 1,2$, что соответствует скорости ТСВГ порядка 12 м/с, то есть $v = 1,2 \cdot \sqrt{9,81 \cdot 10,00} = 11,9$ м/с (23,1 узл.).

Потребная для глиссирования мощность по методу DTNSRDC [7] определяется по формуле

$$N = (R / \Delta) \Delta v / (102 \eta) .$$

По графику (Рис. 2) относительное сопротивление можно определить в размере $(R/\Delta) = 0,036$.

Водоизмещение снаряженного транспортного средства на воздухоопорных гусеницах по проекту ТСВГ-100 [8] составляет $\Delta = 140\,000$ кг.

КПД воздухоопорного гусеничного движителя на воде по результатам испытания моделей определен $\eta = 0,5$.

Мощность, потребная для глиссирования транспортного средства на воздухоопорных гусеницах (при $Fr_L = 1,2$) равна

$$N = 0,036 \cdot 140000 \cdot 11,9 / (102 \cdot 0,5) = 1174 \text{ кВт.}$$

Полная энерговооруженность с учетом затрат энергии на поддержание давления в воздушной подушке в гусенице в рассмотренных допущениях составляет $N_{\text{полн}} \approx 1,1N = 1291$ кВт.

Относительная энерговооруженность транспортного средства на воздухоопорных гусеницах

$$N_{\text{полн}} / \Delta = 1291 / 140 = 9,2 \text{ кВт/т,}$$

что в 2 раза меньше, чем это необходимо для скегового СВП с близкими характеристиками к вездеходу на воздухоопорных гусеницах ТСВГ-100 [6].

4. Оценка мощности, необходимой для преодоления «горба» гидродинамического сопротивления

По графику (Рис. 2) «горб» гидродинамического сопротивления соответствует числу Фруда $Fr_L = 0,7$. Максимальное относительное сопротивление при этом равно $(R/\Delta) = 0,052$. Скорость хода составляет

$$v = Fr_L \sqrt{gL_p} = 0,7 \sqrt{9,81 \cdot 10,0} = 6,93 \text{ м/с.}$$

Мощность ТСВГ-100 необходимая для преодоления горба сопротивления, при этом, равна

$$N = 0,052 \cdot 140000 \cdot 6,93 / (102 \cdot 0,5) = 989 \text{ кВт.}$$

5. Оценка мощности, необходимой для преодоления уклона на суше

В соответствии с Техническим заданием проекта [8] транспортного средства на воздухоопорных гусеницах ТСВГ-100 при снаряженном водоизмещении 140 тонн требуется преодоление уклона 20° при скорости хода 9 км/ч (2,5 м/с).

Тяга T_y гусениц ТСВГ, необходимая для преодоления уклона, определяется как

$$T_y = g\Delta \sin \alpha_y = 9,81 \cdot 140,0 \cdot 0,342 = 470 \text{ кН}$$

($\sin \alpha_y = 0,342$ при $\alpha_y = 20^\circ$).

При скорости хода 2,5 м/с мощность необходимая для преодоления уклона

$$N = T_y v / (102\eta) = 47000 \cdot 2,5 / (102 \cdot 1,0) = 1152 \text{ кВт.}$$

(КПД гусеницы на уклоне η принят равным 1,0).

Заключение

Обоснование применимости простого метода DTNSRDC прогнозирования мощности скеговых СВП для оценки мощности мореходного вездехода на воздушной подушке позволяет на начальных этапах проектирования выполнить сравнение потребной для глиссирования мощности ТСВГ и мощности, необходимой для преодоления «горба» гидродинамического сопротивления, а также, мощности, необходимой для подъема на суше вездехода на воздухоопорных гусеницах на уклон. Движение опорной поверхности (обшивки гусеницы) по направлению набегающего потока исключает сопротивление трения вездехода, что до двух раз сокращает потребную мощность транспортного средства на воздухоопорных гусеницах при глиссировании по сравнению с потребной мощностью для скегового СВП при близких остальных характеристиках.

Литература

1. Москаленко О.В. Разработка совмещенной схемы воздухоопорной гусеницы и скега, как базового элемента автоматизированного проектирования ТСВГ // 58-я международная научно-практическая конференция «Молодежь-Наука-Инновации». Сборник конференции, т.1. МГУ им. адм. Г.И. Невельского, Владивосток, 2010. С. 174-177.
2. 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.
3. Азовцев А.И., Огай С.А., Москаленко О.В. Разработка типоразмерного ряда мореходного вездехода на воздухоопорных гусеницах для комплексного освоения побережья и замерзающего шельфа // «Морские интеллектуальные технологии». Спецвыпуск №1, 2013. С. 34-37
4. Азовцев А.И., Огай С.А., Москаленко О.В. Снижение нагрузки на грунт тундры увеличением длины контакта пневмоплицы мореходного вездехода // «Морские интеллектуальные технологии». Спецвыпуск №1, 2016. С. 100-105.
5. Азовцев А.И., Самсонов С.В. Гидродинамические характеристики воздухоопорных гусениц // Известия АН СССР. Механика жидкости и газа. – М.: АН СССР, 1986. – №2 – С. 172-174.
6. Ваганов А.М. Проектирование скоростных судов: учебник для вузов / А.М. Ваганов – Л.: Судостроение, 1978. – 280 с.

7. Роберт А. Вильсон, Стивен М.Уэльс, Чарльз Е. Хобер Мощностное прогнозирование для судов на воздушной подушке, основанное на результатах модельных испытаний (DTNSRDC). David W. Taylor Naval ship research and development center. USA.5. Bunch J. Rose D (Eds.) Sparse matrix computations. – New York – San Francisco –London: Academic Press. 1976.
8. Разработка технических предложений. Пояснительная записка по опытно-конструкторской работе «Разработка технического предложения и формирование облика мореходного транспортного средства на воздухоопорных гусеницах грузоподъемностью 100 тонн» ГBT № 1.23/7-2017, регистрационный № НИОКТР АААА-А17-117052410042-1 от 24.05.2017 г. Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского. Владивосток. 2017 г.

References

1. Moskalenko O.V. Razrabotka sovmeschennoy shemy vozduhoopornoy gusenitsyi i skega, kak bazovogo elementa avtomatizirovannogo proektirovaniya TSVG // 58-ya mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya «Molodezh-Nauka-Innovatsii». Sbornik konferentsii, t.1. MGU im. adm. G.I. Nevel'skogo, Vladivostok, 2010. S. 174-177.
2. Azovtsev A.I., Ogay S.A., Moskalenko O.V. Proryiv v oblasti vnedorozhnogo amfibiynogo transporta // Nauka i transport. Morskoy i rechnoy transport. Transport Rossiyskoy Federatsii. 2011. S. 48-50.
3. Azovtsev A.I., Ogay S.A., Moskalenko O.V. Razrabotka tiporazmernogo ryada morehodnogo vezdehoda na vozduhoopornykh gusenitsakh dlya kompleksnogo osvoiniya poberezhya i zamerzayushchego shelfa // «Morskie intellektualnyie tehnologii». Spetsvyipusk №1, 2013. S. 34-37
4. Azovtsev A.I., Ogay S.A., Moskalenko O.V. Snizhenie nagruzki na grunt tundryi uvelicheniem dliny kontakta pnevmoplitsyi morehodnogo vezdehoda // «Morskie intellektualnyie tehnologii». Spets-vyipusk №1, 2016. S. 100-105.
5. Azovtsev A.I., Samsonov S.V. Gidrodinamicheskie harakteristiki vozduhoopornykh gusenits // Izvestiya AN SSSR. Mehanika zhidkosti i gaza. – M.: AN SSSR, 1986. - №2 – S. 172-174.
6. Vaganov A.M. Proektirovanie skorostnykh sudov: uchebnik dlya vuzov / A.M. Vaganov – L.: Sudostroe-nie, 1978. – 280 s.
7. Robert A. Vilson, Stiven M.Uels, Charlz E. Hober Moschnostnoe prognozirovanie dlya sudov na vozdushnoy podushke, osnovannoe na rezultatah modelnykh ispyitaniy (DTNSRDC). David W. Taylor Naval ship research and development center. USA.5. Bunch J. Rose D (Eds.) Sparse matrix computations. – New York – San Francisco –London: Academic Press. 1976.
8. Razrabotka tehnikeskikh predlozheniy. Poyasnitelnaya zapiska po opyitno-konstruktorskoy rabote «Razrabotka tehnikeskogo predlozheniya i formirovanie oblika morehodnogo transportnogo sredstva na vozduhoopornykh gusenitsakh gruzopod'emnostyu 100 tonn» GBT № 1.23/7-2017, registratsionnii № NIOKTR АААА-А17-117052410042-1 ot 24.05.2017 g. Morskoy gosudarstvennyiy universitet im. adm. G.I. Nevel'skogo Vladivostok 2017 g.

**ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ И ИХ ЭЛЕМЕНТЫ
(ГЛАВНЫЕ И ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ)**

УДК 621.43.013 : 629.3

**ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ КОМБИНИРОВАННОЙ ОЧИСТКИ
МОТОРНОГО МАСЛА В СУДОВЫХ ДИЗЕЛЯХ МЕТОДАМИ
ВАРИАЦИОННОГО ИСЧИСЛЕНИЯ****Андрей Вениаминович Надежкин**

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

Геннадий Петрович Кича

доктор технических наук, профессор
заведующий кафедрой 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

Людмила Анатольевна Семенюк

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; e-mail: kicha@msun.ru

Аннотация

Приводится методика оптимизации и выбора наиболее эффективных режимов работы центробежного сепаратора при комбинированной очистке моторного масла в двигателях внутреннего сгорания. На основе вариационного исчисления осуществлен выбор оптимальной пропускной способности сепаратора при непрерывной и периодической обработке масла в судовом дизеле.

Особенность методики состоит в учете переменного дисперсного состава нерастворимых загрязнений масла в системе смазки работающего дизеля при его полнопоточном фильтровании и частично поточном сепарировании. Задача оптимизации сведена к интегрированию системы уравнений массо-дисперсного баланса загрязнений в моторном масле с двухточечными граничными условиями.

Алгоритм решения сформированной задачи построен на сочетании методом многократной пристрелки и вариации рассматриваемого параметра. Режимы работы центробежного сепаратора оптимизированы с использованием системы уравнений, описывающих кинетику накопления нерастворимых загрязнений в масле, изменение их дисперсного состава. Специфика уравнений позволяет осуществить оптимизацию массо-дисперсного обмена механических примесей в системе смазки двигателя минимизацией функционала.

Ключевые слова: *очистка моторного масла, сепарирование масла, маслоочистительный комплекс, оптимизация маслоочистки, массо-дисперсный обмен, алгоритм решения оптимизационных задач, минимизация функционала, вариационное исчисление*

**THE APPROACHES OF THE VARIATION SOLUTION OF COMBINED
CLEANING MODES OF MOTOR OIL IN MARINE DIESEL ENGINES****Andrei Venifminovich Nadezkin**

Professor, Dr. Sci. Tech.
Professor of the department of Marine internal combustion engines
Maritime state university named Admiral G. Nevelskoy
50 – a, Verkhneportovaya st., 690059, Vladivostok, Russia
tel.: (423) 251-52-26; e-mail: nadezkin@msun.ru

Gennady Petrovich Kicha

Professor, Dr. Sci. Tech.

Director of the department of Marine internal combustion engines
Maritime state university named Admiral G. Nevelskoy
50 – a, Verkhneportovaya st., 690059, Vladivostok, Russia
tel.: (423) 251-52-26; e-mail: kicha@msun.ru

Ludmila Anatol'evna Semenuk

PhD student of the department of Marine internal combustion engines
Maritime state university named Admiral G. Nevelskoy
50 – a, Verkhneportovaya st., 690059, Vladivostok, Russia
tel.: (423) 251-52-26; e-mail: kicha@msun.ru

Abstract

Technique optimization and selection of the most effective modes of operation of centrifugal separator during combined engine oil purification in the internal combustion engines is given. On the basis of variational calculus, the optimal throughput capacity of a separator in continuous and periodic oil treatment in the ship's diesel engine is made.

The method feature is in registration of an alternate disperse content of non-soluble oil deposits in oil lubrication system of the operating engine in the full-flow filtering and part-flow separation of such an oil. Optimization problem is traced to the integration of coupled equations of a mass-disperse balance of engine oil contaminations with two-point boundary value problems.

An algorithm for solving the generated tasks is built on the combination of a multiple shooting method and variation of the parameter under consideration. Centrifugal separator operation modes are optimized using system of equations describing the kinetics of the accumulation of insoluble oil impurities and changes in their disperse composition.

The specificity of equations enables us to perform the optimization of a mass-disperse impurities exchange in lubrication system of engine minimization of functional.

Key words: engine oil cleaning, oil separation, optimization of the oil cleaning, operation, mass-disperse exchange, algorithm modes, optimization problems state algorithm

Введение

В последние годы наибольшее развитие применительно к обработке моторного масла (ММ) в судовых дизелях средней и повышенной частоты вращения получили комбинированные очистительные комплексы [1, 2]. При этом в качестве полнопоточного агрегата используется саморегенерирующийся фильтр или очиститель со сменными фильтрующими элементами, задача которых состоит в надежной защите пар трения двигателя от попадания частиц загрязнений с размерами выше 5 мкм. Для него важно обеспечить оптимальную тонкость и полноту отсева [3, 4].

Глубокая очистка ММ от мелкодисперсной фазы загрязнения осуществляется частично поточным фильтром, центрифугой или центробежным сепаратором (ЦС). Назначение этих агрегатов очистки состоит в поддержании концентрации нерастворимых продуктов в масле на низком уровне, при котором его старение осуществляется с минимальной интенсивностью [5].

Вопросы воздействия частично- и полнопоточных агрегатов на масло и двигатель с позиций оптимизации параметров комбинированной очистки ранее рассматривались обособлено, без учета их влияния друг на друга. В статье поставлена задача оптимизировать работу комбинированных систем обработки ММ, сочетающих достоинства полнопоточного фильтра и частично поточного очистителя – байпасно подключаемого в систему смазки (СС) двигателя.

Частично поточное включение центробежного сепаратора в СС мощных дизелей является единственным методом, который обеспечивает глубокую очистку ММ от механических примесей и воды. Схема включения в СС и режимы работы сепаратора сказываются на эффективности удаления продуктов загрязнения из циркуляционного масла ДВС. Интенсивность очистки зависит, прежде всего, от пропускной способности Q_c ЦС. Поэтому необходима разработка таких программ управления пропускной способностью очистителя, при которых скорость удаления из ММ загрязнений была бы максимальной.

1. Постановка оптимизационных задач методами вариационного исчисления

Попытки оптимизировать работу сепараторов предпринимались не однажды. Однако режимы очистки оптимизировались эмпирически и без учета переменной дисперсности загрязнений. Поэтому рекомендации по ним носят частный характер, область их применения ограничена. Расчеты Q_{opt} в этом случае дают значительную погрешность, вследствие того что оптимизация осуществляется только на основе уравнения материального баланса загрязнений, без учета изменяющегося состояния дисперсной фазы (ДФ) загрязнений [1].

Рассматриваемый подход устраняет указанные недостатки, так как учитывает особенности временного дрейфа дисперсного состава загрязнителя. Он базируется на системе дифференциальных уравнений (1), описывающих изменение

не только концентрации c нерастворимых в бензине (НРБ) примесей в ММ, но и состава ДФ – математического ожидания m_d и дисперсии σ_d^2 :

$$\left. \begin{aligned} \frac{dc}{d\tau} &= \frac{1}{G_0} \left(a_c + Q_{\partial} c_{\partial} - K_y Q_y c - \sum_{k=1}^{n_k} Q_k \varphi_k c \right); \\ \frac{dm_d}{d\tau} &= \frac{1}{G_0} \left[\frac{a_c}{c} (m_{da} - m_d) - \sum_{k=1}^{n_k} Q_k (1 - \varphi_k) \times \right. \\ &\quad \left. \times (m_d - m_{dk}) - Q_y (1 - K_y) m_d + Q_{\partial} \frac{c_{\partial}}{c} (m_{d\partial} - m_d) \right]; \\ \frac{d\sigma_d}{d\tau} &= \frac{1}{2G_0\sigma_d} \left[\frac{a_c}{c} (\overline{d_a^2} - \overline{d^2} - 2m_{da}m_d + 2m_d^2) + \right. \\ &\quad \left. + \sum_{k=1}^{n_k} Q_k (1 - \varphi_k) (\overline{d_k^2} - \overline{d^2} - 2m_{dk}m_d + 2m_d^2) + \right. \\ &\quad \left. + Q_{\partial} \frac{c_{\partial}}{c} (\overline{d_{\partial}^2} - \overline{d^2} - 2m_{d\partial}m_d + 2m_d^2) \right], \end{aligned} \right\} (1)$$

где c – значение текущей концентрации загрязняющих примесей в работающем ММ; G_0 – вместимость СС; a_c – скорость накопления загрязняющих примесей в масле; Q_{∂} – скорость долива ММ; c_{∂} – значение концентрации загрязняющих примесей в доливаемом масле; Q_k – пропускная способность k -го очистителя; φ_k – коэффициент полноты отсева k -го очистителя; K_y – доля загрязнений, выгораемых с маслом; Q_y – расход масла на угар; $d, d_{\partial}, d_k, d_a$ – диаметр частиц нерастворимой фазы, находящихся соответственно в циркуляционном и доливаемом масле, в фильтрате k -го очистителя и в поступающем в СС загрязнителе; $m_d, \sigma_d, m_{d\partial}, \sigma_{d\partial}, m_{dk}, \sigma_{dk}, m_{da}, \sigma_{da}$ – математическое ожидание и среднеквадратическое отклонение диаметра частиц, находящихся соответственно в циркуляционном и доливаемом масле, в фильтрате k -го очистителя и в поступающем загрязнителе; τ – срок службы масла.

Коэффициенты полноты отсева φ_k НРБ продуктов разными маслоочистителями определяли на основе стохастической теории фильтрования и центрифугирования (сепарирования) [3].

Принимая во внимание изложенное, построим функции оптимизации ЦС. Учитывая схемы и способы функционирования названных маслоочистителей, поиск оптимальных программ управления пропускной способностью предусматривал:

1. Обеспечить наименьшую концентрацию загрязнений в масле СС при непрерывной байпасной его очистке.

2. Достигнуть при периодическом подключении сепаратора минимальной продолжительности его работы, обеспечивающей потребное уменьшение загрязненности масла.

Из анализа системы уравнений (1) следует, что искомые критерии оптимальности могут быть сформулированы как задача минимизации функционала:

$$J = \int_{\tau_0}^{\tau_1} \varphi_0(c, Q_c) d\tau, \quad (2)$$

где $\varphi_0(c, Q_c)$ – заданная функция переменных c и Q_c ; τ_0 и τ_1 , время начала и конца процесса.

Если $\varphi_0 = 1$, то (2) реализуется в виде:

$$J = \int_{\tau_0}^{\tau_1} d\tau = \tau_1 - \tau_0. \quad (3)$$

Следовательно, задача минимизации функционала сводится к минимизации времени достижения требуемого уровня загрязнения ММ.

Если положить, что

$$\varphi_0 = \frac{a_c - (K_y Q_y + Q_{\phi} \varphi_{\phi} + Q_c \varphi_c) c}{G_0},$$

где Q_{ϕ}, Q_c – пропускная способность фильтра и сепаратора; $\varphi_{\phi}, \varphi_c$ – коэффициенты полноты отсева фильтра и сепаратора, то

$$J = \int_{\tau_0}^{\tau_1} \frac{a_c - (K_y Q_y + Q_{\phi} \varphi_{\phi} + Q_c \varphi_c) c}{G_0} d\tau = c(\tau_1) - c(\tau_0) \quad (4)$$

и оптимизация режимов сепарирования трансформируется в минимизацию разности между конечной $c(\tau_1)$ начальной $c(\tau_0)$ концентрациями НРБ продуктов в масле, что соответствует минимизации конечного значения концентрации c_1 , при начальном c_0 .

Таким образом, цели оптимального управления ЦС, идентифицированные уравнениями (3) и (4), являются задачами вариационного исчисления. На управляющее воздействие – пропускную способность Q_c сепаратора – накладывается ограничение $0 < Q_c < Q_n$ (паспортная пропускная способность сепаратора).

Вариационные задачи такого типа классическими методами решить трудно. Сложность применения для оптимизации обобщенных уравнений Эйлера – Лагранжа обусловлена наложенными ограничениями и предполагает громоздкие математические преобразования.

2. Использование принципа максимума

Согласно результатам исследований, в рассматриваемом случае целесообразно применить один из основных методов неклассического вариационного исчисления – принцип максимума. Практика оптимизации процессов, описываемых обыкновенными дифференциальными уравнениями, показала эффективность использования для этой цели принципа максимума Понтрягина [6].

В соответствии с общей схемой решения задач оптимального управления, с учетом изложенного, запишем гамильтониан для задачи быстрого действия, который представляет собой скалярное

произведение векторов $\lambda_1 \frac{dc}{d\tau}, \lambda_2 \frac{dm_d}{d\tau}$ и $\lambda_3 \frac{d\sigma_d}{d\tau}$:

$$\begin{aligned} \tilde{H} = & \frac{\lambda_1}{G_0} \left[a_c - (K_y Q_y + Q_\phi \varphi_\phi + Q_c \varphi_c) c \right] + \frac{\lambda_2}{G_0} \left[\frac{a_c}{c} (m_{da} - m_d) + Q_\phi (1 - \varphi_\phi) (m_{d\phi} - m_d) Q_c (1 - \varphi_c) (m_{dc} - m_d) \right] + \\ & + \frac{\lambda_3}{2G_0 \sigma_d} \left[\frac{a_c}{c} (\overline{d_a^2} - \overline{d^2} - 2m_{da} m_d + 2m_d^2) + Q_\phi (1 - \varphi_\phi) (\overline{d_\phi^2} - \overline{d^2} - 2m_{d\phi} m_d + 2m_d^2) + \right. \\ & \left. + Q_c (1 - \varphi_c) (\overline{d_c^2} - \overline{d^2} - 2m_{dc} m_d + 2m_d^2) \right]. \end{aligned} \quad (5)$$

Здесь λ_1, λ_2 и λ_3 – вспомогательные переменные, определяемые при решении сопряженных уравнений. Взятие производных в уравнении (5) приводит к результату:

$$\frac{d\lambda_1}{d\tau} = -\frac{\partial \tilde{H}}{\partial c} = \frac{1}{G_0} \left[\lambda_1 (K_y Q_y + Q_\phi \varphi_\phi + Q_c \varphi_c) + \lambda_2 (m_{da} - m_d) \frac{a_c}{c^2} + \lambda_3 (\overline{d_a^2} - \overline{d^2} - 2m_{da} m_d + m_d^2) \frac{a_c}{2c^2 \sigma_a} \right]; \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \frac{d\lambda_2}{d\tau} = -\frac{\partial \tilde{H}}{\partial d} = & \frac{1}{G_0} \left\{ \lambda_1 c Q_\phi \left(\frac{\partial \varphi_\phi}{\partial d} + Q_c \frac{\partial \varphi_c}{\partial d} \right) + \lambda_2 \left[\frac{a_c \partial m_d}{c \partial d} + Q_\phi (1 - \varphi_\phi) \left(1 - \frac{\partial m_d}{\partial d} \right) + (m_{d\phi} - m_d) \frac{Q_\phi \partial \varphi_\phi}{\varphi d} + \right. \right. \\ & + Q_c (1 - \varphi_c) \left(1 - \frac{\partial m_d}{\partial d} \right) + (m_{dc} - m_d) \frac{Q_c \partial \varphi_c}{\partial d} \left. \right] + \frac{\lambda_3}{2\sigma_d} \left[\frac{a_c}{c} \left(\frac{\partial \overline{d^2}}{\partial d} + 2m_{da} \frac{\partial m_d}{\partial d} - 2 \frac{\partial m_d^2}{\partial d} \right) + \right. \\ & + \frac{a_c}{c \sigma_d} (\overline{d_a^2} - \overline{d^2} - 2m_{da} m_d + m_d^2) \frac{\partial \sigma_d}{\partial d} - Q_\phi (1 - \varphi_\phi) \left(\frac{\partial \overline{d_\phi^2}}{\partial d} - \frac{\partial \overline{d^2}}{\partial d} - 2m_{d\phi} \frac{\partial m_d}{\partial d} - 2m_d \frac{\partial m_{d\phi}}{\partial d} + 2 \frac{\partial d_\phi^2}{\partial d} \right) + \\ & + Q_\phi (\overline{d_\phi^2} - \overline{d^2} - 2m_{d\phi} m_d + m_d^2) \frac{\partial \varphi_\phi}{\partial d} + \frac{Q_\phi}{\sigma_d} (1 - \varphi_\phi) (\overline{d_\phi^2} - \overline{d^2} - 2m_{d\phi} m_d - 2m_d^2) \frac{\partial \sigma_d}{\partial d} - \\ & - Q_c (1 - \varphi_c) \left(\frac{\partial \overline{d_c^2}}{\partial d} - \frac{\partial \overline{d^2}}{\partial d} - 2m_{dc} \frac{\partial m_d}{\partial d} - 2m_d \frac{\partial m_{dc}}{\partial d} + 2 \frac{\partial m_d^2}{\partial d} \right) + Q_c (\overline{d_c^2} - \overline{d^2} - 2m_{dc} m_d + 2m_d^2) \frac{\partial \varphi_c}{\partial d} \\ & \left. + \frac{Q_c}{\sigma_d} (1 - \varphi_c) (\overline{d_c^2} - \overline{d^2} - 2m_{dc} m_d + 2m_d^2) \frac{\partial \sigma_d}{\partial d} \right\}; \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \frac{d\lambda_3}{d\tau} = -\frac{\partial \tilde{H}}{\partial \sigma_d} = & \frac{1}{G_0} \left\{ \lambda_1 c \left(Q_\phi \frac{\partial \varphi_\phi}{\partial \sigma_d} + Q_c \frac{\partial \varphi_c}{\partial \sigma_d} \right) + \lambda_2 \left[\frac{a_c \partial m_d}{c \partial \sigma_d} + Q_\phi (1 - \varphi_\phi) \left(\frac{\partial m_{d\phi}}{\partial \sigma_d} - \frac{\partial m_d}{\partial \sigma_d} \right) + Q_\phi (m_{d\phi} - m_d) \frac{\partial \varphi_\phi}{\partial \sigma_d} - \right. \right. \\ & - Q_c (1 - \varphi_c) \left(\frac{\partial m_{dc}}{\partial \sigma_d} - \frac{\partial m_d}{\partial \sigma_d} \right) + Q_c (m_{dc} - m_d) \frac{\partial \varphi_c}{\partial \sigma_d} \left. \right] + \frac{\lambda_3}{2\sigma_d} \left[\frac{a_c}{c} \left(\frac{\partial \overline{d^2}}{\partial \sigma_d} + 2m_{da} \frac{\partial m_d}{\partial \sigma_d} - 2 \frac{\partial m_d^2}{\partial \sigma_d} \right) + \right. \\ & + \frac{a_c}{c \sigma_d} (\overline{d_a^2} - \overline{d^2} - 2m_{da} m_d + 2m_d^2) - Q_\phi (1 - \varphi_\phi) \left(\frac{\partial \overline{d_\phi^2}}{\partial \sigma_d} - \frac{\partial \overline{d^2}}{\partial \sigma_d} - 2m_{d\phi} \frac{\partial m_d}{\partial \sigma_d} - 2m_d \frac{\partial m_{d\phi}}{\partial \sigma_d} + 2 \frac{\partial m_d^2}{\partial \sigma_d} \right) + \\ & + Q_\phi (\overline{d_\phi^2} - \overline{d^2} - 2m_{d\phi} m_d + 2m_d^2) \frac{\partial \varphi_\phi}{\partial \sigma_d} + \frac{Q_\phi}{\sigma_d} (1 - \varphi_\phi) (\overline{d_\phi^2} - \overline{d^2} - 2m_{d\phi} m_d + 2m_d^2) - Q_c (1 - \varphi_c) \times \\ & \times \left(\frac{\partial \overline{d_c^2}}{\partial \sigma_d} - \frac{\partial \overline{d^2}}{\partial \sigma_d} - 2m_{dc} \frac{\partial m_d}{\partial \sigma_d} - 2m_d \frac{\partial m_{dc}}{\partial \sigma_d} + 2 \frac{\partial m_d^2}{\partial \sigma_d} \right) + Q_c (\overline{d_c^2} - \overline{d^2} - 2m_{dc} m_d + 2m_d^2) \frac{\partial \varphi_c}{\partial \sigma_d} + \frac{Q_c}{\sigma_d} (1 - \varphi_c) \times \\ & \left. \times (\overline{d_c^2} - \overline{d^2} - 2m_{dc} m_d + 2m_d^2) \right\}. \end{aligned} \quad (8)$$

Оптимальная пропускная способность Q_{opt} , при которой возникает минимум функционала (2), выбирается по максимуму гамильтониана (5) при соблюдении условия:

$$\begin{aligned} \tilde{H}[c(\tau), m_d(\tau), \sigma_d(\tau), \lambda(\tau), Q_c(\tau)] = \\ = \max \tilde{H}[c(\tau), m_d(\tau), \sigma_d(\tau), \lambda(\tau), Q_c(\tau)]. \end{aligned} \quad (9)$$

Из-за сложности правых частей систем уравнений (1) и (6) – (8) получить конечное значение

для Q_c в аналитическом виде не представляется возможным. Поэтому для решения использовали численные методы интегрирования.

Для нахождения с помощью (9) оптимальной программы управления ЦС указанные системы интегрировали совместно, задав граничные условия в начальной и конечной точках. Число граничных условий для обеих точек принимали одинаковым.

Для рассматриваемого случая начальные условия характеризуются концентрацией $c(\tau_0)$ с дисперсным составом $m_d(\tau_0)$, $\sigma_d(\tau_0)$ примесей. Параметр $c(\tau_1)$ задается исходя из состава системы «дизель – эксплуатация – топливо – масло – очистка». Недостаточные граничные условия в конце оптимальной траектории находили на основе трансверсальности:

$$\tilde{H} - \lambda_2(\tau_1) = -1, \quad \tilde{H} - \lambda_3(\tau_1) = -1.$$

Гамильтониан для системы (1) и функционала (4) составлен аналогично. После несложных преобразований по рекомендациям [2] он приведен к виду (5). Система сопряженных уравнений (6) – (8) осталась неизменной, но граничные условия в конечной точке интегрирования иные. Поскольку концентрация нерастворимых примесей в конце траектории не известна, незаданность ее компенсировали введением вспомогательной переменной. Величина переменной определяется из условий трансверсальности с учетом преобразований функции $\tilde{H} - \lambda(\tau_1) = -1$.

Таким образом, выбор оптимальных программ управления ЦС сведен к интегрированию систем уравнений (1) и (6) – (8) с двухточечными граничными условиями. Теория решения таких задач почти не разработана. Поэтому для интегрирования предложенных уравнений необходимо создание эффективных алгоритмов. На основе анализа численных методов принят способ «пристрелки» [3]. При его реализации возникли затруднения, обусловленные неустойчивостью систем уравнений (5) и (6) – (8). Даже небольшое изменение начальных параметров λ_1 , λ_2 и λ_3 существенно влияет на результаты интегрирования, что усложняет вычислительный алгоритм, поскольку необходимо найти путь к решению, избегая области неустойчивости. К тому же значение управляющего воздействия Q_c на каждом шаге интегрирования корректируется условием (9).

Для хорошего начального приближения параметров задачи в разработанном алгоритме расчета оптимальных программ управления пропускной способностью ЦС сочетали методы многократной «пристрелки» и вариации параметра.

Задавшись неизвестными значениями переменных (параметрами задачи) в начальной и конечной точках траектории находили промежуточное решение систем уравнений, которое обычно не совпадает с заданными граничными условиями. Многократным повторением этого процесса в соответствии с созданным алгоритмом выбирали значение неизвестных переменных, минимизирующих невязку в конечной точке интегрирования.

3. Реализация метода вариации параметра

Использование метода вариации параметра заключается в построении легко решаемой задачи аналогичной структуры с постепенным возвращением к исходной задаче при помощи повторных возмущений. В предложенном алгоритме возмущения краевой задачи (1) и (9) вызывались изменением участка интегрирования. При варьировании условий решение меняется непрерывно, в связи с чем каждый этап обеспечивает хорошее начальное приближение для следующего.

Вычисление начинали с задания вектора исходных приближений и начальной длины участка интегрирования. Для хорошего приближения параметров λ_{1H} принимали от $-0,1$ до -1 , λ_{2H} и λ_{3H} – в диапазоне $1-10$. Системы уравнений (1) и (6) – (8) интегрировали численно. Причем на каждом шаге интегрирования по условию (9) вычисляли оптимальное значение пропускной способности ЦС. Максимизацию гамильтониана (5) осуществляли методом «золотого сечения». По результатам расчета для задачи (3) относительно конечной точки интегрирования строили уравнения «сшивания» [3]:

$$\left. \begin{aligned} F_1(c) &= c(\tau_k) - c_k = 0; \\ F_2(\lambda_2) &= \lambda_2(\tau_k) - \lambda_{2k} = 0; \\ F_3(\lambda_3) &= \lambda_3(\tau_k) - \lambda_{3k} = 0. \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

При решении задачи (4) в системе (10) первое уравнение замещается выражением:

$$F_1(\lambda_1) = \lambda_1(\tau_k) - \lambda_{1k} = 0. \quad (11)$$

Полученную систему нелинейных алгебраических уравнений решали методом Ньютона. Элементы матрицы Якоби вычисляли путем аппроксимации производных на основе конечных разностей. Для этого каждый из параметров задачи поочередно возмущали с интегрированием уравнений систем (1) и (6) – (8). В итоге определяли искомые производные по переменным c , m_d , σ_d , λ_1 , λ_2 и λ_3 рассматриваемой краевой задачи. После заполнения матрицы Якоби рассчитывали поправки к этим параметрам. Систему снова интегрировали, строили уравнения «сшивания» и вычисляли элементы матрицы Якоби. Решение прекращали, когда невязка интегрируемых функций F_i становилась меньше заданной погрешности вычислений ε_0 . Затем интервал интегрирования увеличивали на константу τ_n метода вариации параметра. Предыдущее решение использовали в качестве начального приближения для нового отрезка интегрирования. Цикл повторяли до тех пор, пока не было достигнуто заданное значение уровня загрязненности при решении задачи (3) или не происходила стабилизация минимизированной переменной c в (4). Если при очередном увеличении интервала интегрирования система (10) с учетом (11) не решалась, константу метода вариации параметра уменьшали

вдвое и процедуру повторяли. Отправной точкой служили результаты последнего получившего устойчивое решение цикла.

4. Примеры решения оптимизационных задач

Алгоритм оптимизации Q_c для этих режимов реализован в программе [3] с использованием стандартных процедур ПЭВМ. При периодическом сепарировании ММ Deusel-215M во вспомогательном дизеле теплохода «Орша» с оптимизированной переменной подачей Q_{var} скорость удаления загрязнений была выше, чем при очистке в любом другом режиме (рис. 1). По мере уменьшения m_d и σ_d вследствие интенсивного удаления крупных частиц значение Q_{opt} понижается.

Сепарирование с оптимизированной пропускной способностью Q_{var} повышает полноту очистки масла. Минимальный уровень нерастворимых примесей в ММ при этом достигается за более короткий срок. Расчетные и экспериментальные кинетические кривые $c(\tau)$ почти совмещаются (см. рис. 1).

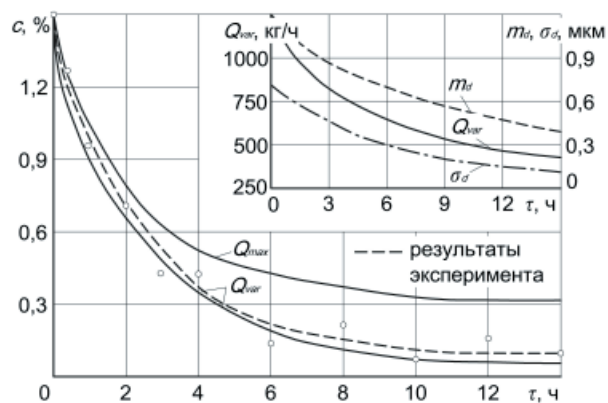


Рис. 1. Кинетика очистки ММ в дизеле 625MTBH-40 сепарированием

При исследовании второго способа подключения ЦС с постоянным загрязнением ММ и непрерывным сепарированием выявлено, что пропускная способность сепаратора Q_{opt} зависит главным образом от его конструктивно-эксплуатационных характеристик, моюще-диспергирующих свойств и температуры масла.

Если ЦС настроить на минимальную подачу, масло выходит хорошо очищенным. Однако при этом обрабатывается малая часть масла, находящегося в сточно-циркуляционной цистерне дизеля. При очистке с Q_{max} наблюдается высокая загрязненность ММ на выходе из сепаратора, так как единица объема масла меньше времени подвергается воздействию центробежного поля. Центробежная обработка значительной доли масла, содержащегося в цистерне, в этом случае не способствует удалению из него большей массы загрязнений. Сепарирование в режиме Q_{opt} интенсифицирует очистку ММ: $Q_{c\phi c}$ максимальна, концентрация НРБ примесей c и скорость старения масла a_c минимальны (рис. 2).

Минимизация c , если $a_c = const$ и m_d, σ_d переменны, определяет как варьировать Q_c для дос-

тижения c_{min} и m_{dmin} в наименьший период. В этом случае оптимизация осуществляется с применением обеих программ.

Разработанная методика оптимизации с использованием алгоритма и программы [3] апробирована для мощностного ряда СДВС, эксплуатируемых на морском флоте. Расчет выполнен для непрерывного режима сепарирования с учетом тонкости отсева судовых ЦС и их паспортной пропускной способности Q_n при вязкости 2 °ВУ. Рассматривали масла с высокими ($m_d = 0,4$ мкм), средними ($m_d = 0,8$ мкм) и низкими ($m_d = 1,2$ мкм) диспергирующими показателями. При этом во внимание принимали скорость загрязнения ММ и вместимость системы смазки G_0 .

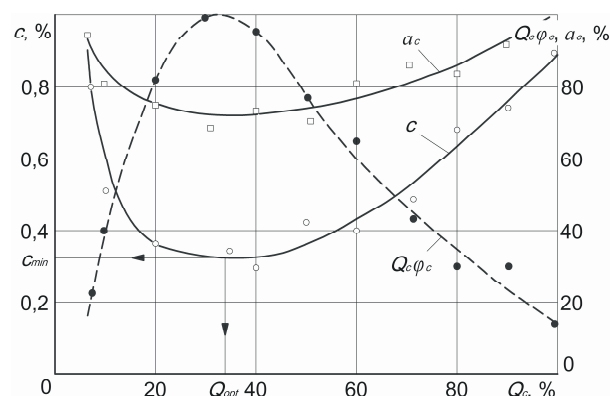


Рис. 2. Зависимость очистки и загрязнения ММ от подачи его в ЦС

Для выбора Q_{opt} в эксплуатационных условиях результаты оптимизации аппроксимированы полиномом:

$$Q_{opt} = 1108 \frac{m_d^{1,21} Q_n^{0,568} \sigma_d^{0,681} G_0^{0,252} a_c^{0,0509}}{\Delta^{1,07} c^{0,0398}}, \quad (12)$$

где Δ – номинальная тонкость отсева сепаратора.

С целью оперативного управления состоянием ММ на судах уравнение (12) номографировано. Номограмма дает возможность при известных параметрах СС, масла и ЦС определить Q_{opt} . Так как пропускную способность Q_n и тонкость отсева Δ фирмы-изготовителя ЦС нормируют не одинаково, выбор Q по зависимости (12) может повлечь за собой значительную погрешность.

Анализ полученных графических зависимостей показывает, что наибольшее, причем противоположное влияние на Q_{opt} оказывают тонкость отсева ЦС и дисперсный состав загрязнителя. Действие Q_n, σ_d и G_0 на параметр оптимизации равноценно. Менее всего Q_{opt} подвержено воздействию a_c и c . Причем увеличение всех факторов, кроме Δ и c , способствует росту функции отклика.

Для условий, когда паспортные разделяющая и пропускная способности ЦС заданы соответственно не при вязкости 2 °ВУ и эффективной плотности $\rho_{з\phi}$ загрязнений 30–50 кг/м³, Q_{opt} целесообразно выбирать с помощью комплекса конструктивных и эксплуатационных параметров маслоочистителя и режимов сепарирования:

$$Q_{opt} = 634,2A_{cc} \left[\frac{\rho_{эф} \omega^2 z_c (r_{max}^3 - r_{min}^3)}{\mu_m \operatorname{tg} \alpha} \right]^{0,568}, \quad (13)$$

где A_{cc} учитывает особенности загрязнения ММ и влияние СС [3]; ω – угловая скорость ротора ЦС; z_c – число его тарелок; r_{max} , r_{min} – максимальный и минимальный радиус тарелок; α – конусность тарелок; μ_m – вязкость масла.

Анализ результатов оптимизации показал, что Q_{opt} для используемых на судах ММ обычно составляет (0,1–0,3) Q_n , при значительном обводнении масла $Q_{opt} = (0,4–0,6)Q_n$. Данная подача допустима при очистке свежего масла.

Сепарирование следует вести с подогревом ММ до 70–85 °С. Верхний предел соответствует маслам с высокой термоокислительной стабильностью.

Заключение

1. На базе системного подхода с использованием принципа максимума – основного метода неклассического вариационного исчисления разработана методика повышения эффективности маслоочистительного комплекса и осуществлена оптимизация режимов его функционирования. С помощью данного метода задача оптимизации сведена к интегрированию систем уравнений с двухточечными граничными условиями. Алгоритм решения сформулированной при этом краевой задачи построен на сочетании методов многократной пристрелки и вариации параметра.

2. Режимы работы ЦС оптимизированы с использованием системы дифференциальных уравнений, описывающих посредством $c(\tau)$, $m_d(\tau)$ и $\sigma_d(\tau)$ кинетику массо-дисперсного обмена НРБ примесей в СС двигателей. Особенности уравнений позволили представить оптимизацию минимизацией функционала. Для этой цели по дифференциальным уравнениям и вспомогательным переменным λ_i в соответствии с общей схемой решения задачи управления составлен гамильтониан быстрогодействия и из условия его максимума показаны пути определения Q_{opt} .

3. Разработан универсальный алгоритм расчета и выбора оптимальных режимов сепарирования, который может быть использован в системах маслоочистки любых ДВС. Для оперативного управления ЦС в эксплуатационных условиях факторное пространство аппроксимировано полиномом на базе данных вычислительного эксперимента. Регрессионная модель оптимального байпасного сепарирования ММ номографирована.

4. Новизна разработанных моделей оптимального управления ЦС заключается:

– в универсальности решения. Оно пригодно как для стационарных, так и переходных режимов накопления и изменения дисперсного состава примесей в ММ;

– в учете влияния на Q_{opt} не только концентрации примесей c , но и через показатели m_d и σ_d их дисперсности.

Литература

1. Кича Г.П., Надежкин А.В., Глушков С.В. Комплексное системное решение проблемы ресурсосберегающего маслоиспользования в судовых дизелях // Морские интеллектуальные технологии. 2016. – № 3(33), Т. 1. С. 118–126.
2. Кича Г.П., Надежкин А.В. Оптимизация режимов центробежного сепарирования циркуляционного масла дизелей // Исследование и методы повышения эффективности технической эксплуатации судовых энергетических установок. Новосибирск, 1984. С. 36–40.
3. Кича Г.П., Перминов Б.Н., Надежкин А.В. Ресурсосберегающее маслоиспользование в судовых дизелях: монография. Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2011. 372 с.
4. Кича Г.П., Перминов Б.Н. Рациональное использование и экономия топливно-энергетических ресурсов на транспорте // Актуальные проблемы создания и эксплуатации комбинированных двигателей внутреннего сгорания: Тр. ХГТУ, Хабаровск: ХГТУ, 2002. С. 175–184.
5. Кича Г.П., Таращан Н.Н. Оптимизация рабочих параметров комбинированного фильтра при очистке моторного масла в судовых дизелях // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. 2015. № 3. С. 143–149.
6. Математическая теория оптимальных процессов / Л. С. Понтрягин, В. Г. Болтянский, Р. В. Гамкрелидзе, М. Ф. Мищенко. М.: Наука, 1976. 392 с.
7. Kicha G.P., Lipin G.M., Polorotov S.P. Tribotechnical charec teristics of insoluble motor oil contanmination products and their influence on engine // Soviet journal of Friction and Wear (English translation of Trenie i iznos). 1986. Vol. 7. № 6. P. 1068–1078.
8. Kicha G.P. Oil cleaning in inremal combustion engine // Gremisty and Technology of Fuels and Oils. 1985. № 2. P. 28–30.

References

1. Kicha G.P., Nadezhkin A.V., Glushkov S.V. Kompleksnoe sistemnoe reshenie problemy resursosberegayushchego masloispol'zovaniya v sudovyh dizelyah // Morskie intellektual'nye tekhnologii, 2016. № 3(33), T. 1. S. 118–126.
2. Kicha G.P., Nadezhkin A.V. Optimizaciya rezhimov centrobezhnogo separirovaniya cirkulyacionnogo masla dizelej // Issledovanie i metody povysheniya ehffektivnosti tekhnicheskoy ehkspluatatsii sudovyh ehnergeticheskikh ustanovok. Novosibirsk, 1984. S. 36–40.

3. Kicha G.P., Perminov B.N., Nadezhkin A.V. Resursosberegayushchee masloispol'zovanie v sudovyh dizelyah: monografiya. Vladivostok: Mor. gos. un-t, 2011. – 372 s.
4. Kicha G.P., Perminov B.N. Racional'noe ispol'zovanie i ehkonomiya toplivno-ehnergeticheskikh resursov na transporte // Aktual'nye problemy sozdaniya i ehkspluatacii kombinirovannykh dvigatelej vnutrennego sgoraniya: Tr. HGТУ, Habarovsk: HGТУ, 2002. S. 175–184.
5. Kicha G.P., Tarashchan N.N. Optimizaciya rabochih parametrov kombinirovannogo fil'tra pri chistke motornogo masla v sudovyh dizelyah // Nauchnye problemy transporta Sibiri i Dal'nego Vostoka. 2015. № 3. S. 143–149.
6. Matematicheskaya teoriya optimal'nykh processov / L. S. Pontryagin, V. G. Boltyanskij, R. V. Gamkrelidze, M. F. Mishchenko. M.: Nauka, 1976. 392 s.
7. Kicha G.P., Lipin G.M., Polorotov S.P. Tribotechnical charec teristics of insoluble motor oil contanmination products and their influence on engine // Soviet journal of Friction and Wear (English translation of Trenie i iznos). 1986. Vol. 7. № 6. P. 1068–1078.
8. Kicha G.P. Oil cleaning in inremal combustion engine // Gremisty and Technology of Fuels and Oils. 1985. № 2. P. 28–30.

УДК 621.436.001.63

ВОЗМОЖНОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ВОДОТОПЛИВНЫХ ЭМУЛЬСИЙ В СУДОВЫХ ДИЗЕЛЯХ В КАЧЕСТВЕ АЛЬТЕРНАТИВНОГО ТОПЛИВА

Геннадий Бенцианович Горелик

доктор технических наук, профессор
профессор кафедры Двигателей внутреннего сгорания
Тихоокеанского государственного университета
680035, г. Хабаровск, ул. Тихоокеанская, 136
e-mail: ggorelik@mail.ru

Алексей Юрьевич Коньков

доктор технических наук, доцент
заведующий кафедрой Двигателей внутреннего сгорания
Тихоокеанского государственного университета
680035, Хабаровск, ул. Тихоокеанская, 136
e-mail: 007380@pnu.edu.ru

Евгений Иванович Кончаков

доктор технических наук, профессор
профессор кафедры Судовой энергетики и автоматики
Дальневосточный федеральный университет
690091, Владивосток, ул. Суханова, 8
e-mail: vetrank45@mail.ru

Аннотация

Показаны преимущества работы на водотопливных эмульсиях (ВТЭ), особенно, на режимах малых подач и частот вращения коленчатого вала вследствие снижения нестабильности цикловой подачи. Рассмотрены физические причины положительного влияния ВТЭ на экономические и экологические показатели дизеля. Основные результаты получены на базе методов математического моделирования процесса впрыскивания для гидромеханической аппаратуры судового дизеля 6ЧНСП 18/22–630. Физико-механические свойства ВТЭ определены в предположении, что эмульсия остается двухфазной средой в процессе движения в нагнетательном трубопроводе, для которой предложена зависимость скорости распространения волны давления от содержания воды в эмульсии. Представленные результаты расчетов для номинального режима и режима минимально-устойчивых оборотов под нагрузкой при работе на дизельном топливе и ВТЭ подтверждают положительное влияние ВТЭ на параметры впрыскивания.

Ключевые слова: водотопливная эмульсия, водосодержание, коррозия, давление впрыскивания, межцикловая нестабильность, процессы топливоподачи

THE OPPORTUNITIES AND THE PERSPECTIVES USING OF WATER-FUEL EMULSIONS FOR MARINE DIESELS AS ALTERNATIVE FUEL

Gennadiy Bencianovich Gorelik

Professor, Dr. Sci. Tech.
Professor of department of Internal combustion engines
Pacific National University
136, Tihookeanskaya St., 680035, Khabarovsk, Russia
e-mail: ggorelik@mail.ru

Aleksei Yurievich Konkov

Associate professor, Dr.Sci.Tech.
Director of department of Internal combustion engines
Pacific National University
136, Tihookeanskaya St., 680035, Khabarovsk, Russia
e-mail: 007380@pnu.edu.ru

Evgeny Ivanovich Konchakov

Professor, Dr. Sci. Tech.
Professor of department of Ship power and automation

Far Eastern Federal University
8, Sukhanova st., 690091, Vladivostok, Russia
e-mail: vetrank45@mail.ru

Abstract

Advantages of work on water fuel emulsions (WFE), especially in the modes of small feeds and crankshaft rotation speeds are shown due to a decrease in the cyclic feed instability. The physical reasons for the positive impact of WFE on the economic and environmental performance of the diesel are considered. The main results were obtained on the basis of methods of mathematical simulation of the injection process for hydro-mechanical equipment of the ship diesel 6ЧНСП 18 / 22-630. Physicomechanical properties of WFE are determined on the assumption that the emulsion remains a two-phase medium in the course of motion in the injection pipeline. The dependence of the propagation velocity of the pressure wave on the water content of the emulsion is proposed. The presented results of calculations for the nominal mode and the mode of minimum-stable revolutions under load when working with diesel fuel and WFE confirm the positive effect of WFE on the injection parameters.

Key words: *water fuel emulsion, water content, corrosion, injection pressure, intercycle stability, fuel supply processes*

Введение

Применение водотопливных эмульсий (ВТЭ) для дизелей достаточно старая тема, остающаяся актуальной и на сегодняшний день [1,2,3]. Изучением свойств и применением водотопливных эмульсий (ВТЭ) в эксплуатации занимался сравнительно небольшой круг инженеров и ученых (Сомов, Лебедев, Воржев, Сисин, Гладков, Желудков, OkodaHiroshi, Zwigmann и др.).

При использовании ВТЭ, имеющих иные физико-механические свойства, температурные и вязкостные характеристики и о которых имеется недостаточная информация, возникает целый круг частных вопросов и задач, решение которых должно предшествовать практической реализации ВТЭ в рядовой эксплуатации и особенно применительно к долевым режимам.

Использование водотопливных эмульсий в энергетических установках началось с 1920 г. с целью повышения топливной экономичности двигателей внутреннего сгорания, обеспечения бездымного выхлопа, снижения температуры отработавших газов и снижения эмиссии оксидов углерода и азота (В.Ф. Кустов, В.М. Варшавский). В 1930...40 г. в Калифорнийском университете Беркли (США) Cornet и Nero успешно применили ВТЭ на двухтактном высокооборотном дизеле фирмы "Дженерал Моторс". В 1985...1990 г. Эстонское, Обское и Западно-Сибирское пароходства перевели часть судов флота на ВТЭ с явным положительным эффектом.

Фирмой «Англосакс Петролиум» на ВТЭ эксплуатировалось более 200 теплоходов. В Гаване (Куба) дизель-электрическая станция в составе пяти и четырехтактных дизелей работает на ВТЭ. Немецкая фирма "МАН" в начале 21 века начала эксплуатацию среднеоборотных мощных дизелей, оборудованных модулями транзитного приготовления ВТЭ.

Однако, до сих пор так и не изжиты «водобоязнь» организаций, эксплуатирующих дизели. Внедрение ВТЭ в рядовую эксплуатацию практически так и не состоялось.

Главный довод противников использования ВТЭ – вода приводит к коррозии прецизионных элементов топливной аппаратуры и деталей цилиндропоршневой группы. То, что при этом улучшается топливная экономичность на 3...7 % для новых дизелей (для бывших в эксплуатации – до 10–12 %), снижается температура процесса сгорания, клапанов и поршня на 20...30 °С, не привлекается во внимание. Водяные пары в химических процессах сгорания способствуют газификации частиц углерода и снижают нагарообразование или разрыхляют уже существующие отложения. Например, для малооборотных дизелей (МОД) 5ДКРН 50/110 и 5ДКРН 62/140 экспериментально установлено, что при применении ВТЭ нагарообразование уменьшается в 1,5...2 раза, а дымообразование – в 2...5 раз. Период между моточистками увеличен в 1,5 раза.

ВТЭ целесообразно использовать хотя бы для моточистки цилиндропоршневой группы и особенно топливной аппаратуры (ТА) и ее распылителей. При этом отмечается снижение расхода топлива и масла на угар, уменьшение износа и прогорания выхлопных клапанов. Затраты на техническое обслуживание при этом существенно сокращаются

1. Особенности работы дизеля на ВТЭ

Сажеобразование происходит, как правило, у холодных стенок цилиндра и при использовании ВТЭ концентрация сажи снижается в 1,5...2 раза [2,3]. Этот же эффект, но в большем масштабе, наблюдается на высокооборотных дизелях. Известно, что аморфная сажа адсорбирует на своей поверхности бензапирен и становится канцерогенной. Применение эмульсии не способствует образованию аморфной сажи, и, тем самым, снижает токсичность отработавших газов. Применение ВТЭ снижает температуру отработавших газов и самого дизеля. Поэтому возможна перегрузка двигателя в течение большего времени, чем по техническим условиям на поставку. При плавании в тропиках реализуется возможность работы на режимах полной мощности. Это особо

важно для рыбопромысловых судов, которым часто приходится работать на перегрузочных режимах.

Оксиды азота NO_x формируются в зоне высоких температур при избытке кислорода. ВТЭ снижает концентрацию кислорода и, главное, температуру в камере сгорания. Применение эмульсии уменьшает нагарообразование и выброс оксидов азота в атмосферу.

Международная конвенция MARPOL к настоящему времени резко повысила требования по содержанию оксидов азота в выхлопе судовых дизелей. Применение ВТЭ следует предпочесть использованию дорогостоящих нейтрализаторов или мерам по дефорсированию рабочего процесса, приводящим к потере положительных качеств высокого газотурбинного наддува в современных дизелях.

Особо следует остановиться на влиянии воды на процессы сгорания и механизм изнашивания. Индикаторный процесс в цилиндре, безусловно, изменяется в лучшую сторону за счет каталитического воздействия воды на цепные реакции сгорания. Увеличивается количество активных центров, при высоких температурах, молекулы воды диссоциируют на атомарный водород и кислород, способствуя реакциям окисления и сгорания.

Подтверждается гипотеза о микровзрывах капель воды, охваченных оболочкой из микрокапель топлива, что улучшает смесеобразование и индикаторный процесс по преобразованию энергии топлива. Положительно решается также вопрос о добавке к топливу водорастворимых и не токсичных присадок, способствующих улучшению протекания рабочего процесса. Например, многие присадки плохо растворимы в топливе, но хорошо – в воде (можно повышать цетановое число топлива за счет добавки, например, 5 % нитрата аммония или поливинилового спирта).

Данные по износу противоречивы. И все же больше имеется информации о том, что износы в целом по двигателю снижаются на 2...3 %. Во-первых, из-за уменьшения нагарообразования, во-вторых, благодаря тому, что в качественно приготовленной эмульсии при ее высокой дисперсности вода находится в связанном состоянии. При этом ВТЭ дает нейтральную реакцию на присутствие кислот и щелочей. Диаметры капель воды сопоставимы с зазорами в прецизионных элементах топливной аппаратуры. Пары воды, остающиеся и покидающие цилиндр, имеют температуру, значительно превосходящую точку росы. Следовательно, существенное водосодержание не должно усугубить коррозионные процессы в двигателе. Но при этом действительно необходимо производить пуск, прогрев и останов двигателя на чистом топливе, чтобы исключить возможность появления воды при коалесценции эмульсии в зазорах элементов цилиндропоршневой группы и топливной аппаратуры.

Таким образом, все вышеприведенные факты свидетельствуют о том, что применение ВТЭ существенно улучшает эксплуатационные харак-

теристики двигателей, что ВТЭ является альтернативным топливом, так как положительно изменяет физическую природу процессов топливоподачи, смесеобразования и сгорания, вносит изменения в механизм изнашивания, улучшает экологическое воздействие на окружающую среду. Безусловно, ее применение требует определенного изменения самой топливной аппаратуры и внедрения модуля транзитного приготовления ВТЭ, что ведет к некоторому усложнению установки с двигателем.

2. Процессы смесеобразования и топливоподачи при работе на ВТЭ

Вода, поглотив значительную энергию на парообразование, в процессе такта выпуска отработавших газов выносит ее из актива часть эффективной работы цикла. Но чем выше степень форсирования (наддув) двигателя, тем меньше унос располагаемой энергии.

Практика подтверждает, что применение ВТЭ дает существенный положительный эффект как по экономии топлива, так и по улучшению многих вышеприведенных показателей работы двигателя. Возникает вопрос, как же объяснить механизм положительного влияния ВТЭ на процессы двигателя. Для понимания природы положительного эффекта при использовании ВТЭ следует более подробно остановиться на отдельных его статьях, предлагаемых в качестве рабочих гипотез для последующей реализации: изменение характеристики подачи топлива; особенности распыливания топлива в начальной и конечной фазах впрыскивания; влияние способа приготовления эмульсии на микровзрывы в процессе смесеобразования; аккумуляция дополнительной энергии в процессе приготовления ВТЭ и последующего ее использования; улучшение процессов смесеобразования и сгорания, очистка деталей цилиндропоршневой группы и топливной аппаратуры (ТА).

Отличия в протекании рабочих процессов топливоподачи, факелообразования и последующего смесеобразования при работе на ВТЭ связаны в первую очередь с параметрами эмульсии (плотностью, сжимаемостью, скоростью распространения волны давления в эмульсии и ее вязкостью), а также с особенностями распада струи в канале распылителя и при выходе ее в полость камеры сгорания и, наконец, непосредственно связаны с процессами сгорания топливо-воздушной смеси в основных фазах горения [2, 3, 6, 7].

3. Расчетные зависимости и моделирование процессов подачи ВТЭ

Особенности процессов топливоподачи можно выявить путем математического моделирования работы ТА [3,4,5], для чего необходимо располагать информацией по физико-механическим свойствам ВТЭ. Следует провести исследование основных свойств эмульсии и выявить отклонения в протекании процессов топливоподачи при

различном водосодержании в эмульсии. Рассматривая движение водотопливной эмульсии в нагнетательном трубопроводе как двухфазной жидкости, были изучены и определены основные физико-механические свойства водотопливных эмульсий: плотность, сжимаемость и скорость распространения звука в ВТЭ. При этом полагаются, что физическая модель ВТЭ как бы состоит из 2-х объемов: объема топлива и объема воды. Введен ряд допущений [6], позволяющих упростить задачи расчетного определения скорости распространения звука в трубопроводе высокого давления в двухфазной среде:

- при качественном смешении воды с топливом происходит образование капель воды, окруженных и стянутых значительными силами поверхностного натяжения сольватной оболочкой;
- эти капли расположены в топливной среде равномерно и поэтому допустимо считать, что капли расположены на элементарных линиях тока с определенным промежутком;
- передача импульса волны давления обеспечивается в пределах центрального угла, определяющего долю миделева сечения капли, участвующего в передаче этого импульса.

Простейшие рассуждения позволяют оценить эту долю импульса как коэффициент рассеивания волны давления K в водной части ВТЭ для единичной площади сечения элементарной трубки тока в пределах $K = 0,3...0,4$, а с учетом относительной неравномерности эпюры скорости волны давления коэффициент рассеивания волны давления будет несколько меньше и составит величину $K2a_T/(a_B+a_T)$, т. е. в диапазоне $0,25...0,4$. В результате получаем

$$a = \sqrt{a_T^2(1-c_w) + Ka_B^2c_w}, \quad (1)$$

где a , a_B , a_T – соответственно скорость распространения звука в эмульсии, воде и топливе; c_w – массовая доля воды в эмульсии.

На рис. 1 дано сравнение результатов экспериментального исследования Е.К. Белова по определению скорости волны давления в эмульсии с данными, полученными по выражению (1).

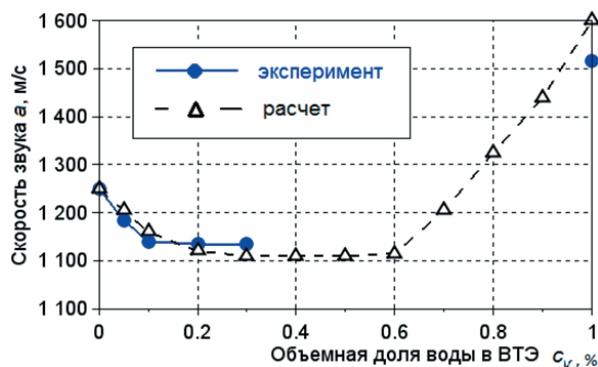


Рис. 1 Сравнение расчетных и экспериментальных данных

Выражение для плотности эмульсии ρ , полученное на основе закона аддитивности пикномет-

рическим методом, может быть использовано для выполнения расчетных исследований

$$\rho = \rho_T - \rho_T(1 - c_V) + c_V\rho_B, \quad (2)$$

где индексы в формуле представлены соответственно для топлива и воды

Объемное водосодержание физически более просто обеспечивается в эксперименте, а взаимосвязь между значениями массового и объемного водосодержания целесообразно определять из выражения

$$c_w = \frac{c_V}{\rho_T(1 - c_V) + c_V\rho_B}. \quad (3)$$

Если воспользоваться для определения сжимаемости ВТЭ формулой, принятой для капельной жидкости

$$\alpha = \frac{1}{\rho a^2}, \quad (4)$$

то получим результаты, согласующимися с результатами Е.К. Белова, полученными экспериментально для водосодержания эмульсии в пределах до 30 %. При дальнейшем увеличении водосодержания сжимаемость должна снижаться и при $c_V \rightarrow 1$ коэффициент сжимаемости эмульсии приближается к сжимаемости воды. Действительно, данный факт может быть объясним межмолекулярными взаимодействиями фазовых составляющих ВТЭ. На наш взгляд величина сжимаемости ВТЭ еще должна зависеть от качества эмульсии, т. е. от размеров капель воды. Возможно, это объясняет различие между экспериментом и расчетом. Для прояснения механизма взаимодействия фаз в эмульсии необходимо экспериментально оценить зависимость сжимаемости ВТЭ от водосодержания в широком диапазоне изменения размеров капель воды.

Таким образом, для выполнения расчетов процессов топливоподачи для водотопливных эмульсий с применением математических моделей возможно использовать выше приведенные формулы.

Безусловно, можно утверждать, что активный ход плунжера увеличится примерно на величину $0,8c_w$. В соответствие с критерием Сифмана N возрастает максимальное давление впрыскивания при незначительном увеличении продолжительности топливоподачи, что положительно отразится на качестве смесеобразования и сгорания для режимов, близких к номинальному. На частичных режимах из-за увеличенного активного хода плунжера эффект усиливается, при этом уменьшается межцикловая нестабильность процессов топливоподачи (критерий устойчивости X стремится к значению $0 < X < 1$ [5, 6]), а давление впрыскивания возрастает.

Для выявления особенностей топливоподачи дизеля при работе на дизельном топливе (ДТ) и ВТЭ был выполнен расчетный эксперимент с использованием авторской математической модели. Объектом исследования являлась ТА форсированных судовых дизелей 6ЧНСП 18/22-630 при

работе на номинальном режиме и режиме минимальной устойчивой частоте вращения коленчатого вала $n_{кв}$. В последнем случае имели место разрывы сплошности топлива, численно характеризующиеся объемами у насоса $V_{кн}$ и форсунки $V_{кф}$ (табл. 1).

Таблица 1

Исследуемые режимы топливоподачи

Режим	Топливо	$n_{кв}, \text{мин}^{-1}$	$h_s, \text{см}$	$p_{ост}, \text{МПа}$	$V_{кн}, \text{мм}^3$	$V_{кф}, \text{мм}^3$
1	ДТ	1000	0,54	9	—	—
2	ВТЭ	1000	0,66	10,6	—	—
3	ДТ	340	—	—	21	3
4	ВТЭ	340	—	—	30	3

В ходе математического моделирования рассчитывались зависимости изменения скорости и давления в процессе впрыскивания для нескольких сечений проточной части ТА, на основании которых определялись ряд интегральных и локальных характеристик процесса, в том числе: цикловая подача в основной фазе впрыскивания q_1 и при повторном впрыскивании q_2 (подвпрыскивании); доля цикловой подачи в фазе посадки иглы $g_{пп}$; угол поворота вала, соответствующий началу $\varphi_{пн}$, концу φ_k и продолжительности φ_n подачи топлива; максимальные давления топлива в полости насоса $p_{нmax}$, нагнетательного клапана $p_{кmax}$ и форсунки $p_{фmax}$.

Таблица 2

Результаты моделирования топливоподачи

Показатель	Значения на режимах			
	1	2	3	4
$g_1, \text{г/цикл}$	0,545	0,72	0,058	0,0078
$g_2, \text{г/цикл}$	0,031	0,083	—	—
$g_2/g_1, \%$	5,7	11,1	—	—
$g_{пп}, \%$	1,9	2,0	52	36
$\varphi_{пн}, \text{гр. п.кул.в.}$	17,3	21,2	3,85	4,8
$\varphi_n, \text{гр. п.кул.в.}$	23,6	24,1	23,75	24,3
$\varphi_k, \text{гр. п.кул.в.}$	40,9	45,3	27,6	29,1
$\varphi_{пп}, \text{гр. п.кул.в.}$	52–55	55–59	—	—
$p_{нmax}, \text{МПа}$	88	84,1	29,2	31,3
$p_{кmax}, \text{МПа}$	102	131	27,4	34,2
$p_{фmax}, \text{МПа}$	56,5	58,7	25,6	26,1

На номинальных режимах 1 и 2 происходит повторное впрыскивание соответственно величиной 5,7 % для работы на дизельном топливе и 11,1% при ВТЭ (табл.2). Но повторное впрыскивание при ВТЭ в меньшей степени ухудшает рабочий процесс двигателя, так как дробление эмульсии начинается сразу же на выходе ее из сопла и она, попадая в высокотемпературную среду в фазе догорания, за счет явления микровзрывов в большей степени преобразуется в работу, нежели это имеет место для дизельного топлива.

Доля топлива $g_{пп}$, поданная за период посадки иглы примерно одинакова (2 %) при скорости посадки иглы 85 см/с (вместо 140 см/с при ДТ), что обеспечит примерно одинаковые и даже лучшие условия работы распылителя. Имеет место увеличение продолжительности впрыскивания на

22 % при переносе угла начала подачи в сторону запаздывания на 3,9 градусов угла поворота кулачкового вала. Следовательно, желательна соответствующая переустановка угла опережения впрыскивания. Поэтому целесообразно введение транзитного модуля приготовления ВТЭ в работу на режимах, меньших 50...60 % нагрузки, когда не требуется никаких перенастроек ТА. При этом система автоматического регулирования частоты сама выберет необходимую подачу топлива для обеспечения нагрузочного режима работы.

При работе на режиме минимально-устойчивой подачи согласно ГОСТ 10150-88 подача на ВТЭ увеличена пропорционально водосодержанию при $n=340 \text{ мин}^{-1}$. Начало подачи происходит всего на 0,55 градуса позже, что практически не отразится на настройке рабочего процесса. При этом снижается межцикловая неустойчивость подачи, а критерий устойчивости ТА входит в диапазон $0 < X < 1$ [5]. Это позволяет снизить минимально-устойчивые обороты ниже 340 мин^{-1} . Максимальное давление у форсунки возрастает на 2 %, количество топлива за период посадки иглы уменьшается с 52 до 36 %, что следует считать положительным фактором.

Заключение

В последние годы значительно увеличилось количество публикаций, затрагивающих тему качества приготовления ВТЭ, а также материалов по её исследованию и применению.

Выполненные эксперименты показали положительные стороны влияния ВТЭ на рабочий процесс двигателя. Одним из главных положительных воздействий – это существенное снижение оксидов азота в отработавших газах и нагарообразования в камере сгорания и в выпускном тракте. Последнее позволяет значительно уменьшить износы цилиндропоршневой группы и обеспечить повышение количественных показателей надежности. Главное, работа на ВТЭ позволяет отказаться от сложных и дорогостоящих установок для снижения эмиссии оксидов азота.

Подтверждается положение, выдвинутое на конгрессе СИМАК, что ВТЭ является альтернативным топливом для дизелей. Можно утверждать, что энергия, затраченная на приготовление качественной ВТЭ, возвращается в баланс производимой работы.

Для проведения расчетов по оценке качества водотопливной эмульсии при проектировании транзитного модуля для приготовления эмульсии возможно использование приведенных в статье зависимостей.

Применение ВТЭ обеспечивает возможность снижения минимально-устойчивых оборотов под нагрузкой и на режиме холостого хода и выполнение требований ГОСТ 10150-88, существенно повышая эффективность работы судового дизеля.

Литература

1. Терещенко К.И., Воржев Ю.И. Применение водотопливных эмульсий на транспортных дизелях // Совершенствование системы ремонта и технического обслуживания тепловозов: Сборник трудов ВНИИЖТ. М.: Транспорт, 1995. С. 162–173.
2. Лышевский А.С. Процессы распыливания топлива дизельными форсунками. М.: Машиностроение, 1963. 179 с.
3. Лебедев О. Н., Сомов В. А., Сисин В. Д. Водотопливные эмульсии в судовых дизелях. Л.: Изд-во «Судостроение». 1988. 328 с.
4. Горелик Г.Б. Установка для приготовления водотопливной эмульсии / Г.Б. Горелик, А.Г. Подтероб, В.И. Боярчук // Патент на изобретение №2174864 Рос. Федерация, 2001. 5 с.
5. Горелик Г.Б. Процессы топливоподачи в дизелях при работе на долевых и переходных режимах. Хабаровск: Изд-во Хабар. гос. техн. ун-та, 2003. 247 с.
6. Горелик Г.Б. "Перетекание" электрической мощности при параллельной работе дизель-генераторов и обеспечение качества режимов малых нагрузок. Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2016. 249 с.
7. Mitsuhashi, K., and K. Takasaki. "Application of emulsified fuel to diesel engine." Mitsubishi Heavy Industries Technical Review 15.2 (1978).

References

1. Tereshhenko K.I., Vorzhev Ju.I. Primenenie vodotoplivnyh jemul'sij na transportnyh dizeljah [Application of water-fuel emulsions on transport diesel engines] // Sovershenstvovanie sistemy remonta i tehničeskogo obsluzhivaniya teplovozov: Sbornik trudov VNIIZhT. M.: Transport, 1995. p. 162–173.
2. Lyshevskij A.S. Processy raspylivaniya topliva dizel'nymi forsunkami. M., Mashinostroenie [The processes of spraying fuel with diesel injectors], 1963. 179 p.
3. Lebedev O. N., Somov V. A., Sisin V. D. Vodotoplivnye emul'sii v sudovykh dizelyakh [Water-fuel emulsions in marine diesel engines]. Leningrad, Sudostroenie, 1988. 328 p.
4. Ustanovka dlya prigotovleniya vodotoplivnoy emul'sii [Installation for the preparation of water-fuel emulsions]: patent No. 2174864 Russian Federation, 2001, 5 p.
5. Gorelik G.B. Protsessy toplivopodachi v dizelyakh pri rabote na dolevykh i perekhodnykh rezhimakh [Fuel supply processes in diesel engines when operating in partial and transient modes]. Khabarovsk, Izd-vo Khabar. gos. tekhn. un-ta, 2003, 247 p.
6. Gorelik G.B. "Peretekanie" elektricheskoy moshchnosti pri parallel'noy rabote dizel'-generatorov i obespechenie kachestva rezhimov malyykh nagruzok ["Overflow" of electric power with parallel operation of diesel generators and ensuring the quality of low-load conditions]. Khabarovsk: Izd-vo Tikhookean. gos. un-ta, 2016.– 249 p.
7. Mitsuhashi, K., and K. Takasaki. "Application of emulsified fuel to diesel engine." Mitsubishi Heavy Industries Technical Review 15.2 (1978).

УДК 621.577

РАЗВИТИЕ ТЕПЛОУТИЛИЗАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В СУДОВОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ

Сергей Валентинович Чехранов

доктор технических наук, профессор
профессор кафедры Судовых энергетических установок
Дальневосточный государственный технический
рыбохозяйственный университет
690087, г. Владивосток, ул. Луговая, 52 - Б
e-mail: turboroom@yandex.ru

Рафаиль Равильевич Симашов

кандидат технических наук, доцент
доцент кафедры Судовых энергетических установок
Дальневосточный государственный технический
рыбохозяйственный университет
690087, г. Владивосток, ул. Луговая, 52 - Б
e-mail: forsimashov@yandex.ru

Илья Николаевич Ханькович

старший преподаватель кафедры Судовых энергетических установок
Дальневосточный государственный технический
рыбохозяйственный университет
690087, г. Владивосток, ул. Луговая, 52 - Б
e-mail: ilbech-han@mail.ru

Аннотация

Анализ современных тенденций в вопросах утилизации вторичных энергетических ресурсов говорит о все возрастающей их актуальности. Во многом это связано с возрастанием требований к экологической безопасности. В этой связи рассмотрены вопросы совершенствования схем утилизации с целью более глубокого использования энергетического потенциала сбросного тепла судовых энергетических установок. Обращено внимание на утилизацию теплоты уходящих газов судовых вспомогательных котлов и применение двухкаскадных холодильных установок в схемах утилизации низкопотенциальной теплоты. Для судов, имеющих в составе энергетической установки паровые турбоприводы, предлагается использование паровых котлов переменной структуры. Этим достигается как более полное использование энергии дымовых газов, так и повышение надежности паровых турбоприводов путем поддержания таких параметров пара, которые при включении турбин исключают возможность их работы в области влажного пара. Особое внимание уделяется совершенствованию схем утилизации с использованием источников низкопотенциальной теплоты. В этом случае реализуется цикл Ренкина с использованием хладоновою турбины, приводящей холодильный компрессор. С целью расширения возможностей утилизационной схемы и снижения сроков ее окупаемости предлагается использование в ее составе двухкаскадной холодильной машины с эжекторной холодильной машиной в верхнем каскаде и компрессорной машиной в нижнем каскаде.

Ключевые слова: судовые энергетические установки, вторичные энергетические ресурсы, схемы утилизации, низкопотенциальная теплота, цикл Ренкина, хладоновою турбина

THE DEVELOPMENT OF THE HEAT RECOVERY TECHNOLOGIES IN MARINE POWER GENERATION

Sergei Valentinovich Chekhranov

Professor, Dr. Sci. Tech.
Professor of Department of Marine Power Systems
Far Eastern State Technical Fisheries University
52-B, Lugovaya str., 690087, Vladivostok, Russia
e-mail: turboroom@yandex.ru

Rafail Ravilevich Simashov

Associate professor, Cand. Sci. Tech.
Associate professor of Department of Marine Power Systems
Far Eastern State Technical Fisheries University

52-B, Lugovaya str., 690087, Vladivostok, Russia
e-mail: forsimashov@yandex.ru

Ilya Nikolaevich Khankovich

Senior lecturer of Department of Marine Power Systems
Far Eastern State Technical Fisheries University
52B Lugovaya Str., Vladivostok 690087, Russian Federation
e-mail: ilbech-han@mail.ru

Abstract

Analysis of current trends in field of waste recovery of recoverable energy resources reports on its' increasing relevance. In many respects it is connected with strengthening of requirements to ecology safety. In this regard paper is devoted to development of waste recovery diagrams to completely use energy potential of rejected heat of marine power systems. Attention is paid to recovery of heat of exit gases of marine supplementary boilers and to the implementation of two-circuit refrigerating units as part of low-grade heat recovery. It is suggested to use steam boilers with variable structure for the vessels, having steam turbine drive as a component of power system. It helps to achieve not only more complete use of flue gas energy but also reliability improvement of steam turbine drive through maintenance of steam parameters which exclude possibility of turbine operation in wet vapour conditions at the moment of its' activating. Special attention is paid to development of waste recovery diagrams containing use of low-grade heat sources. In this case Rankine cycle with use of freon turbine, which drives refrigerant compressor, is realized. For the purpose of waste recovery diagram enhancement and reduction of it' recoument period it is suggested to use within the diagram two-circuit refrigerating unit with ejection refrigerating machine in it' upper circuit and compressor unit in lower circuit.

Key words: *marine power systems, recoverable energy resources, waste recovery diagrams, low-grade heat, Rankine cycle, freon turbine*

Введение

Федеральный закон об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности от 2009 г. [1] поставил в число приоритетных задач не только проблему экономии топлива как энергетического ресурса, но и проблему экологической безопасности. А это в свою очередь позволило под другим углом посмотреть на вопросы утилизации вторичных энергоресурсов (ВЭР). Поэтому целью данной работы является анализ возможностей расширения утилизационных технологий в судовой энергетике. Прежде всего, речь идет о том, что почти все исследования в области утилизации ВЭР сводятся к оценке окупаемости тех, или иных схем утилизации и выработке рекомендаций к их применению именно с этой точки зрения [2], [3]. При этом сравниваются стоимость утилизационной установки и стоимость сэкономленного топлива от применения этой установки, где вполне очевидно, что чем дешевле топливо, тем меньше выигрыш от утилизации ВЭР. В связи с этим рекомендуются к применению только такие схемы утилизации, которые окупают вложенные затраты в приемлемые сроки. Все это, конечно, правильно, но, наверное, не всегда, если речь идет о серьезных вопросах экологической безопасности. Возможно, что в каких-то конкретных обстоятельствах вопросы применения утилизационных схем стоит рассматривать и с дотационных позиций. Но это не значит, что вопросы окупаемости перестают быть важными. Они были и остаются в числе приоритетных.

В ВЭР можно выделить источники среднепотенциальной и низкопотенциальной теплоты. К

низкопотенциальной теплоте большинство исследователей условно относят ВЭР с температурой ниже 300 °С, а с большей температурой - к среднепотенциальной [4]. При этом немаловажно отметить, что в настоящее время использованию низкопотенциальной теплоты уделяется все больше внимания. Это и неудивительно, поскольку запасы именно этих ВЭР действительно огромны. Как отмечено в [5] использование низкопотенциальных ВЭР равнозначно экономии 31,5 млн т/год условного топлива даже без учета ВЭР отходящих газов энергетических и технологических установок.

В то же время известно, что использование низкопотенциальных ВЭР может быть эффективным в утилизационных технологиях с применением низкотемпературных рабочих тел (НРТ), обычно применяемых в холодильной технике. Кипение НРТ при низких температурах позволяет использовать их в паротурбинных циклах Ренкина, т.е. преобразовывать теплоту низкопотенциальных источников в механическую работу на валу такой хладоновой турбины [6] [7]. В судовых условиях для таких турбин можно найти очень широкое применение.

1. Анализ современных тенденций утилизации ВЭР

При разработке схем утилизации наибольшее внимание, как правило, уделяется использованию теплоты уходящих газов. Это вполне логично, поскольку уходящие газы имеют самый высокий тепловой потенциал среди всех видов ВЭР и, следовательно, оказывают самое большое влия-

ние на уровень к.п.д. энергетической установки и уровень теплового загрязнения окружающей среды.

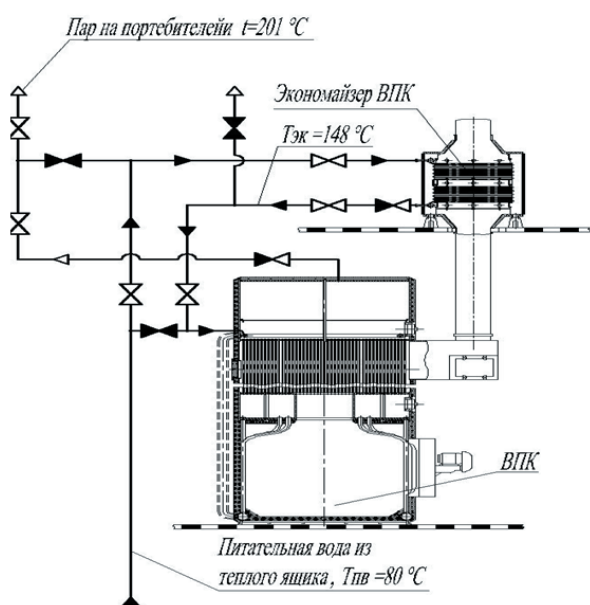
В этой связи следует обратить внимание и еще на один резерв ВЭР - уходящие газы от вспомогательных паровых котлов (ВПК). Дело в том, что далеко не у всех ВПК тепловая энергия газов утилизируется в полной мере. Например, на танкерах расход топлива на судовую котельную установку (СКУ) может достигать таких же значений, как и у главного двигателя (ГД), при этом парогенераторы судна работают не только на подогрев груза, но и на вспомогательные паровые турбины – приводы грузовых насосов. Насыщенный пар при давлении 1,6 МПа поступает непосредственно на турбины насосов. Однако работа турбин в обла-

сти влажного пара очень часто приводит к поломкам последней.

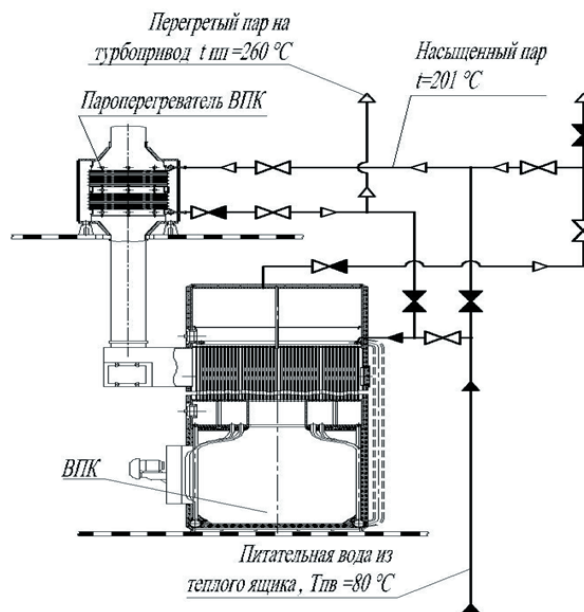
2. Переменная структура судовой котельной установки

Существует интересное предложение фирмы «Aalborg» об установке одного из элементов парового котла - пароперегревателя на сам котел, показанное на схеме (Рис.1). При этом пароперегреватель можно расположить прямо над ВПК, к чему располагает и конструкция палубы непосредственно над дымоходом. Здесь важно то, что конструкция котла не потребует никаких изменений.

ВПК работает на подогрев груза (схема с экономайзером)



ВПК работает на паровые турбины (схема с пароперегревателем)



☒ - Клапан открытый ☒ - Клапан закрытый ☒ - Клапан невозвратный

Рис. 1 Принципиальная схема СКУ переменной структуры

При к.п.д. современных котлов 80-82% температура газов за ними остается достаточной для возможности перегрева пара с 200 до 260 °С, при этом к.п.д. ВПК вырастет до 85-86 %. Однако данный режим работы котла является относительно кратковременным, поскольку турбины гру-

зовых насосов работают только при выгрузке танкера, более продолжительным для котлов является режим подогрева груза насыщенным паром на переходе. При этом подача перегретого пара не допускается.

Таблица 1

Результаты расчета котла переменной структуры

Параметр, размерность	ПП	ЭК	ПП	ЭК
Расход пара, т/ч		40		20
Давление, МПа		1,6		1,6
Температура уходящих газов перед утилизатором, °С		414		414
Температура уходящих газов за утилизатором, °С	279	195	275	195
Температура насыщенного пара, °С		201		201
Температура перегретого пара, °С	260	-	260	-
Температура питательной воды на входе в котел, °С	80	147,5	80	147,6
Мощность утилизатора, кВт	1910	3160	943	1577
КПД котла без утилизатора, %		81,7		81,7
КПД котла с утилизатором, %	86,7	90,3	86,8	90,3
Расход топлива котла без утилизатора (только насыщенный пар), кг/ч		2924		1462
Расход топлива котла с утилизатором, кг/ч	2927	2624	1459	1312

Таким образом, применение утилизатора в качестве экономайзера не только повысит надежность агрегата, но и снизит расход топлива на 10,3 %.

Для охлаждения труб пароперегревателя в период работы ВПК на подогрев груза целесообразно подать питательную воду из теплого ящика, т.е. использовать неработающий пароперегреватель как экономайзер и в силу двойного применения его называют утилизатором. Такое применение поверхности теплообмена позволяет менять структуру самого ВПК путем переключения нужных клапанов.

Следует отметить, что в последние годы при разработке вопросов утилизации ВЭР все активнее применяются тригенерационные технологии, в которых кроме механической и тепловой энергии вырабатывается холод [8]. Преобразование тепловой энергии ВЭР в холод применялось и ранее. В этой связи следует отметить, что совре-

менные суда, как строящиеся, так и проектируемые, имеют в своем составе высокофорсированные главные двигатели, причем, преимущественно, с валогенераторами. При такой комплектации энергетической установки суда любого типа большую часть ходового времени могут работать при нагрузках, близких к номинальным. А это в свою очередь обеспечит утилизационным установкам возможность постоянной работы, причем, на режимах, близких к расчетным, что, несомненно, повлияет на снижение сроков их окупаемости.

Особый интерес вызывают разработки схем утилизации, позволяющие наиболее полно использовать энергию ВЭР. К числу таких схем можно отнести двухкаскадные холодильные схемы, эффективность которых исследована в работе [9]. Принципиальная схема утилизации с двухкаскадной холодильной машиной, разработанная в Дальрыбвтузе, показана на схеме (Рис. 2).

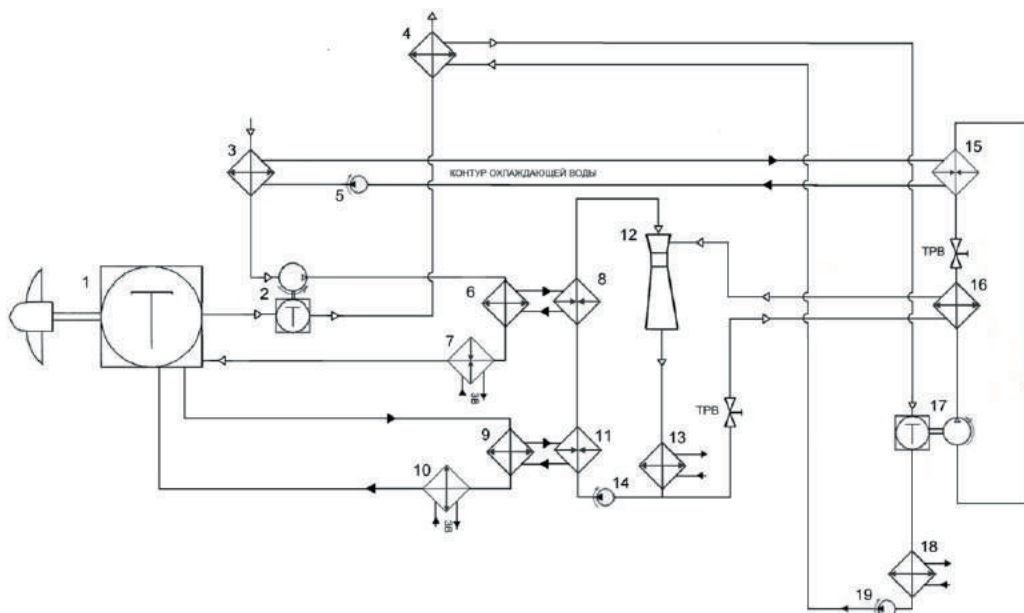


Рис. 2 Принципиальная схема утилизации с двухкаскадной холодильной машиной для охлаждения наддувочного воздуха на входе в ТК: 1 - ГД; 2 - наддувочный турбокомпрессор; 3 - охладитель наддувочного воздуха на входе в ТК; 4 - утилькотел; 5 - насос прокачки охлаждающей воды; 6 - промежуточный охладитель сжатого воздуха; 7 - штатный охладитель воздуха; 8 - нагреватель хладагента перед эжектором с промежуточным теплоносителем - пресной водой; 9 - промежуточный охладитель горячей воды на выходе из дизеля; 10 - штатный холодильник охлаждающей воды дизеля; 11 - предварительный нагреватель хладагента с промежуточным теплоносителем; 12 - эжектор ЭХМ верхнего каскада; 13 - конденсатор; 14 - циркуляционный насос ЭХМ; 15, 16 - испаритель – конденсатор как совместный теплообменник верхнего и нижнего каскадов; 17 - хладагентный турбокомпрессор; 18 - конденсатор в паротурбинном цикле Ренкина; 19 - циркуляционный насос цикла Ренкина

Двухкаскадную холодильную машину делают состоящей как бы из двух ХМ, объединенных в один агрегат, причем, с общими теплообменными аппаратами. В этом случае верхний каскад обеспечивает своим испарителем низкую температуру конденсации нижнему каскаду. А это позволяет ХМ нижнего каскада значительно снизить степень повышения давления в компрессоре, а значит, и мощность его привода, либо при той же мощности значительно повысить холодопроизводительность путем увеличения расхода хладагента.

Двухкаскадная схема позволяет применить более простые одноступенчатые компрессоры

без снижения холодильной эффективности. Кроме того, при изменении условий работы судна холодильные машины каждого каскада могут работать в автономном режиме как самостоятельные ХМ.

Следует отметить и то, что в каскадах могут применяться разные хладагенты, что очень важно для судов, у которых существенно ограничены возможности размещения холодильных машин в отдельных специализированных помещениях. А двухкаскадная установка может содержать в одном из каскадов безопасный хладагент: воздух, воду или диоксид углерода в небольших количе-

ствах, что позволяет разместить этот каскад и в обычном судовом помещении. На рыбопромысловом судне двухкаскадная схема позволит без особых проблем разместить всю утилизационную установку в рефотделении судна на месте, предусмотренном для штатных холодильных машин. В утилизационной установке в качестве привода компрессора можно рекомендовать паровую хладонную турбину, работающую от тепла вторичных энергоресурсов. В схеме утилизации может использоваться и парозежкторная установка, так же работающая на энергии вторичных энергоресурсов.

Поэтому в качестве утилизационной схемы можно использовать двухкаскадную установку с фреоновой парозежкторной ХМ в верхнем каскаде и турбокомпрессорной ХМ с винтовым компрессором (ВК) в нижнем каскаде.

Заключение

Представленный анализ развития современных утилизационных технологий в судовой энергетике свидетельствует о расширении возможностей различных схем утилизации. Это связано как с внедрением новейших достижений в области конструирования основных элементов утилизационных схем, так и с расширением областей применения утилизационных технологий в соответствии с современными экологическими требованиями.

При этом все более пристальное внимание уделяется возможностям утилизации низкопотенциальной теплоты. И одним из наиболее перспективных направлений представляется применение тригенерационных технологий с охлаждением наддувочного воздуха ГД и грузов, перевозимых судном.

Литература

1. Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации. Федеральный закон РФ от 23 ноября 2009 года № 261-ФЗ
2. Седелников Г. Д. Энергосберегающие системы малооборотных дизелей. - Владивосток: Дальнаука, 2003.
3. Лашко В. А. Оценка влияния цены топлива на результаты оптимизации энергосберегающих систем судового дизеля / Лашко В. А., Седелников Г. Д., Попов А.Ю. // Вестник ТОГУ, №2 (21), 2011, с. 81-88.
4. Лотош, В. Е. Утилизация вторичных энергетических ресурсов/ Научные и технические аспекты охраны окружающей среды : обзорная информация/ Рос. акад. наук, Мин-во пром-сти, науки и технологий РФ., - М. : ВИНТИ, 2003г. № 3. С.67-81.
5. Безруких П.П. Нетрадиционная энергетика // Рос. хим. журн. - 1997. - № 6. - С. 82-91.
6. Паротурбинные установки с органическими рабочими телами / М. М. Гришутин, А. П. Севастьянов, Л. И. Селезнев, Е. Д. Федорович. -л.: Машиностроение. Ленингр. отд., 1988. – 219 с.
7. Белов Г. В., Дорохова М. А. Органический цикл Ренкина и его применение в альтернативной энергетике // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. - Электрон. журн. – 2014 - № 2 – с. 99-124.
8. Тригенерационные системы комплексного использования сбросной теплоты судовых дизелей / А.А. Сирота, А.Н. Радченко, Д.В. Коновалов, Н.И. Радченко // Вестник двигателестроения. – 2008. – № 2. – С. 68-72.
9. Ротгольц Е.А. Выбор хладагента и схемы холодильной установки / Ротгольц Е.А., Оносовский В.В., Калюнов В.С., Акчурин И.К. // Наука и техника, №7, 2004, с. 2 – 7.

References

1. Ob energosberezhenii i o povyshenii energeticheskoy effektivnosti i o vnesenii izmeneniy v otdel'nye zakonodatel'nye akty Rossiyskoy Federatsii. Federal'nyy zakon RF ot 23 noyabrya 2009 goda № 261-FZ
2. Sedel'nikov G. D. E'nergosberegayushchie sistemy malooborotnykh dizeley. - Vladivostok: Dal'nauka, 2003.
3. Lashko V. A. Otsenka vliyaniya tseny topliva na rezul'taty optimizatsii energosberegayushchikh sistem sudovogo dizelya / Lashko V. A., Sedel'nikov G. D., Popov A.YU. // Vestnik TOGU, №2 (21), 2011, s. 81-88.
4. Lotosh, V. E. Utilizatsiya vtorichnykh energeticheskikh resursov/ Nauchnye i tekhnicheskie aspekty okhrany okruzhayushchey sredy : obzornaya informatsiya/ Ros. akad. nauk, Min-vo prom-sti, nauki i tekhnologiy RF., - M. : VINITI, 2003g. № 3. S.67-81.
5. Bezrukikh P.P. Netraditsionnaya energetika // Ros. khim. zhurn. - 1997. - № 6. - S. 82-91.
6. Paroturbinnye ustanovki s organicheskimi rabochimi telami / M. M. Grishutin, A. P. Sevast'yanov, L. I. Seleznev, E. D. Fedorovich. -L.: Mashinostroenie. Leningr. otd., 1988. – 219 s.
7. Belov G. V., Dorokhova M. A. Organicheskiy tsikl Renkina i ego primeneniye v al'ternativnoy energetike // Nauka i obrazovanie. MG TU im. N.E'. Bauman a. - E'lektron. zhurn. – 2014 - № 2 – s. 99-124.
8. Trigeneratsionnye sistemy kompleksnogo ispol'zovaniya sbrosnoy teploty sudovykh dizeley / A.A. Sirota, A.N. Radchenko, D.V. Konovalov, N.I. Radchenko // Vestnik dvigatelestroeniya. – 2008. – № 2. – S. 68-72.
9. Rotgol'ts E.A. Vybor khladagenta i skhemy kholodil'noy ustanovki / Rotgol'ts E.A., Onosovskiy V.V., Kalyunov V.C., Akchurin I.K. // Nauka i tekhnika, №7, 2004, s. 2 – 7.

УДК 621.43.013 – 629.3

СТОХАСТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗДЕЛЕНИЯ СЛОЖНЫХ ГЕТЕРОГЕННЫХ СИСТЕМ СУДОВЫХ УСТРОЙСТВ НА ОСНОВЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ И АППАРАТА СЛУЧАЙНЫХ МАРКОВСКИХ ПРОЦЕССОВ

Борис Николаевич Воробьев

кандидат технических наук, доцент
доцент 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

Андрей Вениаминович Надежкин

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

Геннадий Петрович Кича

доктор технических наук, профессор
заведующий кафедрой 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

Аннотация

С использованием представлений и аппарата случайных марковских процессов разработаны стохастические модели очистки горюче-смазочных материалов фильтрованием и центрифугированием. Идентифицировано взаимодействие дисперсной фазы загрязнений топлив и масел с волоконными фильтровальными структурами и поведение ее в центробежном поле.

Рассмотрена ячеистая модель отфильтровывания частиц дисперсной фазы в возмущенном потоке с флуктуациями, вызываемыми пристенными эффектами, стесненностью движения и диффузионными явлениями. Идентифицированы адгезионная, химмотологическая и седиментационная группы осаждения частиц загрязнений моторного масла на волокна (коллекторы) фильтровального материала.

Выделение нерастворимых загрязнений и масла под действием центробежных сил рассмотрено в стохастической постановке с учетом стеснённого движения, формы и концентрации частиц дисперсной фазы. Для расчета эффективности очистки горюче-смазочных материалов от нерастворимых загрязнений центрифугированием предложено использовать сеточные методы. В частности, метод конечных разностей, который показал безусловную устойчивость и имеет высокую консервативность.

Ключевые слова: *фильтрование, центрифугирование, разделение гетерогенных систем, стохастическое моделирование, марковские процессы, горюче-смазочные материалы, очистка топлив и масел, фракционный коэффициент отсева*

STOCHASTIC SEPARATION MODELING OF COMPLEX HETEROGENEOUS SYSTEMS OF SHIP DEVICES ON THE BASIS OF THE CONCEPTS AND APPARATUS OF RANDOM MARKOV PROCESSES

Boris Nikolaevich Vorob'ev

Associate professor, Cand. Sci. Tech.
Associate professor of Department of Marine internal combustion engines
Maritime state university named Admiral G. Nevelskoy
50 – a, Verkhneportovaya st., 690059, Vladivostok, Russia
tel.: (423) 251-52-26

Andrei Venifminovich Nadezkin

Professor, Dr. Sci. Tech.
Professor of Department of Marine internal combustion engines
Maritime state university named Admiral G. Nevelskoy
50 – a, Verkhneportovaya st., 690059, Vladivostok, Russia
tel.: (423) 251-52-26; e-mail: nadezkin@msun.ru

Gennady Petrovich Kicha

Professor, Dr. Sci. Tech.
Director of Department of Marine internal combustion engines
Maritime state university named Admiral G. Nevelskoy
50 – a, Verkhneportovaya st., 690059, Vladivostok, Russia
tel.: (423) 251-52-26; e-mail: kicha@msun.ru

Abstract

Using the concepts and apparatus of random Markov processes, stochastic models of fuel and lubricants cleaning by filtering and centrifuging were developed. The interaction of the dispersed phase contaminants of fuels and oils with a fiber filter structures and its behavior in the centrifugal field was identified.

A cellular model of the filtration of the dispersed particles in the turbulent current with fluctuations, caused by wall effects, lack of movement and diffuse phenomena was studied. Adhesive, tribochemical and sedimentation groups of the deposition of contamination particles of the engine oil on the fibers (collectors) of a filter material were identified.

Separation of non-soluble impurities and oil under the action of centrifugal forces was studied in the stochastic statement, due to the constraint of movement, shape and concentration of the dispersed particles. To calculate the cleaning efficiency of fuel and lubricants from the insoluble impurities by centrifugal purification it was suggested to use grid methods. In particular, a finite-difference method, which showed the unconditional stability and has a strong conservatism.

Key words: *filtration, centrifuging, separation of heterogeneous systems, stochastic modeling, Markov processes, fuels and lubricants, purification of fuels and oils, fractional dropout rate*

Введение

На судах широкое распространение получили аппараты очистки горюче-смазочных материалов (ГСМ), в которых разделение сложных гетерогенных систем осуществляется на принципах фильтрации и центрифугирования. Трудности моделирования рабочих процессов в этих устройствах вызваны сложностью состава подлежащих разделению гетерогенных многофазных систем.

Изучение закономерностей разделения сложных гетерогенных систем показало, что на детерминированном подходе прогнозировать с достаточной для практических целей точностью эффективность судовых систем топливо- и маслоочистки невозможно. Это обусловлено значительным влиянием диффузионных явлений на эффективность очистки ГСМ, так как дисперсная фаза (ДФ) продуктов их загрязнения мелкодисперсна. Кроме того, в центрифугах при очистке наблюдаются турбулентные пульсации, которые приводят к погрешностям расчета.

Стохастичность процесса разделения сложных гетерогенных систем вызывается также стесненностью движения частиц и действием пристенных эффектов при их отсеивании, что приводит к флуктуации скорости осаднения, которая не может быть рассчитана на стоковских представлениях.

1. Использование аппарата марковских процессов для идентификации фильтрации и центрифугирования

В данной статье при описании фильтрации и центрифугирования отсеивания ДФ рассмотрен как случайный процесс, который учитывает непредсказуемый характер помех и внешних возмущений при движении через поровую структуру или в центробежном очистителе. Использована методика, позволяющая сочетать достоинства точного детерминированного описания механизма очистки со стохастическим представлением явлений, сопровождающих этот процесс. При этом рассмотрено осаждение не одиночной частицы в форме шара, а совокупности взаимодействующих в стесненных условиях реальных частиц, имеющих произвольную форму.

Нами реальное флуктуационное разделение сложных дисперсных систем было сведено к процессу без последствий, что позволило применить для его моделирования математические методы теории Маркова [1]. Такой подход обусловлен тем, что внешние случайные воздействия на ДФ являются дельта-коррелированной функцией времени с нулевым средним значением.

Для рассматриваемых процессов время корреляции флуктуаций очень мало по сравнению со

временем релаксации, поэтому внешняя возмущающая сила может быть охарактеризована как "белый шум". Эта предпосылка весьма правдоподобна и подтверждена опытом близких к фильтрованию и центрифугированию разделительных процессов [2, 3].

В общем случае многомерному процессу $\vec{r}(\tau)$ переноса частиц в поровом пространстве фильтровальной перегородки или осаждения их под действием центробежной силы соответствует система стохастических уравнений с компонентами $x_i(\tau)$:

$$\frac{dx_i}{d\tau} = F_i(\vec{r}, \tau) + f_i(\vec{r}, \tau) \quad (i = 1, 2, \dots, n), \quad (1)$$

где F_i, f_i – детерминированные и случайные воздействия на частицы ДФ.

Компоненты $x_i(\tau)$ случайной функции $\vec{r}(\tau)$ представляют собой обобщенные координаты системы либо совокупность координат и скоростей. Так как для большинства разделительных процессов $\langle f_i(\vec{r}, \tau) \rangle = 0$, а $\langle f_i(\vec{r}, \tau) + f_j(\vec{r}, \tau + t) \rangle = B_{ij}(\vec{r}, \tau) \delta(\tau)$, то выражению (1) соответствует уравнение Колмогорова – Фоккера – Планка [2]:

$$\frac{\partial W(\vec{r}, \tau)}{\partial \tau} = \sum_{i=1}^{n_i} \frac{\partial [QA_i(\vec{r}, \tau)W(\vec{r}, \tau)]}{\partial x_i} + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{n_i} \sum_{j=1}^{n_j} \frac{\partial^2 [QB_{ij}(\vec{r}, \tau)W(\vec{r}, \tau)]}{\partial x_i \partial x_j}, \quad (2)$$

где $A_i(\vec{r}, \tau)$ и $B_{ij}(\vec{r}, \tau)$ – систематические изменения x_i и дисперсии n -мерного вектора $\vec{r}(\tau)$; Q – метрика векторного пространства; B_{ij} – множитель в функции корреляции случайной силы, характеризующей интенсивность случайных воздействий на ДФ; $\delta(\tau)$ – дельта-функция Дирака [1, 3].

Применительно к задачам разделения плотность вероятности $W(\vec{r}, \tau)$ отождествляется с относительной концентрацией ДФ в элементарном объеме n -мерного фазового пространства. Задачей очистки является определение вероятности достижения частицей границ заданного фазового пространства или уноса ее.

2. Разработка ячеистой модели фильтрования

Рассмотрим возможности разработанного подхода на примере ячеистой модели фильтрования, которая характерна для большинства фильтровальных перегородок: тканых сеток, металлокерамики и нетканых волоконных ФМ. Ячейка (Рис. 1) в виде цилиндрического коллектора радиусом R_k с прилегающей оболочкой R_j усреднено характеризует поровую структуру, так как ее параметры определяются через пористость m материала: $R_j = R_k(1-m)^{-1/2}$.

Описание перемещения ДФ в поровом про-

странстве выполнено с использованием закона Стокса с введением поправок на стесненность движения и пристенные эффекты.

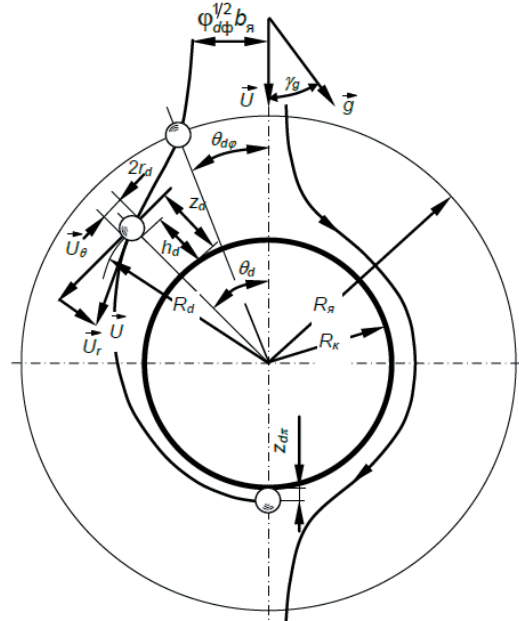


Рис. 1 Схема ячеистой модели фильтрования

Коррекция закона для учета указанных факторов осуществлена по уравнениям, полученным методом отражений и экспериментально в виде регрессионных зависимостей. Эффекты вязкости при движении частиц оценены посредством суперпозиции ранее найденных частных решений. Компоненты скорости получены по Тихи [4] и Раджагополану [5] аппроксимацией линейного и параболического полей сдвигового течения, а также поля осесимметрического заторможенного потока. Используются функции тока Хаппеля [6] и Кувабары [7] для возмущенного обтекания коллектора в форме цилиндра

Адгезионный захват частиц коллектором обусловлен силами молекулярного притяжения. Они действуют при касании ДФ волокна или при сближении на достаточно близкое расстояние, соизмеримое с диаметром частицы. Силы Лондона – Ван-дер-Ваальса почти не воздействуют на поле течения, за исключением области в непосредственной близости от коллектора. Вандерваальсова сила молекулярного притяжения между частицей и коллектором в радиальном направлении равна [2, 4, 8]:

$$F_{Ad}^- = \frac{2Q_r r_d^2}{3h_d^2(2r_d + h_d)^2} \vec{e}_r, \quad (3)$$

где $Q_r = 10^{-20}$ – постоянная Гамакера, Дж; r_d – радиус частицы ДФ, м; h_d – расстояние между частицей и коллектором, м; \vec{e}_r – единичный вектор в направлении r .

В связи с тем, что очищаемая среда содержит полярно активные компоненты: присадки, оксикислоты, смолы, асфальтены, образующие на поверхности сольватной оболочки частиц двой-

ной поляризаационный слой, следует учитывать силы электрокинетического взаимодействия F_{DL}^- [4, 5].

Силу взаимодействия двойного слоя коллектора (цилиндра) и частицы можно выразить через их поверхностные потенциалы ζ_k и ζ_d [2]. В нашем случае следует учитывать влияние присадок в масле на поверхностные потенциалы частиц и волокон. Поэтому их взаимодействие от поверхностных сил следует считать химмотологическим и рассчитывать по рекомендациям [2, 6]

$$F_{DL}^- = \frac{\epsilon r_d k_D (\zeta_k^2 + \zeta_d^2)}{2} \left[\frac{2\zeta_k \zeta_d}{\zeta_k^2 + \zeta_d^2} - \exp(-k_D h_d) \right] \times \frac{\exp(k_D h_d) \bar{e}_r}{1 - \exp(-2k_D h_d)}, \quad (4)$$

где ζ_k, ζ_d – поверхностные потенциалы коллектора и частицы, В; ϵ – диэлектрическая проницаемость среды; k_D – обратная длине Дебая-Хаккеля величина – определяется через заряд электрона e , ионную валентность z_e , концентрацию c_e ионов и температуру T_m масла (топлива):

$$k_D = \left(\frac{8\pi e^2 c_e z_e}{\epsilon k_B T_m} \right)^{1/2}.$$

Так как в состав загрязнений моторного масла входят продукты износа дизеля, обладающие высокой плотностью, то при формировании модели принимали в расчет силы тяжести F_g^- и Архимеда F_A^- . Для мелких частиц или ДФ с низкой плотностью ими можно пренебречь.

Сумму силы тяжести и подъемной находим по заданному направлению вектора \bar{g} относительно ячейки (Рис. 1) можно найти как

$$F_g^- + F_A^- = \frac{4}{3} \pi r_d^2 \rho_{эф} \left[\sin(\gamma_g + \theta_d) \bar{e}_\theta - \cos(\gamma_g + \theta_d) \bar{e}_r \right], \quad (5)$$

где $\rho_{эф} = \rho_d - \rho_m$ – эффективная плотность частиц, кг/м³; \bar{e}_θ – единичный вектор в направлении θ .

Взаимодействие частицы и потока возле препятствия исключительно сложно. Если частица находится близко к коллектору, поле течения вокруг нее становится несимметричным. В результате около частицы возникают неодинаковые давления и касательные напряжения, вызывающие дополнительные силы и моменты. Обобщенное совокупное действие гидродинамических факторов на частицу выражаем через силу \bar{F}_c и момент \bar{T}_c вязкого сопротивления.

Для определения сил и моментов вязкого сопротивления движению частицы анализировали характер течения жидкости в элементарной ячейке, формируемой волокнами фильтровального материала (ФМ). Поле скорости рассчитывали по уравнению Стокса для ламинарного обтекания

цилиндра [5, 6] и модифицировали для учета влияния близлежащих коллекторов на течение жидкости [2].

Уравнение ползучего течения решали на основе граничных условий непроскальзывания при соприкосновении с коллектором, равенства нулю радиальной скорости потока и касательных напряжений на боковых границах жидкой ячейки. При этих условиях функция тока при обтекании неизолированного находящегося в центре фильтровальной ячейки цилиндра принимает вид [6]:

$$\psi_u = 2A_u U \frac{(r - R_k)^2}{R_k} \sin \theta, \quad (6)$$

где U – скорость набегающего потока, м/с; A_u – вспомогательная величина, рассчитываемая через пористость ФМ по формуле

$$A_u = \left[2(1 - m) - \ln(1 - m) - \frac{3 + (1 - m)^2}{2} \right]^{-1}.$$

Скорость жидкости при обтекании цилиндрического коллектора может быть найдена по формуле (6) с расчетом A_u по выше приведенной формуле или определением ее по данным [2, 5]. Поле скорости жидкости при обтекании цилиндра для удобства расчетов аппроксимировали полиномами второй степени. Результаты представлены в работе [2]. Вспомогательные величины, позволяющие рассчитать в цилиндрических координатах r, θ радиальную и тангенциальную скорости потока (10 и 11), равны $\bar{A}^s = 2A_u$ и $\bar{B}^t = 4A_u$.

Для сил \bar{F}_c и моментов \bar{T}_c , действующих на частицу в неограниченном потоке при низких числах Рейнольдса, Стоксом получены выражения [6]:

$$\bar{F}_c = 6\pi \mu_m r_d \bar{u}, \quad \bar{T}_c = 8\pi \mu_m r_d^3 d\bar{u},$$

где \bar{u} – вектор скорости частицы, м/с; μ_m – динамическая вязкость масла (фильтруемой среды), Па·с.

Однако возле препятствия (коллектора) возникает торможение из-за неодинаковых давлений и дополнительных касательных напряжений. Эффекты вязкости вследствие влияния препятствия учтены безразмерными коэффициентами, расчет которых ведется по данным [2, 6]. Поправочные коэффициенты к расчету \bar{F}_c и \bar{T}_c учитывают стесненность движения, вызываемую влиянием пристенных эффектов и концентрации частиц, так как отфильтровывание происходит при движении в ячейках с осаждением не одиночной частицы, а ансамбля.

Механизм взаимодействия жидкости и частицы (см. Рис. 1) при движении через элементарную ячейку можно представить уравнениями динамики:

$$\left. \begin{aligned} M_d \frac{d\bar{u}}{d\tau} &= \bar{F}_{Ad}^- + \bar{F}_{DL}^- + \bar{F}_g^- + \bar{F}_A^- + \bar{F}_c^- \\ J_d \frac{d\bar{\omega}_d}{d\tau} &= \bar{T}_{Ad} + \bar{T}_{DL} + \bar{T}_g + \bar{T}_A + \bar{T}_c, \end{aligned} \right\} (7)$$

где M_d, J_d – масса и момент инерции частицы, кг, кг·м²; $\bar{\omega}_d$ – вектор угловой скорости вращения частицы, рад/с.

Если допустить, что форма частицы близка к шару, то моменты $\bar{T}_{Ad}, \bar{T}_{DL}, \bar{T}_g$ и \bar{T}_A можно принять равными нулю. При стационарном процессе фильтрования силы и моменты, действующие в координатных направлениях, должны находиться в равновесии. Вследствие симметрии задачи силы проявляются только в направлении r и θ . Момент вращения действует только нормально к плоскости чертежа (см. рис. 1). На основе системы (7) с учетом действия внешних сил (ф. 3, 4 и 5) уравнения равновесия сил и моментов запишутся в виде:

$$\left. \begin{aligned} F_r^n + F_r^t + F_r^r + f_r^s + f_r^l + f_r^p + F_{Adr} + F_{DLr} + F_{gAr} &= 0, \\ F_\theta^n + F_\theta^t + F_\theta^r + f_\theta^s + f_\theta^l + f_\theta^p + F_{Ad\theta} + F_{DL\theta} + F_{gA\theta} &= 0, \\ T_\varphi^n + T_\varphi^t + T_\varphi^r + t_\varphi^s + t_\varphi^l + t_\varphi^p &= 0. \end{aligned} \right\} (8)$$

$$\left. \begin{aligned} N_{DL} \left\{ E_{kd} - \exp[-E_{DL}(\bar{z}_d - 1)] \right\} \frac{\exp[E_{DL}(\bar{z}_d - 1)]}{1 - \exp[-2E_{DL}(\bar{z}_d - 1)]} - \frac{N_{Ad}}{(\bar{z}_d - 1)^2 (\bar{z}_d + 1)^2} - N_{gA} \cos(\gamma_g + \theta_d) - \bar{F}_r^n \bar{u}_r - \bar{f}_r^s \bar{z}_d^2 \bar{r}_d^2 \cos \theta_d &= 0; \\ N_{gA} \sin(\gamma_g + \theta_d) - \bar{F}_\theta^n \bar{u}_\theta + \bar{F}_\theta^t \bar{\omega}_d + \bar{f}_\theta^l \bar{B}' \bar{z}_d \bar{r}_d \sin \theta_d = 0; \quad \bar{T}_\varphi^n \bar{u}_\theta - \bar{T}_\varphi^t \bar{\omega}_d + \bar{t}_\varphi^l \bar{B}' \bar{z}_d \bar{r}_d \sin \theta_d &= 0. \end{aligned} \right\} (9)$$

Адгезионная $N_{Ad} = Q_r / 9\pi\mu_m r_d^2 U$, химмотологическая $N_{DL} = \epsilon k_D (\zeta_k^2 + \zeta_d^2) / 12\pi\mu_m U$ и гравитационная $N_{gA} = 2r_d^2 (\rho_d - \rho_m) g / 9\mu_m U$ группы являются соответственно отношениями вандерваальсовых, электрокинетических двойного слоя, гравитационных и подъемных сил к силе вязкого сопротивления.

В системе (8) силы и моменты вязкого сопротивления рассчитываются по приведенным ранее формулам (закону Стокса с учетом поправочных коэффициентов $\bar{F}_i, \bar{f}_i, \bar{T}_i, \bar{t}_i$ на стесненность движения частицы (коэффициенты обозначены теми же символами, что и силы / моменты, но с чертой сверху). Их представление осуществлено в работах [2, 4].

Символами F, f и T, t обозначены силы и моменты вязкого сопротивления, действующие соответственно на движущуюся частицу в неподвижной среде и неподвижную частицу в движущейся жидкости. Суперпозиция этих движений и их объяснение в форме, приведенной в системе (8), возможны, так как оценка эффектов вязкости из-за пренебрежения инерцией жидкости и частиц при движении ДФ линейна. Верхние индексы в символах обозначают: n, t – частица перемещается соответственно по нормали и касательной к поверхности коллектора; r – частица с осью вращения, параллельной поверхности; S – осесимметричный заторможенный поток по направлению к коллектору; l, p – сдвиговое течение соответственно с линейным и параболическим полем скорости.

Проецируя на r и θ согласно (8) выраженные формулами (3)–(5) внешние силы и составляющие \bar{F}_c и \bar{T}_c , после приведения их к безразмерному виду и замены $h_d = z_d - r_d$ имеем

Электрокинетический симплекс

$E_{kd} = 2\zeta_k \zeta_d / (\zeta_k^2 + \zeta_d^2)$ зависит от потенциалов коллектора и частицы. Симплекс двойного слоя $E_{DL} = k_D r_d$ использован для представления F_{DL} в безразмерном виде [2].

Исключив ω_d и решив систему уравнений (9) относительно \bar{u}_r и \bar{u}_θ получим выражение для расчета скорости движения частицы при обтекании жидкостью цилиндрического коллектора

$$\bar{u}_r = \frac{1}{\bar{F}_r^n} \left(\begin{aligned} &N_{DL} \left\{ E_{kd} - \exp[-E_{DL}(\bar{z}_d - 1)] \right\} \frac{\exp[-E_{DL}(\bar{z}_d - 1)]}{1 - \exp[-2E_{DL}(\bar{z}_d - 1)]} - \\ &\frac{N_{Ad}}{(\bar{z}_d - 1)^2 (\bar{z}_d + 1)^2} - N_{gA} \cos(\gamma_g + \theta_d) - \bar{F}_r^s \bar{A}' \bar{z}_d^2 \bar{r}_d^2 \cos \theta_d, \end{aligned} \right) (10)$$

$$\bar{u}_\theta = \frac{(\bar{R}_k + \bar{z}_d) \sin \theta_d}{\bar{T}_\varphi^r \bar{F}_\theta^t - \bar{T}_\varphi^t \bar{F}_\theta^r} \left[\frac{\bar{T}_\varphi^r N_{gA} \sin(\gamma_g + \theta_d)}{\sin \theta_d} + \bar{B}' \bar{z}_d \bar{r}_d (\bar{T}_\varphi^r \bar{f}_\theta^l + \bar{F}_\theta^r \bar{t}_\varphi^l) \right]. (11)$$

Стохастическому процессу стационарного фильтрования через волоконную нетканую перегородку согласно (2) может быть поставлена в соответствие следующая краевая задача:

$$\left. \begin{aligned} -\frac{\partial}{\partial \bar{r}} (\bar{r} \bar{u}_r W) - \frac{\partial}{\partial \theta} (\bar{u}_\theta W) + \frac{1}{2} \frac{\partial}{\partial \bar{r}} \left(\bar{r} \bar{D}_r \frac{\partial W}{\partial \bar{r}} \right) &= 0, \\ W|_{\bar{r}=\bar{R}_k} &= 0; \quad W|_{\bar{r}=\bar{R}_r} = 1, \end{aligned} \right\} (12)$$

где

$$\bar{u}_r = \frac{u_r}{U}, \quad \bar{u}_\theta = \frac{u_\theta}{U}, \quad \bar{r} = \frac{r}{r_d}, \quad \bar{R}_k = \frac{R_k}{r_d}, \quad \bar{R}_r = \frac{R_r}{r_d}, \quad \bar{D}_r = \frac{D_r}{2Ur_d}. \text{ К}$$

коэффициентом диффузии в тангенциальном направлении пренебрегаем, а в осевом его определяли по соотношению Эйнштейна [2]

$$D_r = \frac{k_B T_m}{6\pi\mu_m r_d},$$

где k_B – постоянная Больцмана ($1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/кг).

Краевое условие $W|_{r=\bar{R}_k} = 0$ означает полное "поглощение" частиц, коснувшихся коллектора. При попадании на него ДФ удерживается на поверхности цилиндра силами адгезии.

Эффективность фильтрования определяли потоком вероятности на коллектор по выражению:

$$\varphi_{d\bar{r}} = \frac{\bar{R}_k}{2\bar{R}_r} \int_0^{2\pi} \left(-\bar{u}_r W + \frac{1}{2} \bar{D}_r \frac{\partial W}{\partial r} \right) \Big|_{r=\bar{R}_k} d\theta. \quad (13)$$

Если поток суспензии на коллектор симметричен относительно вертикальной оси (см. рис. 1), то фракционный коэффициент рассчитывается по формуле:

$$\varphi_{d\bar{r}} = \frac{\bar{R}_k}{\bar{R}_r} \int_0^{\pi} \left(-\bar{u}_r W + \frac{1}{2} \bar{D}_r \frac{\partial W}{\partial r} \right) \Big|_{r=\bar{R}_k} d\theta. \quad (14)$$

Для многослойных или нетканых волоконных ФМ коэффициент отсева при последовательном прохождении ДФ через n_r ячеек равен

$$\varphi_{d\varphi} = 1 - \prod_{i=1}^{n_r} (1 - \varphi_{d\bar{r}}). \quad (15)$$

При задании фракционного состава загрязнителя по массе в дифференциальной форме функцией $F(d)$ коэффициент полноты отсева φ_ϕ для сложных поровых структур может быть идентифицирован интегрированием

$$\varphi_\phi = \int_0^{d_{max}} \varphi_{d\varphi} F(d) dd. \quad (16)$$

Стохастические задачи фильтрования решали сеточными методами, которые просты в программировании и обеспечивают безусловную устойчивость и консервативность решения [2]. Универсальной конечно-разностной схемой численного решения рассматриваемых задач следует считать метод переменных направлений с центральными разностями и расщеплением стохастического дифференциального уравнения по координатам r и θ . Он использовался для решения теоретических задач очистки ГСМ по модели (12) с учетом зависимостей (13)–(16).

Разработанная стохастическая модель (СМ) очистки адекватна данным опытов. Результаты расчета $\varphi_{d\varphi}$ с учетом торможения движения частиц из-за действия пристенных эффектов и стохастичности наиболее близки, особенно для мелких частиц, к экспериментальным значени-

ям фракционного коэффициента отсева. По мере увеличения \bar{r}_d погрешность расчета $\varphi_{d\varphi}$ от пренебрежения поправкой на пристенные эффекты и взаимодействие частиц при осаждении возрастает (Рис. 2). Влияние стохастичности на отсев по мере уменьшения \bar{r}_d увеличивается.

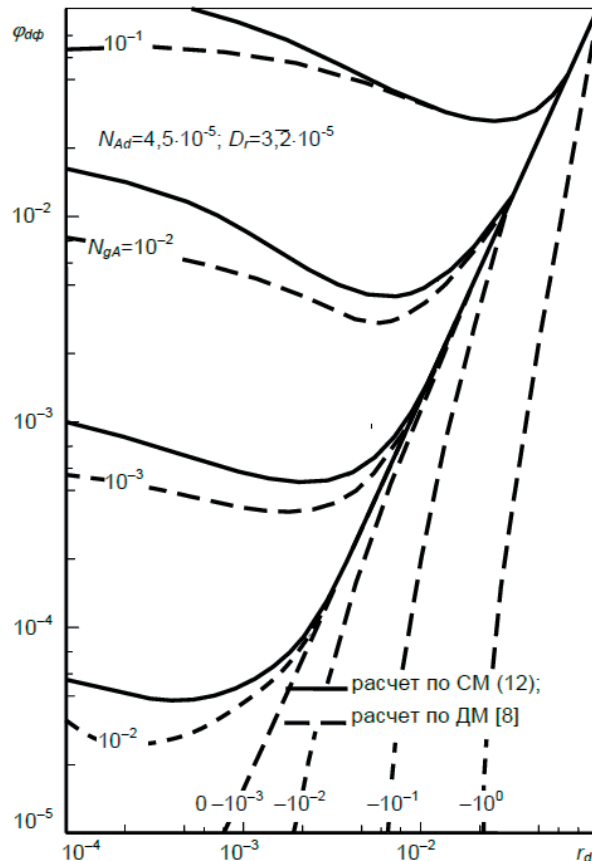


Рис. 2 Влияние r_d на отсев частиц

3. Моделирование центрифугирования на основе стохастического подхода

Схема осаждения частиц в роторе центрифуг с напорным сливом (Рис. 3), которые находят широкое распространение в дизелях, показывает, что отвод жидкости Q_n на гидравлический привод ротора осуществляется из его нижней части. Осевая скорость центрифугируемой жидкости в роторе определяется в основном, потоком очищаемой жидкости Q_u . Под действием центробежной силы частицы нерастворимых продуктов 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 u_r выразить с учетом действия на ДФ центробежной силы инерции следующей зависимостью

$$u_r = \frac{d^2 \rho_{\varphi\phi}}{18k_c k_\psi \mu_m} \omega^2 r, \quad (17)$$

где ω – скорость вращения ротора, рад/с; r – радиальная координата положения частицы, м; k_c, k_ψ – коэффициенты, учитывающие отклонение гидравлического сопротивления частицы от рассчитываемого по закону Стокса, вызванного стесненностью движения и формой частиц [3].

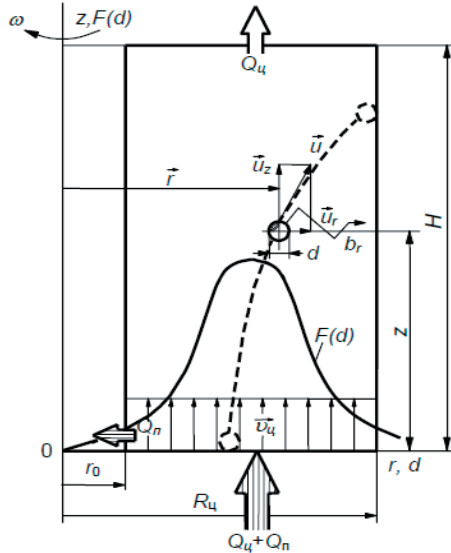


Рис. 3 Расчетная схема центрифуги

Если центрифугирование считать простым марковским процессом, то согласно уравнения (2) начально-краевая задача центрифугирования в безразмерном виде запишется следующим образом (см. рис. 3):

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial W}{\partial \bar{\tau}} &= -2\bar{h}^2 \frac{\partial(\bar{r}W)}{\partial \bar{\tau}} + \frac{\partial^2 W}{\partial \bar{\tau}^2}; \\ -2\bar{h}^2 \bar{r}^2 W + \frac{\partial W}{\partial \bar{\tau}} \Big|_{\bar{r}=\bar{r}_0} &= 0; W|_{\bar{r}=\bar{R}_u} = 0; W|_{\bar{\tau}=0} = \frac{2r}{R_u + r_0}, \end{aligned} \right\} (18)$$

где

$$\bar{h} = (R_u - r_0) \sqrt{\frac{\rho_{эф} \omega^2 d^2}{18 k_c k_\psi \mu_m b_r}}, \quad \bar{\tau} = \frac{2}{b_r} (R_u - r_0)^2 \frac{z}{u_z}, \quad \bar{r} = \frac{r}{R_u - r_0}, \quad \bar{r}_0 = \frac{r_0}{R_u - r_0}.$$

Плотность вероятности $W(r, \tau)$ отождествлена с относительной концентрацией частиц в сечении r в момент времени τ . Начальное условие $W(r, 0) = 2r/(R_u^2 - r_0^2)$ 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]:

$$b_{or} = 6,5 \cdot 10^{-16} \left(\frac{r_0}{H_u} \right)^{0,52} \left(\frac{R_u}{H_u} \right)^{0,65} \left(\frac{Q_u}{Q_u + Q_n} \right)^{0,84} c_x^{0,37};$$

$$b_r = b_{or} / 3\pi k_c k_\psi \mu_m d.$$

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.

Фракционный коэффициент отсева (стационарный режим центрифугирования) определяется через концентрацию частиц в фугате к моменту времени $\tau_u = H_u / u_z$:

$$\varphi_{du} = 1 - \int_{\bar{r}_0}^{\bar{R}_u} W(\bar{r}, \bar{\tau}_u) d\bar{r}. \quad (19)$$

Для расчета полноты отсева используется формула (16). Решение задачи центрифугирования (18) 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 программой.

Соответствие расчетной зависимости $\varphi_{du}(d)$ экспериментальной при использовании предлагаемой СМ хорошее, что видно на графиках (Рис. 4).

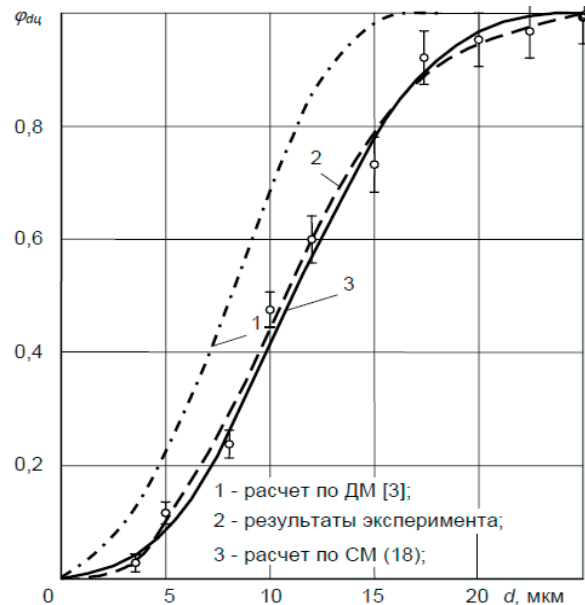


Рис. 4 Зависимость φ_{du} от размера частиц d

Теоретическая кривая 3 располагается в пределах доверительного интервала экспериментальных данных (зависимость 2). Таким образом, можно заключить, что процесс центрифугирования в рассматри-

ваемых условиях близок к стохастическому и адекватно идентифицируется системой (18) и выражением (19).

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.

Разработанные стохастические модели очистки ГСМ фильтрованием и центрифугированием 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 и тепловых воздействий на ДФ;

- применение нетканых поровых структур с волокнами разного размера, формуемых послойно;

- использование специальных покрытий для предотвращения осмоления фильтровальных штор и обеспечения избирательного отсева нерастворимых продуктов;

- 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.

Моделирование разделительных процессов с учетом стохастичности позволяет не только более точно оценить эффективность топливно- и маслоочистителей, но и показывает пути совершенствования этих аппаратов. С их помо-

шенствования этих аппаратов. С их помощью могут быть созданы принципиально новые направления инженерного оформления систем топливподготовки и 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.

Заключение

1. Разработаны с использованием представлений и аппарата случайных марковских процессов принципиально новые СМ разделения фильтрованием и центрифугированием многофазных гетерогенных систем с полидисперсным загрязнителем, характерным для используемых на судах топлив и моторных масел. Представленные модели позволяют оценить фракционную и общую эффективность очистки ГСМ от нерастворимых продуктов с учетом совместного действия на отсев и осаждение частиц ДФ детерминированных и случайных факторов.

2. Новый результат в теории фильтрования и центрифугирования достигнут путем:

- исследования осаждения ансамбля частиц в возмущенном потоке с флуктуациями, вызываемыми пристенными эффектами, стесненностью движения, диффузией и пульсациями потока;

- учета действующих на ДФ сил и моментов, специфики дисперсных систем, локальности и поля скоростей потока в очистителях;

- моделирования взаимодействия ДФ с волокнистыми фильтровальными структурами и поведения ее их в центробежном поле с идентификацией адгезионной, химмотологической и седиментационной (центробежной) групп осаждения. Полученные модели показывают, как можно управлять процессом очистки нефтепродуктов на судах и позволяют прогнозировать перспективные направления его интенсификации.

Литература

1. Дынкин Е.Б. Марковские процессы. М.: Физматиздат, 1963. 859 с.
2. Кича Г.П., Перминов Б. Н., Калиберда А. А. Моделирование на основе теории марковских процессов эффективности судовых маслоочистительных модулей // Исследование по вопросам повышения эффективности судостроения и судоремонта. Владивосток: ДВГТУ, 2002. Вып. 43. С. 133–141.
3. Кича Г.П. Стохастические модели процесса очистки горюче-смазочных материалов в ДВС // Двигателестроение. 1989. № 11. С. 18–25.
4. Tichy J.A. A model of lubrication filtration // Trans. ASME, J. Lubric. Technol. 1981. Vol. 103, N 1. P. 81–89.
5. Rajagopalan R., Tien C. Trajectory analysis of deep-bed filtration with the sphere-in-cell porous media model // AIChE J. 1976. Vol. 22, N 3. P. 523–533.
6. Happel J., Bart E. The settling of a sphere along the axis of a long square duct at low Reynolds number // J. Appl. Sci. Res. 1974. Vol. 29, N 4. P. 241–258.
7. 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.
8. Spielman L.A., Fitzpatrick J.A. Theory for particle collection under London and gravity forces // J. Col. Sci. 1973. Vol. 42, N 3. P. 607–623.

References

1. Dynkin E.B. Markovskie processy. M.: Fizmatizdat, 1963. 859 s.
2. Kicha G.P., Perminov B. N., Kaliberda A. A. Modelirovanie na osnove teorii markovskih processov ehffektivnosti sudovyh masloochistitel'nyh modulej // Issledovanie po voprosam povysheniya ehffektivnosti sudostroeniya i sudoremonta. Vladivostok: DVG TU, 2002. Vyp. 43. S. 133–141.
3. Kicha G.P. Stohasticheskie modeli processa ochistki goryuche-smazochnyh materialov v DVS // dvigatelestroenie. 1989. № 11. S. 18–25.
4. Tichy J.A. A model of lubrication filtration // Trans. ASME, J. Lubric. Technol. 1981. Vol. 103, N 1. P. 81–89.
5. Rajagopalan R., Tien C. Trajectory analysis of deep-bed filtration with the sphere-in-cell porous media model // AIChE J. 1976. Vol. 22, N 3. P. 523–533.
6. Happel J., Bart E. The settling of a sphere along the axis of a long square duct at low Reynolds number // J. Appl. Sci. Res. 1974. Vol. 29, N 4. P. 241–258.
7. 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.
8. Spielman L.A., Fitzpatrick J.A. Theory for particle collection under London and gravity forces // J. Col. Sci. 1973. Vol. 42, N 3. P. 607–623.

**ТЕХНОЛОГИЯ СУДОСТРОЕНИЯ, СУДОРЕМОНТА И ОРГАНИЗАЦИЯ
СУДОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

УДК 539.232+620.197.2+620.193.27

**СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ФОРМИРОВАНИЯ ЗАЩИТНЫХ
ПОКРЫТИЙ ДЛЯ ЭЛЕМЕНТОВ МОРСКОЙ ТЕХНИКИ****Александр Николаевич Минаев**

доктор технических наук, профессор
директор совместного научно образовательного центра «Экотехнологии в морской технике»
Дальневосточного федерального университета и Института химии ДВО РАН
690950, Владивосток, ул. Суханова, 8
тел.: 8-914-726-60-58; e-mail: aminaev@mail.ru

Сергей Васильевич Гнеденков

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

Дмитрий Валерьевич Машталаяр

кандидат технических наук
доцент кафедры Судовой энергетики и автоматики
Дальневосточный федеральный университет
690950, Владивосток, ул. Суханова, 8
тел. +7(908) 440-47-88; e-mail: madiva@inbox.ru

Константинэ Вахтангович Надараиа

аспирант кафедры Физической и аналитической химии
Дальневосточный федеральный университет
690950, Владивосток, ул. Суханова, 8
тел. +7(964) 438-48-41; e-mail: nadaraiakv@mail.ru

Роман Геннадьевич Чижиков

аспирант кафедры Судовой энергетики и автоматики
Дальневосточный федеральный университет
690950, Владивосток, ул. Суханова, 8
тел. +7(964) 430-73-75; e-mail: chizhikov@bk.ru

Сергей Леонидович Синебрюхов

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 представлена система управления процессом плазменного электролитического оксидирования для создания функциональных защитных покрытий в элементах морской техники, включающая программу выбора режимов и ввода управляющих параметров, программу просмотра архивных данных процессов и микропрограмму внутриядерного интерфейса управления вычислителем. Данная система внедрена на Дальневосточном заводе «Звезда» при создании участка по восстановлению деталей морской техники, изготовленных из титановых сплавов. Поверхностные слои, полученные методом плазменного электролитического оксидирования, обладают высокой коррозионной стойкостью, повышенной твердостью и износостойкостью в сочетании с хорошей адгезией к подложке, а также низкими требованиями к предварительной подготовке поверхности. Плазменное электролитическое оксидирование (ПЭО) является одним из наиболее эффективных методов формирования защитных покрытий на поверхности изделий, арматуры и механизмов морской техники. Данная технология может применяться для оборудования изготовленного как из алюминиевых сплавов, так и из титановых сплавов.

Ключевые слова: система управления, титановые сплавы, плазменное электролитическое окисление, защитные покрытия, судовые энергетические установки, морская техника

THE PROTECTIVE COATINGS FORMATION CONTROL SYSTEM FOR ELEMENTS OF THE MARINE EQUIPMENT

Alexander Nikolaevich Minaev

Professor, Dr. Sci. Tech.
Professor

Director of joint scientific and educational center of the «Environment friendly technologies in marine engineering» of Far Eastern Federal University and Institute of Chemistry of Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences
8, Sukhanova st., 690950, Vladivostok, Russia
tel.: 8-914-726-60-58; e-mail: aminaev@mail.ru

Sergey Vasil'evich Gnedenkov

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

Dmitriy Valerievich Mashtalyar

Cand. Sci. Tech.

Associative professor of the department of Marine engineering
Far Eastern Federal University
8, Sukhanova st., 690091, Vladivostok, Russia
tel. +7(908) 440-47-88; e-mail: madiva@inbox.ru

Konstantine Vahtangovich Nadaraia

PhD student of the department of Physical and analytical chemistry
Far Eastern Federal University
8, Sukhanova st., 690091, Vladivostok, Russia
tel. +7(964) 438-48-41; e-mail: nadaraiakv@mail.ru

Roman Gennadievich Chizhikov

PhD student of the department of Marine engineering
Far Eastern Federal University
8, Sukhanova st., 690091, Vladivostok, Russia
tel. +7(964) 430-73-75; e-mail: chizhikov@bk.ru

Sergey Leonidovich Sinebryukhov

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

In this work, authors present the operation system for plasma electrolyte oxidation process for creation of functional protective coatings in the elements of marine techniques. The system includes the programs of mode choice, input of starting parameters, archive data viewer and microprogram of intranuclear computer management. The system is applied at the Far Eastern shipyard «Zvezda» at creation of repair area for marine equipment made from titanium alloys. The surface layers obtained with plasma electrolyte oxidation method have a number of practically important characteristics: high corrosion resistance, hardness and wear resistance combined with good adhesion to the substrate and low requirements for the preparation treatment of the surface. Plasma electrolyte oxidation (PEO) is one of the most effective methods of protective coating formation for elements, armature and mechanisms of marine equipment. The presented technology can be applied for the equipment made from aluminium alloys as well as titanium alloys.

Key words: management system, titanium alloys, plasma electrolytic oxidation, protective coatings, ship power plants, marine engineering.

Введение

Плазменное электролитическое оксидирование (ПЭО) является одним из наиболее эффективных методов формирования защитных покрытий на поверхности изделий, арматуры и механизмов морской техники. Эта технология может применяться для оборудования изготовленного как из алюминиевых сплавов [1-2], так и из титановых сплавов [3-4]. Поверхностные слои, полученные методом ПЭО, обладают рядом следующих практически значимых характеристик: высокая коррозионная стойкость твердость и износостойкость [5] в сочетании с хорошей адгезией к подложке, а также низкими требованиями к предварительной подготовке поверхности. Кроме того, покрытия, полученные методом плазменного электролитического, позволяют предотвращать накипеобразование на греющих поверхностях судового оборудования, контактирующего с морской водой [6].

1. Производственный участок Дальневосточного завода «Звезда» для формирования защитных покрытий

Производственный участок для нанесения защитных покрытий расположен на Дальневосточном заводе «Звезда». Общий план участка показан на схеме (Рис. 1). На участке расположены следующие элементы и оборудование: 1- лабораторный стеллаж; 2 - рабочее место (далее РМ) инженера-технолога; 3 - ванна модификации 1 типоразмера; 4 - РМ оператора опытно-промышленной установки плазменного электролитического (ОПУ ПЭО 1); 5 - силовой источник тока с установленной в нем автоматизированной системой управления и контроля ОПУ ПЭО 1; 6 - ванна оксидирования установки ОПУ ПЭО 1; 7 - чиллер установки ОПУ ПЭО 1; 8 - РМ оператора установки ОПУ ПЭО 2; 9 - силовой источник тока с установленной в нем автоматизированной системой управления и контроля установки ОПУ ПЭО 2; 10 - блокиратор двери зоны оксидирования установки ОПУ ПЭО 2; 11 - ванна оксидирования установки ОПУ ПЭО 2.

Производственный участок состоит из трех помещений. Помещение 1 содержит ванну электролитическую 2 типоразмера и комплект дополнительного оборудования, предназначенного для нанесения ПЭО покрытия на детали большого размера. Помещение оснащено комплектом датчиков для обеспечения безопасности оксидирования, в том числе датчиками наличия водорода и работы вытяжной вентиляции ванны. Помещение 1 предназначено для проведения основной технологической операции участка - плазменного электролитического оксидирования.

Помещение 2 содержит управляющую и силовую части установки ОПУ ПЭО 2 типоразмера, пост управления установки, операционные зоны промывки и модификации деталей крупных размеров, дополнительное оборудование (стеллаж, тельфер). Помещение 2 предназначено для контроля операции оксидирования с поста оператора, а также выполнения остальных операций техпроцесса, таких как промывка, модификация, упаковывание для крупногабаритных деталей.

Помещение 3 содержит полный комплект оборудования установки ОПУ ПЭО 1 типоразмера, в том числе ванны оксидирования и модификации, рабочее место технолога, комплект измерительной аппаратуры. Помещение предназначено для обработки малогабаритных деталей, проведения оперативного контроля техпроцесса, а также проведения опытно-технологических работ.

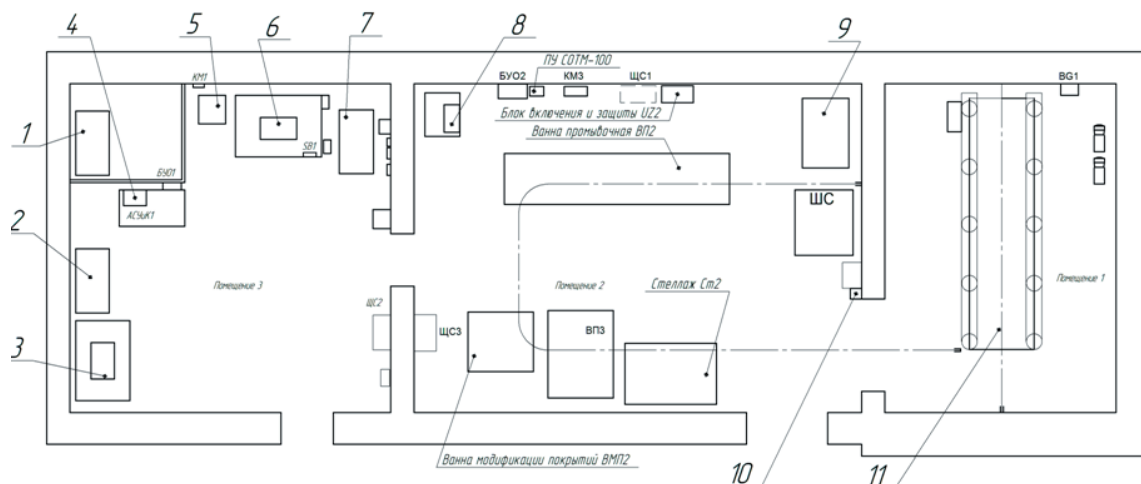


Рис. 1. Производственный участок Дальневосточного завода «Звезда» для нанесения защитных покрытий

2. Элементы системы управления процессом формирования защитных покрытий для элементов морской техники

Система управления процессом плазменного электролитического оксидирования, показанная на схеме (Рис. 2), состоит из следующих основных элементов: А1 - Блок управления оборудованием ЭЛЕР.426471.002; А2 - Измеритель тока специальный ИТС100 ЭЛЕР.426442.012; А5 – Модуль многофункционального регулирующего устройства МРУ ЭЛЕР.647649.001; А6 - Блок синхронизации фаз БСФ ЭЛЕР.426441.002; А8 - Чиллер ВМТ-7 ТУ3644–001–86722079–2011; А9 - Устройство контроля температуры электролита и вентиляции ванны УКТВ ЭЛЕР.426477.002; А10 - Источник бесперебойного питания UP IPPON Office 1000; А12 - Контроллер управления силового источника тока КУ СИТ ЭЛЕР.421243.008; А13 - Водонагреватель Polaris FDM-10V; А14 - Блок розеток ЭЛЕР.647649.002; А16 - Блок развязки оптического интерфейса, предназначенный для передачи

сигнала по оптоволоконной линии БРОИ ЭЛЕР.466231.002; А17 - Блок бесперебойного питания контроллера управления силового источника тока БП КУ СИТ ЭЛЕР.436211.012; А18 – ПЭВМ; АЕ1 -Ванна для электролита Т-22057; АЗ1, АЗ2 - Шкаф вытяжной ЛК-1500ШВ; ВТ1 - Термометр лабораторный электронный ЛТ-300; УЗ1 - силовой источник тока ТПР4-800/460.

Основные функции системы распределены между блоками А12, А18 и УЗ1: настройка и отображение основных и дополнительных параметров процесса ПЭО, а также контроль датчиков и обеспечение безопасности процесса происходят на ПЭВМ А18 в специализированном программном обеспечении, оперативное управление процессом ПЭО и регулирование выходных параметров техпроцесса осуществляет контроллер управления А12, силовой источник тока обеспечивает выходной ток и напряжение высокой мощности, а также защиту оборудования от короткого замыкания, превышения тока и некачественной работы силовой сети

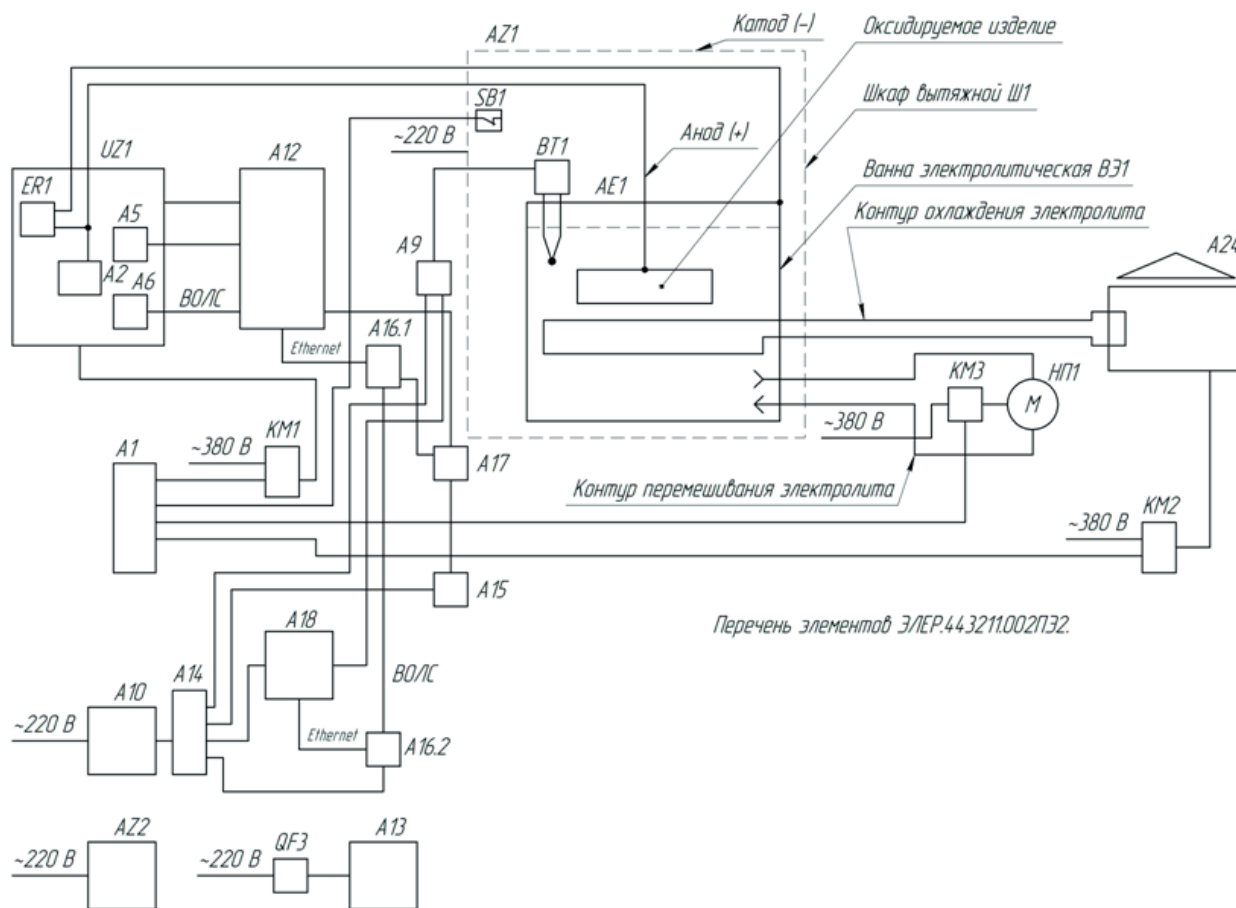


Рис. 2. Система управления процессом плазменного электролитического оксидирования

В системе управления процессом формирования защитных покрытий для элементов морской техники используется следующее, разработанное авторами, программное обеспечение [7-10]:

- Программа управления и контроля процессом плазменного электролитического оксидиро-

вания для создания функциональных покрытий на металлах и сплавах [7], которая позволяет: осуществлять выбор и установку параметров режимов процесса плазменного электролитического оксидирования (ПЭО); осуществлять сохранение в файл и загрузка из файла параметров режима

ПЭО с автоматическим определением типа режима во время загрузки; осуществлять выбор ранее использовавшихся типов электролита и материала изделия, ввод новых данных; выполнять ввод и отображение констант процесса ПЭО: объем ванны электролитической, площадь изделия, комментарий к параметрам, либо к процессу ПЭО; осуществлять запуск, останов, приостановка и возобновление выполнения процесса ПЭО; осуществлять визуализацию напряжения и тока на изделии в ходе процесса ПЭО и после его завершения; проводить индикация электрических параметров процесса ПЭО (напряжение и ток, количество электричества) в выбранной точке графика;

- Программа выбора режимов и ввода управляющих параметров процесса плазменного электролитического оксидирования [8], которая предназначена для задания оператором режима процесса плазменного электролитического оксидирования (ПЭО) устройства (потенциодинамический, потенциостатический, гальванодинамический, гальваностатический, биполярный, составной), для задания управляющих параметров процесса ПЭО (диапазоны или уровень напряжения (тока), временные параметры (диапазоны, длительности), скорости изменения напряжения (тока) на оксидируемом изделии);

- Программа просмотра архивных данных процессов плазменного электролитического оксидирования [9], которая предназначена для выбора и отображения в графическом и текстовом виде архивной информации процессов плазменного электролитического оксидирования (ПЭО); для сортировки ранее проведенных процессов ПЭО по типу электролита, по типу материала изделия, по типу проведенного процесса и по времени проведения; для отображения графиков напряжения и тока на изделии во время процесса ПЭО; для индикации электрических параметров процесса ПЭО (напряжение и ток, количество электричества) в выбранной точке графика; для отображения неэлектрических параметров процесса ПЭО (объем электролитической ванны, площадь

изделия, тип электролита, тип материала изделия, комментарий к процессу ПЭО);

- Микропрограмма внутриядерного интерфейса управления вычислителем [10]. Программа предназначена для настройки интерфейса между ПЭВМ и контроллером управления силовым источником тока – сети Ethernet (IP-адреса контроллера управления), настройки диапазонов измерения напряжения и тока, для создания в ПЭВМ области хранения контролируемых параметров процесса плазменного электролитического оксидирования.

Результаты проведенных наладочных испытаний разработанной авторами технологии и системы управления процессом плазменного электролитического оксидирования на Дальневосточном заводе «Звезда» показали повышение производительности процесса нанесения защитных покрытий, улучшение антикоррозионных свойств и снижение износостойкости формируемых защитных покрытий на титановых деталях морской техники.

Заключение

Разработанная авторами система управления процессом плазменного электролитического оксидирования позволяет повысить производительность процесса нанесения защитных покрытий, улучшить антикоррозионные свойства и снизить износостойкость формируемых защитных покрытий на титановых деталях морской техники.

Данная система управления процессом плазменного электролитического оксидирования для создания функциональных защитных покрытий в элементах морской техники рекомендована в качестве ступени технологического процесса, реализуемого на промышленном предприятии ОАО «Дальневосточный завод «Звезда».

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант № 14-33-00009).

Литература

1. Curran J.A. and Clyne T.W. Thermo-physical Properties of Plasma Electrolytic Oxide Coatings on Aluminium Surface and Coatings Technology, 2005. v.199 (2-3), pp.168-176.
2. Руднев В.С., Лысенко А.Е., Недозоров П.М. и др. Термическое поведение оксидного слоя на алюминии. Физикохимия поверхности и защита материалов. 2007. Т. 43. № 5. С. 510-514.
3. Minaev A.N., Mashtalyar D.V., Nadaraia K.V., Gnedonkov S.V., Sinebryukhov S.L., Egorkin V.S., Gnedonkov A.S. Functional plasma electrolytic oxidation coatings for offshore structures. Proceedings of the 24th International Ocean and Polar Engineering Conference, ISOPE Busan. 2014. С. 418-422.
4. Gnedonkov S.V., Sinebryukhov S.L., Mashtalyar D.V., Egorkin V.S., Tsvetnikov A.K., Minaev A.N. Composite polymer-containing protective layers on titanium. Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces. 2008. Т. 44. № 7. С. 704-709.
5. Gnedonkov S.V., Sinebryukhov S.L., Mashtalyar D.V., Tsvetnikov A.K., Minaev A.N. Effect of conditions of treatment with superdispersed polytetrafluoroethylene on properties of composite coatings. Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces. 2010. Т. 46. № 7. С. 823-827.
6. Гнеденков С.В., Синебрюхов С.Л., Минаев А.Н., Коврянов А.Н., Машталяр Д.В., Гордиенко П.С. Композиционные слои как средство для снижения интенсивности процессов накипеобразования

- в элементах судового энергооборудования. Журнал прикладной химии. 2003. Т. 76. № 8. С. 1245-1250.
7. Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2015618209. Программа управления и контроля процессом плазменного электролитического оксидирования для создания функциональных покрытий на металлах и сплавах. Гнеденков С.В., Минаев А.Н. и др. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 03.08.2015.
 8. Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2015618208. Минаев А.Н., Чижиков Р.Г. и др. Программа выбора режимов и ввода управляющих параметров процесса плазменного электролитического оксидирования для создания функциональных покрытий на металлах и сплавах. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 03.08.2015.
 9. Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2015618205. Программа просмотра архивных данных процессов плазменного электролитического оксидирования для создания функциональных покрытий на металлах и сплавах. Чижиков Р.Г., Коваль С.Я. и др. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 03.08.2015.
 10. Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2015617169. Микропрограмма внутреннего интерфейса управления вычислителем. Чижиков Р.Г., Коваль С.Я. и др. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 01.06.2015.

References

1. Curran J.A. and Clyne T.W. Thermo-physical Properties of Plasma Electrolytic Oxide Coatings on Aluminium Surface and Coatings Technology, 2005. v.199 (2-3), pp.168-176.
2. Rudnev V.S., Lysenko A.E., Nedozorov P.M. et al. Thermal behavior of an oxide layer on aluminum Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces. 2007. Т. 43. № 5. С. 510-514.
3. Minaev A.N., Mashtalyar D.V., Nadaraia K.V., Gnedenkov S.V., Sinebryukhov S.L., Egorkin V.S., Gnedenkov A.S. Functional plasma electrolytic oxidation coatings for offshore structures. Proceedings of the 24th International Ocean and Polar Engineering Conference, ISOPE Busan. 2014. С. 418-422.
4. Gnedenkov S.V., Sinebryukhov S.L., Mashtalyar D.V., Egorkin V.S., Tsvetnikov A.K., Minaev A.N. Composite polymer-containing protective layers on titanium. Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces. 2008. Т. 44. № 7. С. 704-709.
5. Gnedenkov S.V., Sinebryukhov S.L., Mashtalyar D.V., Tsvetnikov A.K., Minaev A.N. Effect of conditions of treatment with superdispersed polytetrafluoroethylene on properties of composite coatings. Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces. 2010. Т. 46. № 7. С. 823-827.
6. Gnedenkov S.V., Sinebryukhov S.L., Minaev A.N., Kovryanov A.N., Mashtalyar D.V., Gordienko P.S. Composite layers as means of lowering the intensity of scale deposition on elements of power units of ships. Russian Journal of Applied Chemistry. 2003. Т. 76. № 8. С. 1245-1250.
7. State Registration Certificate for the Computer Program № 2015618209, Gnedenkov S.V., Minaev A.N. et al. The Program for Management and Control of the Plasma Electrolyte Oxidation Processes for Creation of Functional Coatings on Metals and Alloys. Reg. 03.08.2015, Russian Federation Federal Service on Intellectual Property.
8. State Registration Certificate for the Computer Program № 2015618208, Minaev A.N., Chizhikov R.G., et al. The Program for Mode Selection and Input of the Operating Parameters of the Plasma Electrolyte Oxidation Processes for Creation of Functional Coatings on Metals and Alloys. Reg. 03.08.2015, Russian Federation Federal Service on Intellectual Property.
9. State Registration Certificate for the Computer Program № 2015618205, Chizhikov R.G., Koval S.Y., et al. The Program for Viewing the Archive Data of the Plasma Electrolyte Oxidation Processes for Creation of Functional Coatings on Metals and Alloys. Reg. 03.08.2015, Russian Federation Federal Service on Intellectual Property.
10. State Registration Certificate for the Computer Program № 2015617169, Chizhikov R.G., Koval S.Y., et al. The Microprogram of Inner Core Interface for the Calculator Control. Reg. 01.06.2015, Russian Federation Federal Service on Intellectual Property.

КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ $Mg(OH)_2$ НА ПОВЕРХНОСТИ СТАЛИ ПРИ КАТОДНОЙ ЗАЩИТЕ

Борис Борисович Чернов

доктор химических наук, профессор
профессор кафедры химии и экологии
Морской государственной университет им. адм. Г.И. Невельского
690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, д.50 – а
тел.: (423) 241–49–68, e-mail: chernov@msun.ru

Анас Масхарович Нугманов

научный сотрудник
Морской Государственный университет им. адм. Г.И.Невельского,
690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, д.50 – а
тел.: (423) 241–49–68

Людмила Юрьевна Фирсова

кандидат химических наук
доцент кафедры химии и экологии
Морской государственной университет им. адм. Г.И. Невельского
690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, д.50 – а
тел.: (423) 241–49–68

Аннотация

В работе представлены результаты исследования процесса образования магниевых солевых катодных отложений (СКО) при катодной защите стали в модельных растворах, соответствующих по составу морской воде без кальция. При поддерживаемой постоянной величине тока между катодом, на поверхности которого кристаллизуется осадок $Mg(OH)_2$, и нерастворимым анодом при продолжительном времени электролиза устанавливаются постоянные стабильные значения напряжения, потенциал катода также стремится к постоянному значению. Эти и другие (относительная скорость наработки осадка, толщина образующегося покрытия, выход по току) параметры процесса формирования СКО, зависящие от плотности катодного тока и продолжительности электролиза, могут служить в качестве характеристики процесса.

Применительно к кристаллизации магниевых осадков получены результаты, позволяющие оптимизировать условия катодной защиты стали и обеспечивающие эффективную защиту от коррозии. Определен интервал оптимальных плотностей катодного тока, соотношенный с динамикой формирования защитного покрытия. **Ключевые слова:** *коррозия, катодная защита, солевой катодный осадок*

THE CRYSTALLIZATION OF $Mg(OH)_2$ ON THE SURFACE OF STEEL AT CATHODIC PROTECTION

Boris Borisovich Chernov

Professor, Dr. Sci. Chemistry
Professor of Department of Chemistry and ecology
Maritime state university named Admiral G. Nevelskoy
50 – a, Verkhneportovaya st., 690059, Vladivostok, Russia
tel.: (423) 241–49–68, e-mail: chernov@msun.ru

Anas Maskharovich Nugmanov

Research scientist
Maritime state university named Admiral G. Nevelskoy
50 – a, Verkhneportovaya st., 690059, Vladivostok, Russia
tel.: (423) 241–49–68

Lyudmila Yurevna Firsova

Cand. Sci. Chemistry
Senior lecturer of Department of Chemistry and ecology
Maritime state university named Admiral G. Nevelskoy
50 – a, Verkhneportovaya st., 690059, Vladivostok, Russia
tel.: (423) 241–49–68

Abstract

In work results of research of process of formation magnesium salt cathodic adjournment (calcareous deposit) are submitted at cathodic protection in the modelling solutions corresponding on structure to sea water without magnesium. At a supported constant of a current between the cathode on which surface deposit $Mg(OH)_2$ crystallizes, and the insoluble anode at long electrolysis time are established constant stable values of a voltage, the potential of the cathode also aspires to constant value. These and others (relative speed of a deposit formation, thickness of a formed covering, an output on a current) parameters of process calcareous deposit formations dependent on density of a cathodic current and electrolysis duration, can serve as the characteristic of process.

With reference to crystallization magnesium deposits the results are received, allowing to optimize conditions of cathodic protection of steel and providing effective protection against corrosion. The interval of optimum density of the cathodic current, correlated with dynamics of protective covering formation is determined.

Key words: *corrosion, cathodic protection, calcareous deposit*

Введение

Процесс кристаллизации осадка гидроксида магния $Mg(OH)_2$ при формировании солевых катодных отложений (СКО) на поверхности стали (Ст3) в условиях катодной защиты исследовался на модельных растворах, соответствующих морской воде без кальция, с целью выяснить особенности осаждения $Mg(OH)_2$, когда исключена возможность образования карбоната кальция $CaCO_3$. Условия, отвечающие катодной защите стали, обеспечивались ее катодной поляризацией при электролизе модельных растворов с использованием инертного нерастворимого анода. Изучалось влияние на параметры процесса катодной защиты (скорость формирования СКО, толщина осадка, выход по току и др.) продолжительности электролиза, плотности катодного тока.

Методика экспериментов

В качестве катодов использовались пластины из стали Ст3 (по ГОСТ 19903-74) 5×8 см, $\delta = 1,5$ мм, анодом служил платинированный титан Ti (Pt), пластина $2,5 \times 16$ см, $\delta = 1,5$ мм. Площади электродов (анода и катода) были равны между собой ($S_k = S_a = 80$ см²), соответственно были равны плотности катодного и анодного токов ($i_k = i_a$). Межэлектродное расстояние составляло 6 см, объем электролизера 5 дм³. В качестве источника питания использовался блок питания Б5-50 (0÷299 мА с шагом 1 мА). Продолжительность электролиза составляла 4 часа, температура модельного раствора поддерживалась на уровне 25°C.

Модельные растворы составлялись из солей $NaCl$, Na_2SO_4 , $CaCl_2$ и $NaHCO_3$ и соответствовали морской воде без магния с соленостью $SAL = 30\%$: $[Mg^{2+}] = 46,25$; $[HCO_3^-] = 2,0$; $[SO_4^{2-}] = 24,2$; $[Cl^-] = 467$ (ммоль/л). Исходя из содержания в растворе магния (46,2 ммоль/л) максимально возможное количество $Mg(OH)_2$, которое возможно осадить, составляет величину порядка 13 г., что на 2-3 порядка превышает массу реаль-

но образующегося осадка, т.е. состав раствора в ходе опытов практически не претерпевал изменений.

Катодные образцы из полированной стали перед каждым опытом обрабатывались соляной кислотой (1:3), промывались дистиллированной водой и сушились при 90°C, а затем взвешивались на аналитических весах АW-220 ("Shimadzu") с точностью $\pm 0,0001$ г.

При потенциометрических измерениях использовался хлорсеребряный электрод сравнения ЭВЛ-1М3.1-100 ($\varphi = +201$ мВ НВЭ). Изменение потенциала катода фиксировалось логгером "Hantek-365A" По окончании процесса электролиза образцы промывались дистиллированной водой и сушились при 90°C, а затем взвешивались, по разнице с исходной массой определялась масса наработанного осадка.

В морской воде кристаллизация $Mg(OH)_2$ в виде кристаллической формы брусита сопровождается образованием $CaCO_3$ [1, 2], который образует покрытие из кальцита и арагонита, поэтому имеет смысл изучить образование катодного покрытия собственно из гидроксида магния в растворах, где магний отсутствует. Это обстоятельство может иметь принципиальное значение в области малых значений плотности катодного тока [3].

Согласно предыдущим данным [4] ток начала кристаллизации $Mg(OH)_2$ был рассчитан для вращающегося электрода ($\omega = 270$ об/мин, толщина диффузионного слоя $\delta_{диф} = 4 \cdot 10^{-5}$ м) и оказался равным $4,76$ А/м². В случае неподвижного электрода ($\delta_{диф} \sim 6 \cdot 10^{-4}$ м) кристаллизация гидроксида магния начинается с величин порядка $0,3$ А/м².

Результаты и обсуждение

Экспериментально найденная масса наработанного осадка позволяет рассчитать толщину покрытия.

Для покрытия толщиной δ :

$$S \cdot \delta = V = \frac{\Delta m_{\text{эксп}}}{\rho} \quad (1)$$

Отсюда:

$$\delta = \frac{\Delta m_{\text{эксп}}}{S \cdot \rho}, \quad (2)$$

где δ – толщина покрытия, сформировавшегося на катоде при электролизе, см;

$\Delta m_{\text{эксп}}$ – масса осадка, нарабатанного на катоде при электролизе, г;

S – площадь покрываемой поверхности, см²;

ρ – плотность осадка, г/см³; для $Mg(OH)_2$ (бруцит) = 3,0 г/см³.

Расчетная формула (для $S = 80 \text{ см}^2 = 8 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$):

$$\delta = \frac{\Delta m_{\text{эксп}}}{24}, \quad (3)$$

где δ – толщина покрытия, сформировавшегося на катоде при электролизе, мкм;

$\Delta m_{\text{эксп}}$ – масса осадка, нарабатанного на катоде при электролизе, мг.

Исходя из найденных значений $\Delta m_{\text{эксп}}$ можно рассчитать относительную скорость наработки СКО.

Относительная скорость формирования солевых катодных отложений (СКО) при электролизе на катоде определяется как

$$v_{\text{отн}} = \frac{\Delta m_{\text{эксп}}}{S \cdot t}, \quad (4)$$

где $\Delta m_{\text{эксп}}$ – масса осадка, нарабатанного на катоде при электролизе, г;

S – площадь покрываемой поверхности, м²;

t – продолжительность времени электролиза, час;

$v_{\text{отн}}$ – относительная скорость формирования СКО, г/(м²·час).

Расчетная формула (для $S = 80 \text{ см}^2 = 8 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$ и $t = 3$ часа):

$$v_{\text{отн}} = \frac{\Delta m_{\text{эксп}}}{24} \quad (5)$$

где $\Delta m_{\text{эксп}}$ – масса осадка, нарабатанного на катоде при электролизе, мг;

$v_{\text{отн}}$ – относительная скорость формирования СКО, г/(м²·час).

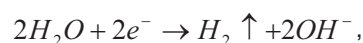
В случае, когда рассматривается зависимость параметров процесса от продолжительности электролиза (Δt), расчетная формула имеет вид:

$$v_{\text{отн}} = \frac{\Delta m_{\text{эксп}}}{8 \cdot \Delta t}, \quad (5a)$$

где $\Delta m_{\text{эксп}}$ – масса осадка, нарабатанного на катоде при электролизе за время Δt , мг.

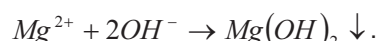
Для определения выхода по току необходимо найти расчетное значение изменения массы образца за счет формирования покрытия при 100%-ном выходе по току.

При прохождении через раствор $I \cdot t$ кулон электричества генерируется $\frac{I \cdot t}{F}$ молей OH^- :



соответственно, должно осадиться (при выходе по току $B_T = 100\%$) $\frac{I \cdot t}{2F}$ молей $Mg(OH)_2$, т.е.

$\frac{29 \cdot I \cdot t}{F}$ г осадка согласно реакции



Т.о., расчетная наработка осадка определяется как

$$\Delta m_{\text{расч}} = \frac{29 \cdot I \cdot t}{F}, \quad (6)$$

где I – ток в цепи, А;

t – время электролиза, с;

F – константа Фарадея, Кл/моль ($F = 96500$ Кл/моль).

Если ток измеряется в мА, а время определяется в часах:

$$\Delta m_{\text{расч}} = \frac{100 \cdot I \cdot t}{F} = \frac{29 \cdot I \cdot 10^{-3} \cdot 3600 \cdot t}{96500} = 0,00108 \cdot I \cdot t \text{ (г)} = 1,08 \cdot I \cdot t \text{ (мг)}, \quad (7)$$

где I – ток в цепи (в мА);

t – время электролиза (в часах).

Отношение экспериментально найденной наработки массы осадка к расчетной величине дает значение выхода по току:

$$B_T = \frac{\Delta m_{\text{эксп}}}{\Delta m_{\text{расч}}} \cdot 100. \quad (8)$$

Изменения толщины покрытия, относительной скорости формирования СКО, выхода по току, а также потенциометрических характеристик катода представлены в Таблице 1.

1. Изменение толщины покрытия, относительной скорости формирования СКО и выхода по току в зависимости от плотности катодного тока

Изменение толщины покрытия с изменением плотности тока показано на графике (Рис.1).

Зависимость имеет параболическую форму до плотностей катодного тока порядка 15 А/м². Толщина покрытий не может увеличиваться бесконечно, и при больших плотностях катодного тока ($i_k > 15 \text{ А/м}^2$) $Mg(OH)_2$ начинает выпадать в виде осадка в объеме раствора, что отражается на характере хода кривой $\delta(i_k)$.

Изменение скорости формирования СКО в зависимости от плотности тока представлено на графике (Рис. 2а). Скорость формирования СКО возрастает параболически с увеличением плот-

ности тока в области плотности токов 0...15 А/м², в области больших токов скорость замедляется и начинает уменьшаться. Выход по току (Рис. 26)

имеет резкий максимум в области малых значений плотности тока (2...5 А/м²), а затем снижается практически по экспоненте.

Таблица 1

Зависимость параметров процесса формирования СКО от плотности катодного тока (продолжительность электролиза – 4 часа, температура модельного раствора 25°С)

№	Плотность катодного тока, i_k ; А/м ²	Толщина покрытия, δ ; мкм	Относительная скорость формирования СКО, $V_{отн}$; г/(м ² ·ч)	Выход по току; V_T , %	Максимальный потенциал катода, $\Phi_{k,max}$; В НВЭ	Предельный потенциал катода, $\Phi_{k,\infty}$; В НВЭ
1	0,5	0,18	0,13	24,3	-0,820	-0,775
2	1,0	0,93	0,70	64,7	-0,887	-0,842
3	2,0	1,72	1,72	79,8	-0,960	-0,924
4	5,0	4,39	4,39	81,0	-1,050	-1,015
5	8,0	5,70	5,69	65,7	-1,063	-1,028
6	10	6,84	6,84	63,2	-1,088	-1,034
7	13	7,27	7,27	51,8	-1,098	-1,055
8	15	7,65	7,65	47,2	-1,124	-1,071
9	20	7,12	7,12	32,9	-1,175	-1,094
10	25	7,32	7,32	27,0	-1,224	-1,153

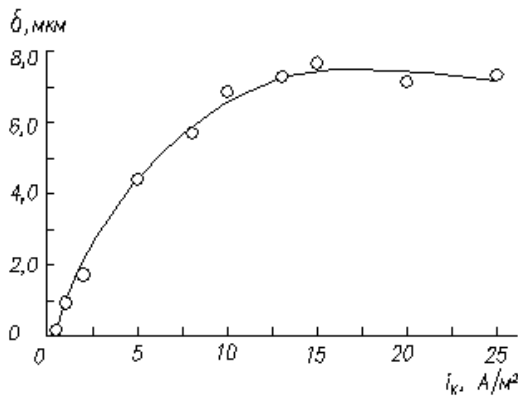


Рис. 1. Зависимость толщины покрытия от плотности катодного тока в режиме гальваностатирования (продолжительность электролиза – 3 часа)

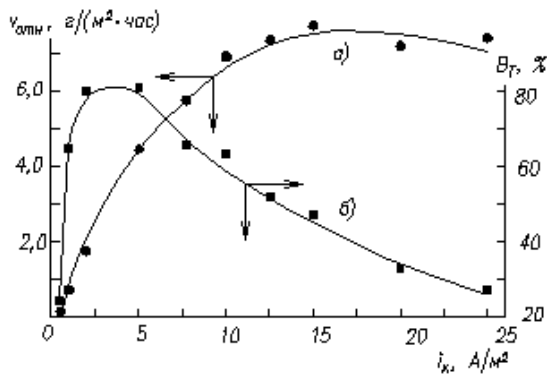


Рис.2. Зависимость скорости формирования СКО и выхода по току от плотности катодного тока в режиме гальваностатирования (продолжительность электролиза – 3 часа)

2. Изменение во времени катодных потенциалов в условиях катодной поляризации образцов при различных плотностях катодного тока

При подаче напряжения на электроды с началом процесса электролиза потенциал катода Φ_k резко сдвигается в область более отрицательных значений, достигая максимального отрицательного значения $\Phi_{k,m}$. Затем Φ_k медленно смещается в область более положительных значений и с течением времени стабилизируется на постоянном уровне $\Phi_{k,\infty}$ (Рис.3).

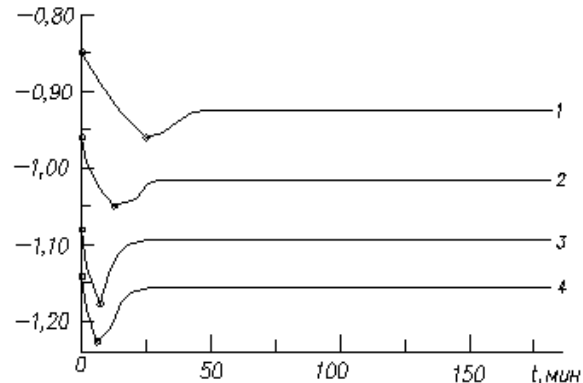


Рис. 3. Изменение во времени катодных потенциалов при различных плотностях катодного тока: $i_k = 2,0$ (1); $5,0$ (2); $15,0$ (3) и $25,0$ А/м² (4). (продолжительность электролиза 3 часа)

При анализе кривых $\Phi_k(t)$ можно выделить следующие характерные особенности изменения Φ_k :

- 1) значения $\Phi_{k,m}$ тем больше сдвинуты в область отрицательных значений, чем больше величина плотности катодного тока i_k ;
- 2) чем выше значения i_k при электролизе, тем за более короткий промежуток времени t_m достигается максимум $\Phi_{k,m}$ (значение t_m уменьшается от 25 мин при малых $i_k < 2,0$ А/м² до 5 мин при $i_k > 25$ А/м²).

Характеристические значения катодных потенциалов ($\Phi_{k,max}$ и $\Phi_{k,\infty}$) для разных плотностей катодного тока даны в Таблице 1, а также представлены на графике (Рис. 4).

С увеличением плотности тока при фиксированном времени продолжительности электролиза (4 часа) увеличивается толщина покрытия, что приводит к сдвигу катодных потенциалов в более отрицательную область (Рис.5).

На кривых $\varphi_k(t)$ можно выделить характерные области. В начальный момент времени φ_k стремится к максимальному значению в отрицательной области, а затем начинает сдвигаться в область более положительных значений, испытывая при этом колебания в ту или иную сторону. С течением времени φ_k стабилизируется, приобретая постоянное значение.

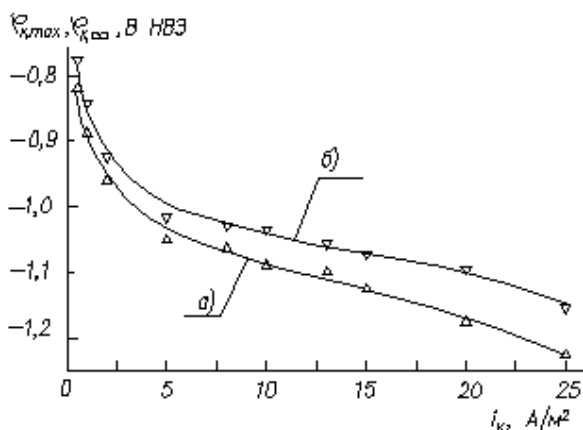


Рис.4. Зависимость максимального (а) и предельного (б) катодных потенциалов от плотности катодного тока: продолжительность электролиза – 3 часа

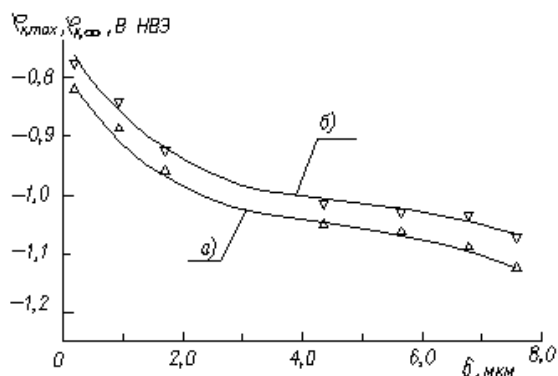


Рис.5. Зависимость максимального (а) и предельного (б) катодных потенциалов от толщины защитного покрытия: продолжительность электролиза – 3 часа

4. Зависимость процесса формирования СКО от продолжительности электролиза (при фиксированном значении плотности катодного тока)

Экспериментальные данные по зависимости параметров процесса от продолжительности электролиза приведены на графиках (Рис.6, 7) и в Таблице 2. С началом процесса электролиза с катодной поляризацией стальных образцов с целью формирования СКО на стальной поверхности скорость образования отложений максимальна, а выход по току приближается к 100%. С продол-

жением электролиза скорость образования СКО падает, а выход по току снижается. При этом увеличивается доля $Mg(OH)_2$, которая не участвует в образовании защитного покрытия и выпадает в виде осадка в объеме раствора.

В области, отвечающей продолжительности электролиза 0,25...2 часа, зависимости $v(\Delta t)$ и $B_T(\Delta t)$ практически прямолинейны (рис.1а и 2а).

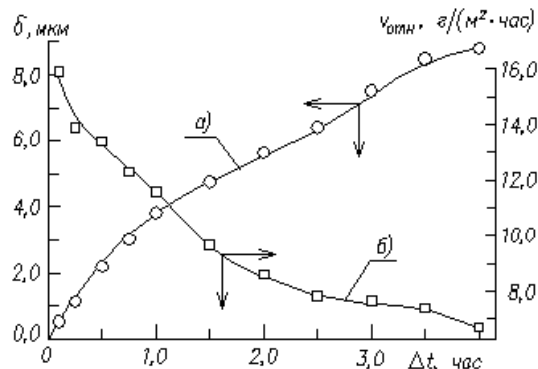


Рис.6. Зависимость толщины покрытия (а) и скорости формирования СКО (б) от продолжительности электролиза

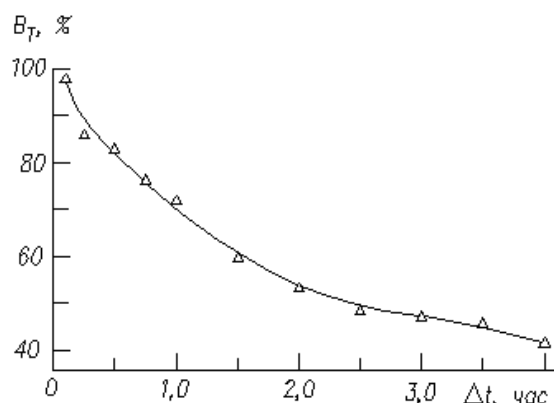


Рис.7. Зависимость выхода по току от продолжительности электролиза

Таблица 2

Изменение толщины покрытия и параметров процесса формирования осадка в зависимости от продолжительности электролиза ($i_k = 15,0 \text{ A/m}^2$)

№	Продолжит. электролиза; Δt , час	Толщина покрытия; δ , мкм	Относит. скорость формир. покрытия; $v_{отпн}$, г/(м ² ·ч)	Выход по току; B_T , %
1	0,1	0,53	15,9	97,7
2	0,25	1,16	13,9	85,8
3	0,5	2,23	13,4	82,7
4	0,75	3,08	12,3	76,1
5	1	3,88	11,6	71,8
6	1,5	4,84	9,68	59,8
7	2	5,74	8,61	53,2
8	2,5	6,52	7,83	48,3
9	3	7,65	7,65	47,2
10	3,5	8,64	7,40	45,7
11	4	8,96	6,72	41,5

5. Растворение солевого катодного осадка в морской воде

Стальные образцы, покрытые СКО, выдерживались в морской воде, определялась скорость растворения покрытия и фиксировалось изменение потенциала (рис.8):

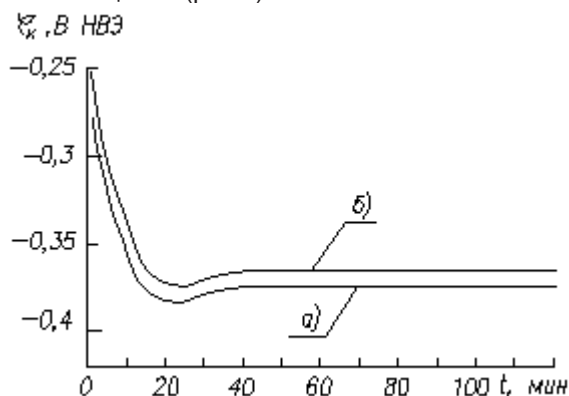


Рис.8. Изменение потенциала электрода при растворении в морской воде СКО, осадженного в течение 3 часов при $i_k = 5,0$ (а) и $8,0$ А/м² (б)

Относительная скорость растворения в морской воде СКО, полученного при $i_k = 5,0$ А/м² в течение 3 часов (рис.8а), составила 0,59 г/(м²·час), тогда как наработка была 4,4 г/(м²·час). Соответственно для СКО, полученного при $i_k = 8,0$

А/м² (рис.8б), эти величины были 0,72 и 5,7 г/(м²·час). Соответствующие потенциалы электродов с соевым покрытием со временем устанавливались на уровнях -0,374 и -0,384 В НВЭ.

Таким образом, при выдерживании стальных образцов, покрытых СКО, происходит растворение отложений с средней относительной скоростью порядка 0,6...0,7 (гр. / (кв. м в час)). В течение 1-2 часов растворяется 7-8% осадка, потенциал при этом устанавливается в области $\phi \approx -0,38$ В НВЭ.

Заключение

Гидроксид магния при катодной защите с максимальным выходом по току формируется на поверхности стали при $i_k = 2...5$ А/м² в начальный момент времени (см. рис. 2а и 7). При этом относительная скорость кристаллизации осадка (рис.2б) оптимальна для образования слоя хорошо раскристаллизованного осадка брусита, а приемлемые для защиты значения потенциала катода достигаются за достаточно короткий промежуток времени – 10...15 мин (см. рис.3, 4). Толщина осадка, полученного при этих условиях (см. рис.1), позволяет сохранять значение потенциала в морской воде (см. рис.8) в течение длительного времени при отключении источника напряжения.

Литература

1. C. Deslouis, D. Festy, O. Gil, V. Maillot, S. Touzain, B. Tribollet. Characterization of calcareous deposits in artificial sea water by impedances techniques (Part 2). Deposit of Mg(OH)₂ without CaCO₃ - Electrochimica Acta, 2000, Vol. 45, p.p.1837-1845
2. Kenichi Akamine, Isamu Kashiki. Corrosion Protection of Steel by Calcareous Electrodeposition in Seawater (Part 1) - Zairyo-to-Kankyo, 2002, Vol. 51, p.p.496-501
3. Чернов Б.Б., Ву Ван Мынг, Нугманов А.М., Фирсова Л.Ю. Кристаллизация CaCO₃ на поверхности стали при катодной защите - Морские интеллектуальные технологии, 2017 (в печати)
4. Чернов Б.Б., Пустовских Т.Б. Кинетика образования минеральных осадков из морской воды на катодно поляризуемой металлической поверхности - Защита металлов, 1989, т.25. с.506-512

References

1. C. Deslouis, D. Festy, O. Gil, V. Maillot, S. Touzain, B. Tribollet. Characterization of calcareous deposits in artificial sea water by impedances techniques (Part 2). Deposit of Mg(OH)₂ without CaCO₃ - Electrochimica Acta, 2000, Vol. 45, p.p.1837-1845
2. Kenichi Akamine, Isamu Kashiki. Corrosion Protection of Steel by Calcareous Electrodeposition in Seawater (Part 1) - Zairyo-to-Kankyo, 2002, Vol. 51, p.p.496-501
3. Chernov B.B., Vu Van Mung, Nugmanov A.M., Firsova L.Yu. Crystallization CaCO₃ on a surface of steel at cathodic protection - Sea intellectual technologies, 2017 (in a seal)
4. Chernov B.B., Pustovskih T.B. Kinetics of mineral deposits formation from sea water on cathodic polarizable metal surface - Protection of Metals, 1989, Vol. 25. pp. 506-512

УДК 620.197.5

КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ CaCO_3 НА ПОВЕРХНОСТИ СТАЛИ ПРИ КАТОДНОЙ ЗАЩИТЕ МОРСКИХ СООРУЖЕНИЙ

Борис Борисович Чернов

доктор химических наук, профессор
профессор кафедры Химии и экологии
Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского
690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, д.50 – а
тел.: (423) 241–49–68, e-mail: chernov@msun.ru

Ву Ван Мынг

аспирант кафедры Химии и экологии
Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского
690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, д.50 – а
тел.: (423) 241–49–68

Анас Масхарович Нугманов

научный сотрудник
Морской Государственный университет им. адм. Г.И. Невельского,
690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, д.50 – а
тел.: (423) 241–49–68

Людмила Юрьевна Фирсова

кандидат химических наук
доцент кафедры Химии и экологии
Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского
690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, д.50 – а
тел.: (423) 241–49–68

Аннотация

В работе представлены результаты исследования процесса образования кальциевых солевых катодных отложений (СКО) при катодной защите стали в модельных растворах, соответствующих по составу морской воде без магния. При поддерживаемой постоянной величине тока между катодом, на поверхности которого кристаллизуется осадок CaCO_3 , и нерастворимым анодом при продолжительном времени электролиза устанавливаются постоянные стабильные значения напряжения, потенциал катода также стремится к постоянному значению. Эти и другие (относительная скорость наработки осадка, толщина образующегося покрытия, выход по току) параметры процесса формирования СКО, зависящие от плотности катодного тока и продолжительности электролиза, могут служить в качестве характеристики процесса.

Применительно к кристаллизации кальциевых осадков получены результаты, позволяющие оптимизировать условия катодной защиты стали и обеспечивающие эффективную защиту от коррозии. Определен интервал оптимальных плотностей катодного тока, соотношенный с динамикой формирования защитного покрытия.

Ключевые слова: *коррозия, катодная защита, солевой катодный осадок*

THE CRYSTALLIZATION OF CaCO_3 ON THE SURFACE OF STEEL AT CATHODIC PROTECTION OF SEA CONSTRUCTIONS

Boris Borisovich Chernov

Professor, Dr. Sci. Chemistry
Professor of Department of Chemistry and ecology
Maritime state university named Admiral G. Nevelskoy
50 – a, Verkhneportovaya st., 690059, Vladivostok, Russia
tel.: (423) 241–49–68, e-mail: chernov@msun.ru

Vu Van Mung

Post-graduate student of Department of Chemistry and ecology
Maritime state university named Admiral G. Nevelskoy
50 – a, Verkhneportovaya st., 690059, Vladivostok, Russia
tel.: (423) 241–49–68, e-mail: chernov@msun.ru

Anas Maskharovich Nugmanov

Research scientist
Maritime state university named Admiral G. Nevelskoy
50 – a, Verkhneportovaya st., 690059, Vladivostok, Russia
tel.: (423) 241–49–68

Lyudmila Yurevna Firsova

Cand. Sci. Chemistry
Senior lecturer of Department of Chemistry and ecology
Maritime state university named Admiral G. Nevelskoy
50 – a, Verkhneportovaya st., 690059, Vladivostok, Russia
tel.: (423) 241–49–68

Abstract

In work results of research of process of formation calcic salt cathodic adjournment (calcareous deposit) are submitted at cathodic protection in the modelling solutions corresponding on structure to sea water without magnesium. At a supported constant of a current between the cathode on which surface deposit $CaCO_3$ crystallizes, and the insoluble anode at long electrolysis time are established constant stable values of a voltage, the potential of the cathode also aspires to constant value. These and others (relative speed of a deposit formation, thickness of a formed covering, an output on a current) parameters of process calcareous deposit formations dependent on density of a cathodic current and electrolysis duration, can serve as the characteristic of process.

With reference to crystallization calcic deposits the results are received, allowing to optimize conditions of cathodic protection of steel and providing effective protection against corrosion. The interval of optimum density of the cathodic current, correlated with dynamics of protective covering formation is determined.

Key words: *corrosion, cathodic protection, calcareous deposit*

Введение

Процесс кристаллизации осадка карбоната кальция $CaCO_3$ при формировании солевых катодных отложений (СКО) на поверхности стали (Ст3) в условиях катодной защиты исследовался на модельных растворах, соответствующих морской воде без магния, с целью выяснить особенности осаждения $CaCO_3$, когда исключена возможность образования гидроксида магния $Mg(OH)_2$. Условия, отвечающие катодной защите стали, обеспечивались ее катодной поляризацией при электролизе модельных растворов с использованием инертного нерастворимого анода. Изучалось влияние на параметры процесса катодной защиты (скорость формирования СКО, толщина осадка, выход по току и др.) продолжительности электролиза, плотности катодного тока, а также взаимозависимость этих параметров.

Для процесса катодной защиты могут быть построены математические модели, позволяющие рассчитать те или иные параметры, например, зависимость pH от плотности катодного тока [1, 2], но в практическом аспекте большой интерес представляет технологический регламент, что особенно важно при использовании автономных источников электропитания, работающих в автоматическом режиме [3].

В морской воде кристаллизация $CaCO_3$ в виде кристаллических форм кальцита и арагонита подавляется из-за большого содержания магния [4], который образует покрытие из брусита, поэтому имеет смысл изучить образование катодного по-

крытия собственно из карбоната кальция в растворах, где магний отсутствует.

1. Методика экспериментов

В качестве катодов использовались пластины из стали Ст3 (по ГОСТ 19903-74) 5 × 8 см, $\delta = 1,5$ мм, анодом служил платинированный титан Ti (Pt), пластина 2,5 × 16 см, $\delta = 1,5$ мм. Площади электродов (анода и катода) были равны между собой ($S_k = S_a = 80$ см²), соответственно были равны плотности катодного и анодного токов ($i_k = i_a$).

Межэлектродное расстояние составляло 6 см, объем электролизера 5 дм³. В качестве источника питания использовался блок питания Б5-50 (0÷299 мА с шагом 1 мА). Продолжительность электролиза составляла 4 часа, температура модельного раствора поддерживалась на уровне 25°C.

Модельные растворы составлялись из солей $NaCl$, Na_2SO_4 , $CaCl_2$ и $NaHCO_3$ и соответствовали морской воде без магния с соленостью $SAL = 30\%$: $[Ca^{2+}] = 8,85$; $[HCO_3^-] = 2,0$; $[SO_4^{2-}] = 24,2$; $[Cl^-] = 467$ (ммоль/л). Исходя из содержания в растворе бикарбонатов (2,0 ммоль/л), максимально возможное количество $CaCO_3$, которое можно осадить из раствора объемом 5 дм³, составляет величину порядка 1 г, что на 2-3 порядка превышает массу реально образующегося осадка, т.е. состав раствора в ходе опытов практически не претерпевал изменений.

Катодные образцы из полированной стали перед каждым опытом обрабатывались соляной

кислотой (1:3), промывались дистиллированной водой и сушились при 90°C, а затем взвешивались на аналитических весах AW-220 ("Shimadzu") с точностью ±0,0001 г. При потенциометрических измерениях использовался хлорсеребряный электрод сравнения ЭВЛ-1М3.1-100 (φ = +201 мВ НВЭ). Изменение потенциала катода фиксировалось логгером "Hantek-365A"

По окончании процесса электролиза образцы промывались дистиллированной водой и сушились при 90°C, а затем взвешивались, по разнице с исходной массой определялась масса нарабатанного осадка.

Согласно предыдущим исследованиям [5] ток начала кристаллизации CaCO₃ был рассчитан для вращающегося электрода (ω = 270 об/мин, когда толщина диффузионного слоя δ_{диф} = 4·10⁻⁵ м) и оказался равным 0,54 А/м². В случае неподвижного электрода (δ_{диф} ~ 6·10⁻⁴ м) [6] кристаллизация карбоната кальция начинается с величин порядка 0,03 А/м². В качестве практически значимого для исследований был определен интервал изменений плотности катодного тока в области от 0,125 до 5,0 А/м², а влияние на процесс кристаллизации осадков продолжительности электролиза изучалось в интервале от 0,05 до 4 часов.

2. Результаты и обсуждение

Экспериментально найденная масса нарабатанного осадка позволяет рассчитать толщину покрытия.

Для покрытия толщиной δ:

$$S \cdot \delta = V = \frac{\Delta m_{\text{эксп}}}{\rho} \quad (1)$$

Отсюда:

$$\delta = \frac{\Delta m_{\text{эксп}}}{S \cdot \rho}, \quad (2)$$

где δ – толщина покрытия, сформированного на катоде при электролизе, см;

Δm_{эксп} – масса осадка, нарабатанного на катоде при электролизе, г;

S – площадь покрываемой поверхности, см²;

ρ – плотность осадка, г/см³; для CaCO₃ (кальцит, арагонит) = 3,0 г/см³.

Расчетная формула (для S = 80 см² = 8·10⁻³ м²):

$$\delta = \frac{\Delta m_{\text{эксп}}}{24}, \quad (3)$$

где δ – толщина покрытия, сформированного на катоде при электролизе, мкм;

Δm_{эксп} – масса осадка, нарабатанного на катоде при электролизе, мг.

Исходя из найденных значений Δm_{эксп} можно рассчитать относительную скорость наработки СКО.

Относительная скорость формирования солевых катодных отложений (СКО) при электролизе на катоде определяется как

$$v_{\text{отн}} = \frac{\Delta m_{\text{эксп}}}{S \cdot t}, \quad (4)$$

где Δm_{эксп} – масса осадка, нарабатанного на катоде при электролизе, г;

S – площадь покрываемой поверхности, м²;

t – продолжительность времени электролиза, час;

v_{отн} – относительная скорость формирования СКО, г/(м²·час).

Расчетная формула (для S = 80 см² = 8·10⁻³ м² и t = 4 часа):

$$v_{\text{отн}} = \frac{\Delta m_{\text{эксп}}}{32}, \quad (5)$$

где Δm_{эксп} – масса осадка, нарабатанного на катоде при электролизе, мг;

v_{отн} – относительная скорость формирования СКО, г/(м²·час).

В случае, когда рассматривается зависимость параметров процесса от продолжительности электролиза (Δt), расчетная формула имеет вид:

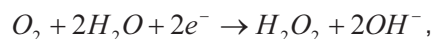
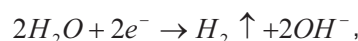
$$v_{\text{отн}} = \frac{\Delta m_{\text{эксп}}}{8 \cdot \Delta t}, \quad (5a)$$

где Δm_{эксп} – масса осадка, нарабатанного на катоде при электролизе за время Δt, мг.

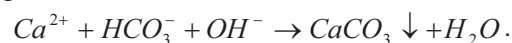
Для определения выхода по току необходимо найти расчетное значение изменения массы образца за счет формирования покрытия при 100%-ном выходе по току.

При прохождении через раствор I·t кулон электричества генерируется $\frac{I \cdot t}{F}$ молей ОН⁻, не-

зависимо от того какая из реакций разряда водорода или кислорода происходит на катоде:



соответственно, должно осадиться (при выходе по току B_T = 100%) столько же молей CaCO₃, т.е. $\frac{100 \cdot I \cdot t}{F}$ г осадка согласно реакции



Таким образом, расчетная наработка осадка определяется как

$$\Delta m_{\text{расч}} = \frac{100 \cdot I \cdot t}{F}, \quad (6)$$

где I – ток в цепи, А;

t – время электролиза, с;

F – константа Фарадея, Кл/моль (F = 96500 Кл/моль).

Если ток измеряется в мА, а время определяется в часах:

$$\Delta m_{\text{расч}} = \frac{100 \cdot I \cdot t}{F} = \frac{100 \cdot I \cdot 10^{-3} \cdot 3600 \cdot t}{96500} = 0,00373 \cdot I \cdot t \text{ (г)} = 3,73 \cdot I \cdot t \text{ (мг)}, \quad (7)$$

где I – ток в цепи (в мА);

t – время электролиза (в часах).

Отношение экспериментально найденной наработки массы осадка к расчетной величине дает значение выхода по току:

$$B_T = \frac{\Delta m_{\text{эксп}}}{\Delta m_{\text{расч}}} \cdot 100. \quad (8)$$

Изменения толщины покрытия, относительной скорости формирования СКО, выхода по току, а также потенциометрических характеристик катода представлены в Таблице 1.

Таблица 1

Зависимость параметров процесса формирования СКО от плотности катодного тока (продолжительность электролиза – 4 часа, температура модельного раствора 25°C)

№	Плотность катодного тока; $i_k, \text{A/m}^2$	Толщина покрытия, $\delta; \text{мкм}$	Относит. скорость формир. СКО, $v; \text{г}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$	Выход по току, $B_T, \%$	Потенциал катода, В НВЭ	
					максим.; $\Phi_{k, \text{max}}$	предельн.; $\Phi_{k, \infty}$
1	0,125	0,33	0,25	53,7	-0,531	-0,555
2	0,25	0,90	0,68	72,5	-0,757	-0,678
3	0,375	1,17	0,88	62,5	-0,803	-0,757
4	0,5	1,19	0,89	47,9	-0,862	-0,819
5	0,625	1,24	0,93	40,1	-0,879	-0,826
6	0,75	1,25	0,94	33,5	-0,889	-0,845
7	1,0	1,28	0,96	25,7	-0,925	-0,876
8	1,25	1,48	1,11	23,7	-0,930	-0,876
9	1,75	1,68	1,26	19,2	-0,955	-0,878
10	2,0	1,70	1,28	17,1	-0,971	-0,886
11	2,5	1,85	1,39	14,9	-0,987	-0,911
12	3,0	1,92	1,44	12,9	-1,006	-0,917
13	4,0	2,28	1,71	11,4	-1,030	-0,933
14	5,0	2,95	2,21	11,9	-1,057	-0,955

1. Изменение толщины покрытия, относительной скорости формирования СКО и выхода по току в зависимости от плотности катодного тока

Изменение толщины покрытия, рассчитанной по формуле (3) в зависимости от плотности тока показано на графике (Рис.1).

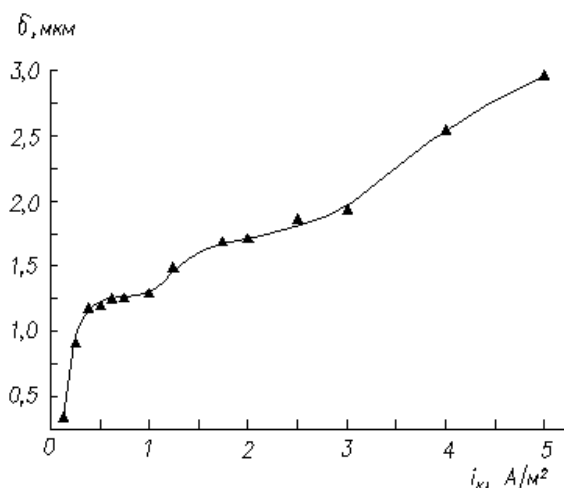


Рис.1. Зависимость толщины покрытия от плотности катодного тока в режиме гальваностатирования (продолжительность электролиза – 4 часа)

В области малых токов ($i_k = 0 \dots 1,0 \text{ A/m}^2$) рост толщины покрытия с увеличением плотности тока подчиняется топахимической зависимости (модель Ерофеева – Авраами):

$$\alpha = 1 - e^{-k \cdot x^n}, \quad (9)$$

где k характеризует скорость процесса, а $n = a + \sigma$ (целые числа отвечают: a – числу направлений роста, σ – числу элементарных стадий).

Степень роста толщины (определяемая как отношение текущих значений δ к предельному значению $\delta_\infty - \alpha = \frac{\delta}{\delta_\infty}$) описывается найденной

методом нелинейного оценивания экспоненциальной зависимостью (рис.2а)

$$\alpha = 1 - e^{-14,75 \cdot i_k^{1,841}}. \quad (10)$$

Показатель степени i_k в найденном выражении (10) близок к целочисленному значению 2 и его можно написать в виде

$$\alpha = 1 - e^{-k \cdot i_k^2}. \quad (11)$$

В выражении (11) $n = 2$, т.е. имеем $a = 1$ (одно направление роста) и $\sigma = 1$ (одна элементарная стадия). Т.о. можно сделать вывод о том, что в области малых плотностей катодного тока ($i_k = 0 \dots 1,0 \text{ A/m}^2$) кристаллизация на поверхности стальных катодов солевого катодного покрытия происходит в одну стадию и в одном направлении (вертикально к металлической поверхности).

Вторая производная (11) приводит к выражению

$$\frac{d^2 \alpha}{di_k^2} = 2k \cdot (1 - 2k \cdot i_k^2) \cdot e^{-k \cdot i_k^2}. \quad (12)$$

Можно найти точку, где скорость роста толщины покрытия максимальна. Условие $\frac{d^2 \alpha}{di_k^2} = 0$ выполняется в точке

$$i_k = (2k)^{-\frac{1}{2}} = (2 \cdot 14,75)^{-0,5} =$$

0,184 ~ 0,18 A/m². Найденное значение хорошо согласуется с результатами предыдущих исследований [5], где точка максимума в морской воде была определена равной 0,19 A/m².

В области больших плотностей катодного тока ($i_k = 1,0...5,0$ A/m²) имеет место практически линейная зависимость роста толщины покрытия с увеличением плотности катодного тока, описываемая уравнением $\delta = 0,94 + 0,37 \cdot i_k$ (Рис. 2б).

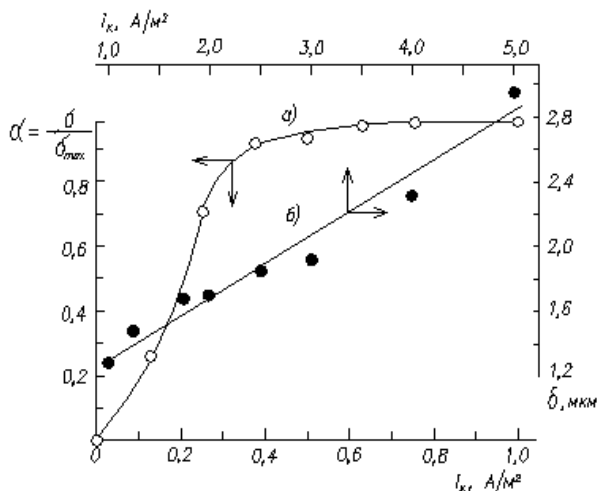


Рис.2. Зависимость степени роста покрытия $\alpha = \frac{\delta}{\delta_{\infty}}$ от плотности катодного тока в области $i_k = 0...1,0$ A/m² (а) и толщины покрытия от плотности катодного тока в области $i_k = 1,0...5,0$ A/m² (б)

Изменение скорости формирования СКО в зависимости от плотности тока представлено на рис.3а. Скорость формирования СКО резко возрастает с увеличением плотности тока в области малых токов и более плавно в области больших токов. В целом эту зависимость можно характеризовать как параболическую. Выход по току (Рис. 3б) имеет резкий максимум в области малых значений плотности тока, а затем снижается практически по экспоненте:

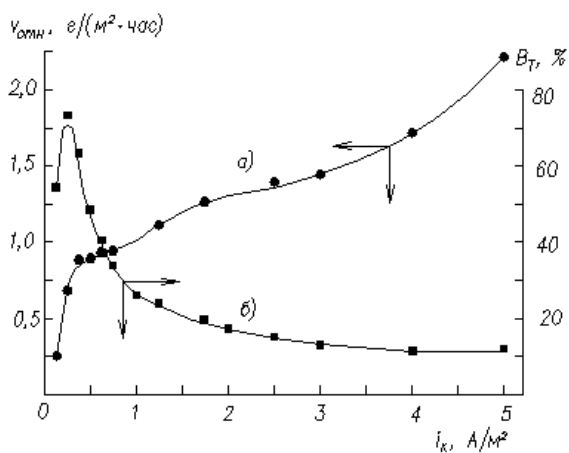


Рис.3. Зависимость скорости формирования СКО и выхода по току от плотности катодного тока в режиме гальваностатирования (продолжительность электролиза – 4 часа)

3. Изменение напряжения на электродах при электролизе модельных растворов в режиме гальваностатирования

При электролизе модельных растворов в режиме гальваностатирования при подаче напряжения на электроды в течение короткого промежутка времени - момент t_m излома кривой $U(t)$, - происходит резкое изменение напряжения на них. При этом достигается максимальное значение напряжения U_{max} , которое при малых плотностях тока затем практически не изменяется, а при больших плотностях тока незначительно понижается (U_t). Примеры кривых $U(t)$ представлены на рис.4а, а динамика момента излома кривых $U(t)$ - на графиках (Рис. 4б).

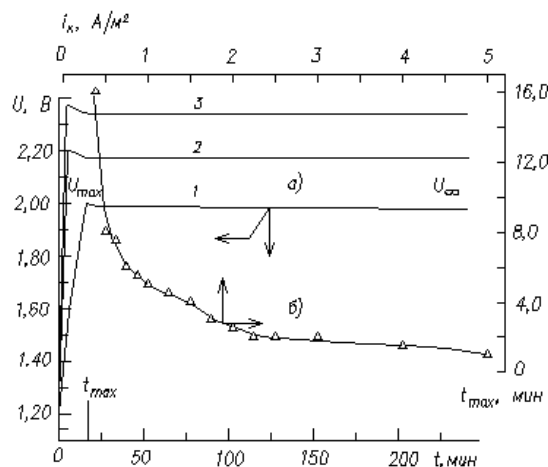


Рис.4. Изменение напряжения на электродах во времени при разных плотностях тока (а): $i_k = i_a = 0,375$ (1); 1,0 (2); 3,0 A/m² (3) и зависимость момента времени перегиба кривой $U(t)$ от величины заданной плотности тока (б)

В Таблице 2 представлены данные по характеристическим точкам кривых $U(t)$.

Таблица 2

Характеристические точки кривых $U(t)$				
№	$i_k = i_a$, A/m ²	Время излома кривой; t , мин	U_{max} , В	U_{∞} , В
1	0,375	16	2,00	1,98
2	0,5	8,0	2,07	2,07
3	0,625	7,5	2,07	2,09
4	0,75	6,0	2,14	2,12
5	0,875	5,5	2,18	2,14
6	1,0	5,0	2,20	2,17
7	1,25	4,5	2,23	2,19
8	1,5	4,0	2,26	2,21
9	1,75	3,0	2,28	2,23
10	2,0	2,5	2,31	2,26
11	2,25	2,0	2,34	2,27
12	2,5	2,0	2,35	2,30
13	3,0	2,0	2,37	2,31
14	4,0	1,5	2,38	2,30
15	5,0	1,0	2,41	2,33

С увеличением задаваемых величин плотности катодного тока значения U_{max} (рис.5а) и U_t

(Рис. 5б) возрастают, выходя на постоянный уровень, а время излома кривых $U(t)$ снижается до минимума (Рис. 4б).

Динамика стабилизации напряжения на электродах может быть использована при автоматическом регулировании катодной защиты.

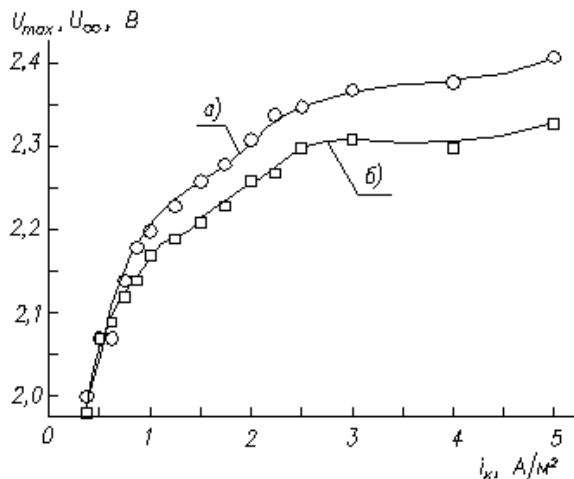


Рис.5. Зависимость максимального (а) и предельного (б) напряжения на электродах от плотности катодного тока

5. Изменение во времени катодных потенциалов в условиях катодной поляризации образцов при различных плотностях катодного тока

При подаче напряжения на электроды с началом процесса электролиза потенциал катода ϕ_k резко сдвигается в область более отрицательных значений, достигая максимально отрицательного значения $\phi_{k,m}$. Затем ϕ_k медленно смещается в область более положительных значений и с течением времени стабилизируется на постоянном уровне $\phi_{k,\infty}$ (Рис. 6).

При анализе кривых $\phi_k(t)$ можно выделить следующие характерные особенности изменения ϕ_k :

- 1) значения $\phi_{k,m}$ тем больше сдвинуты в область отрицательных значений, чем больше величина плотности катодного тока i_k ;
- 2) чем выше значения i_k при электролизе, тем за более короткий промежуток времени t_m достигается максимум $\phi_{k,m}$ (значение t_m уменьшается от 20 мин при малых $i_k < 0,5 \text{ A/m}^2$ до 0,5 мин при $i_k > 0,75 \text{ A/m}^2$);
- 3) монотонное с течением времени изменение ϕ_k при электролизе начинается с $i_k > 0,6 \text{ A/m}^2$, при $i_k < 0,5 \text{ A/m}^2$ значения ϕ_k после прохождения точки $\phi_{k,m}$ нестабильны и испытывают значительные колебания.

Характеристические значения катодных потенциалов ($\phi_{k,max}$ и $\phi_{k,\infty}$) для разных плотностей катодного тока даны в Таблице 1, а также представлены на графиках (Рис. 7).

С увеличением плотности тока при фиксированном времени продолжительности электролиза (4 часа) увеличивается толщина покрытия, что

приводит к сдвигу катодных потенциалов в более отрицательную область (Рис. 8).

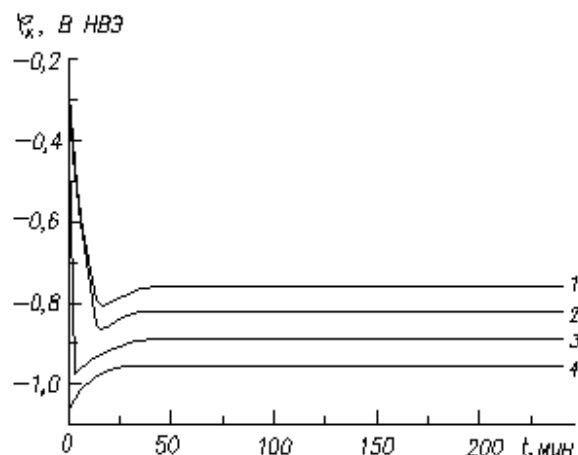


Рис.6. Изменение во времени катодных потенциалов при различных плотностях катодного тока: $i_k = 0,375$ (1); 0,5 (2); 2,0 (3) и 5,0 A/m^2 (4). Продолжительность электролиза 4 часа.

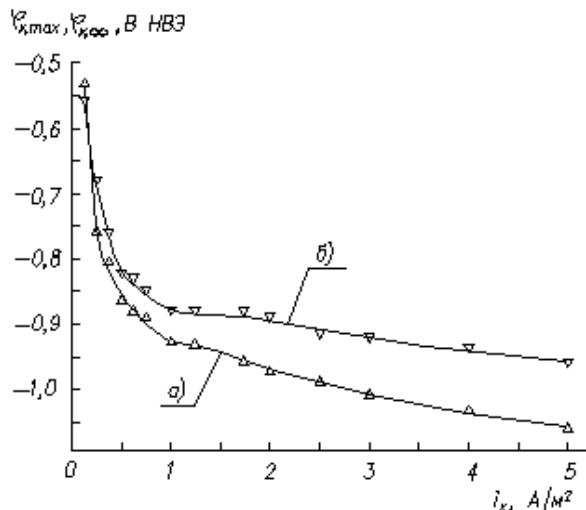


Рис.7. Зависимость максимального (а) и предельного (б) катодных потенциалов от плотности катодного тока: продолжительность электролиза – 4 часа

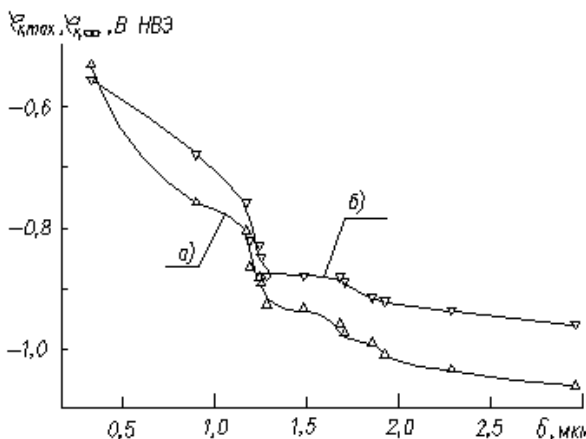


Рис.8. Зависимость максимального (а) и предельного (б) катодных потенциалов от толщины защитного покрытия: продолжительность электролиза – 4 часа

4. Зависимость процесса формирования СКО от продолжительности электролиза (при фиксированном значении плотности катодного тока)

Экспериментальные данные по зависимости параметров процесса от продолжительности электролиза приведены в Таблице 3 и на графиках (Рис. 9 и 10).

Таблица 3

Изменение толщины покрытия и параметров процесса формирования осадка в зависимости от продолжительности электролиза ($i_k = 3,0 \text{ A/m}^2$)

№	Продолжительность электролиза; Δt , час	Толщина покрытия; δ , мкм	Отн. скорость формирования покрытия; $v_{отн}$, г/(м ² ·час)	Выход по току; B_T , %
1	0,05	0,02	1,0	8,9
2	0,1	0,05	1,49	13,4
3	0,2	0,10	1,56	14,0
4	0,3	0,17	1,67	14,9
5	0,5	0,22	1,32	11,8
6	1,0	0,42	1,26	11,3
7	1,5	0,66	1,32	11,8

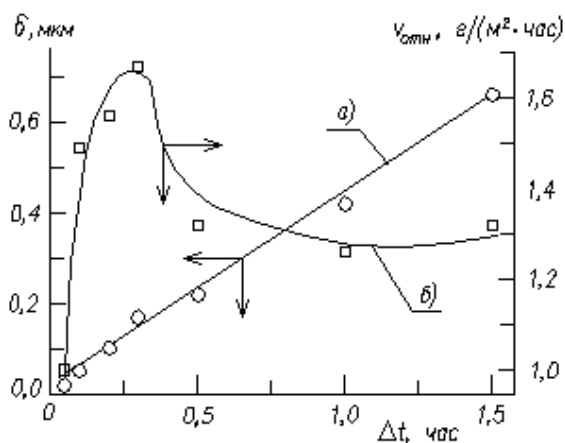


Рис.9. Зависимость толщины покрытия (а) и скорости формирования СКО (б) от продолжительности электролиза

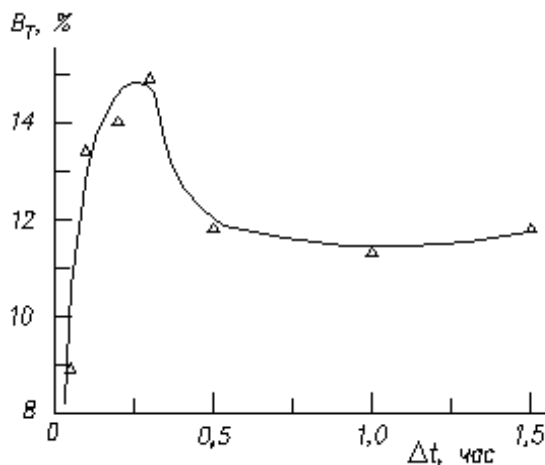


Рис.10. Зависимость выхода по току от продолжительности электролиза

Толщина покрытия возрастает линейно в зависимости от продолжительности электролиза, а скорость формирования СКО и выход по току имеют максимум в области $\Delta t = 0,2-0,3$ час.

Заключение

При плотности катодного тока $i_k = 3,0 \text{ A/m}^2$, т.е. в области, где толщина покрытия растет линейно, а скорость ее формирования практически постоянна (см. Рис. 2), аналогичные параметры максимальны в первые 0,3 часа (см. рис.9, 10). Следуя из этого, параметры катодной защиты можно задавать следующим образом: $i_k = 3,0 \text{ A/m}^2$ в течение 0,3 часа, затем плотность тока может быть снижена на порядок.

При катодной защите стали от коррозионного разрушения в морской воде должен быть согласован с особенностями формирования осадка гидроксида магния [7], который образуется при значительно больших величинах плотности катодного тока. Катодный потенциал (см. рис.6, 7) при этом находится в области, обеспечивающей защиту стальной поверхности от коррозии.

Литература

1. S.C. Dexter, S.H. Lin. Calculation of Seawater pH at Polarized Metal Surfaces in the Presence of Surface Films // Corrosion. – Vol. 48, No. 1. – p.p.50-60
2. Wen Sun, Guichang Liu, Lida Wang, Yu Li. A mathematical model for modeling the formation of calcareous deposits on cathodically protected steel in seawater // Electrochimica Acta. – 2012, Vol. 78, p.p.597-608
3. Чернов Б.Б., Нугманов А.М. Солнечные панели в практике катодной защиты металлов // Морские интеллектуальные технологии. – 2016, т.33, №3 (1), с.234-237
4. C. Deslouis, D. Festy, O. Gil, G. Rius, S. Touzain, B. Tribollet. Characterization of calcareous deposits in artificial sea water by impedance techniques - 1. Deposit of CaCO₃ without Mg(OH)₂ // Electrochimica Acta – 1998, Vol. 43, pp.1891-1901
5. Чернов Б.Б., Пустовских Т.Б. Кинетика образования минеральных осадков из морской воды на катодно поляризуемой металлической поверхности. // Защита металлов. - 1989, т.25. с.506-512
6. Чернов Б.Б., Фирсова Л.Ю., Нугманов А.М. Закономерности образования солевых отложений при катодной защите стали в морской воде // Морские интеллектуальные технологии. – 2016, т.33, №3 (1), с.226-233

7. Чернов Б.Б., Ву Ван Мынг, Нугманов А.М., Фирсова Л.Ю. Кристаллизация $Mg(OH)_2$ на поверхности стали при катодной защите // Морские интеллектуальные технологии. – 2017 (в печати)

References

1. S.C. Dexter, S.H. Lin. Calculation of Seawater pH at Polarized Metal Surfaces in the Presence of Surface Films // Corrosion. – Vol. 48, No. 1. – pp. 50-60
2. Wen Sun, Guichang Liu, Lida Wang, Yu Li. A mathematical model for modeling the formation of calcareous deposits on cathodically protected steel in seawater // Electrochimica Acta. – 2012, Vol. 78, pp.597-608
3. Chernov B.B., Nugmanov A.M. Solar Panels in Practice of Cathodic Protection of Metals // Sea intellectual technologies. – 2016, Vol. 33, No. 3 (1), pp. 234-237
4. C. Deslouis, D. Festy, O. Gil, G. Rius, S. Touzain, B. Tribollet. Characterization of calcareous deposits in artificial sea water by impedance techniques - 1. Deposit of $CaCO_3$ without $Mg(OH)_2$ // Electrochimica Acta – 1998, Vol. 43, pp.1891-1901
5. Chernov B.B., Pustovskih T.B. Kinetics of mineral deposits formation from sea water on cathodic polarizable metal surface // Protection of Metals - 1989, Vol. 25. pp. 506-512
6. Chernov B.B., Firsova L.Yu., Nugmanov A.M. Laws of salt deposits formation at cathodic protection of steel in sea water // Sea intellectual technologies. – 2016, V.33, No 3(1), p.226-233
7. Chernov B.B., Vu Van Mung, Nugmanov A.M., Firsova L.Yu. Crystallization $Mg(OH)_2$ on a surface of steel at cathodic protection // Sea intellectual technologies – 2017 (in a seal)

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

УДК 681.51

**РОБАСТНЫЙ ПОДХОД К ПОСТРОЕНИЮ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ КУРСОМ СУДНА****Александр Александрович Дыда**

доктор технических наук, профессор
профессор кафедры Автоматических и информационных систем
Морской государственной университет им. адм. Г.И. Невельского
690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, д.50 – а
е-мэйл: adyda@mail.ru

Павел Александрович Дыда

аспирант кафедры Автоматических и информационных систем
Морской государственной университет им. адм. Г.И. Невельского
690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, д.50 – а
е-мэйл: padyda@gmail.com

Елена Борисовна Осокина

доцент кафедры Электрооборудования и автоматики судов
Морской государственной университет им. адм. Г.И. Невельского
690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, д.50 – а
е-мэйл: 79245250115@ya.ru

Дмитрий Александрович Оськин

кандидат технических наук, доцент
доцент кафедры Автоматических и информационных систем
Морской государственной университет им. адм. Г.И. Невельского
690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, д.50 – а
е-мэйл: daoskin@mail.ru

Аннотация

Статья посвящена одному из возможных подходов к решению актуальной проблемы создания системы управления движением морских судов. Развивается робастный подход к синтезу системы управления курсом судна. Поскольку морское судно является динамическим управляемым объектом с неопределёнными параметрами, различные подходы могут быть использованы для усовершенствования систем управления, в частности, такие как адаптивный, интеллектуальный, нейросетевой подходы и другие. В сравнении с упомянутыми выше, робастные системы управления более практичны и просты, поскольку им не требуется перенастройка параметров и сложные алгоритмы обработки информации. На основе теоремы Харитоновой получены условия робастности систем управления для различных регуляторов и математических моделей судна, позволяющих выполнить параметрический синтез в соответствии с выбранным критерием оценки качества процессов управления. Математическое моделирование подтвердило корректность полученных условий робастности синтезированных систем управления курсом судна.

Ключевые слова: управление судном, модели Номото 1-го и 2-го порядка, робастность, интервальные параметры

**THE ROBUST APPROACH FOR THE CREATING
OF COURSE CONTROL SYSTEMS OF SHIP****Alexander Alexandrovich Dyda**

Professor, Dr. Sci. Tech.
Professor of department of Automatic and information systems
Maritime state university named Admiral G. Nevelskoy
50 – a, Verkhneportovaya st., 690059, Vladivostok, Russia
e-mail: adyda@mail.ru

Pavel Alexandrovich Dyda

Post graduate of department of Automatic and information systems
Maritime state university named Admiral G. Nevelskoy

50 – а, Verkhneportovaya st., 690059, Vladivostok, Russia
e-mail: padyda@gmail.com

Elena Borisovna Osokina

Associate professor of department of Electric equipment and systems of ships
Maritime state university named Admiral G. Nevelskoy
50 – а, Verkhneportovaya st., 690059, Vladivostok, Russia
e-mail: osokina@msun.ru

Dmitriy Alexandrovich Oskin

Associate professor, Cand. Sci. Tech.
Associate professor of department of Automatic and information systems
Maritime state university named Admiral G. Nevelskoy
50 – а, Verkhneportovaya st., 690059, Vladivostok, Russia
e-mail: daoskin@mail.ru

Abstract

This paper is devoted to the one of possible approaches to solve the actual problem of course control system design for marine ships. Namely, the robust approach is derived in order to apply it to synthesis of ship course control. Marine ship is an dynamical controlled object with uncertain parameters. The parameter and structural uncertainties of marine ship as a dynamical object are explained by a complex character of its interaction with water environment. Different approaches can be used to improve properties of ship control systems (autopilots), in particular, such as an adaptive, intelligent, neural network approaches etc. In comparison with mentioned above, robust control systems are more practical and simple as they do not need any parameter re-adjustment or complex information processing. On the basis of Kharitonov’s theorem, conditions of control system robustness are derived for widely used regulators and ship mathematical models. Computer simulations illustrate the application of research results.

Key words: ship control, Nomoto’s models of the first and second order, robustness, interval parameters

Введение

Для контроля и обеспечения требуемой динамики переходных процессов перемещения судов необходимо создание высококачественной системы управления, в частности, курсом судна. Развитие современной теории управления привело к появлению ряда подходов и методов, позволяющих усовершенствовать традиционные системы управления курсом судна. К таковым относятся адаптивный, интеллектуальный, нейросетевой и др [1, 2] Системы управления построенные на основе принципов адаптации и интеллектуализации, как показывает анализ, являются достаточно сложными для реализации. Необходимость усовершенствования систем управления курсом судна в значительной мере связано с такой его особенностью, как параметрическая неопределённость, обусловленная изменением загрузки, скорости и другими факторами.

1. Интервальные математические модели судов

В настоящее время при разработке систем управления курсом судна часто используются упрощённые линейные стационарные математические модели. В частности, в моделях Номото [3, 5] первого:

$$T \frac{d\omega}{dt} + k\omega = k\delta$$

и второго порядка:

$$\tau_1\tau_2 \frac{d^2\omega}{dt^2} + (\tau_1 + \tau_2) \frac{d\omega}{dt} + \omega = k\delta$$

определяются изменения курса движения судна

как следствие перемещения руля, где $k = \frac{k_1}{c_1}$ –

коэффициент поворотливости судна на курсе,

$T = \frac{J}{c_1}$ – параметр устойчивости судна на курсе,

ω – скорость рысканья, δ – угол отклонения руля, k_1 и c_1 – коэффициенты момента силы и вязкого сопротивления, J – общий момент инерции учитывающий присоединённые массы воды.

Предположение стационарности параметров приведённых математических моделей на практике, как правило, не выполняется, поскольку судно представляет собой нестационарный динамический объект. Его масса, моменты инерции, коэффициенты вязкого сопротивления изменяются в определённых пределах с изменением загрузки и других факторов эксплуатации. Таким образом, параметры, входящие в математические модели, имеют нестационарный интервальный характер, который целесообразно учитывать при построении систем управления курсом судна. Более адекватными представляются модификации приведённых выше моделей, учитывающие

интервальный характер их параметров (коэффициентов). Необходимо отметить, что применение более простой стационарной модели при фиксированных параметрах регулятора может привести к существенному ухудшению качества переходных процессов или даже к потере устойчивости системы управления.

2. Робастный подход к синтезу систем управления

Суть развиваемого в данной статье робастного подхода заключается в выборе такой структуры регулятора и его параметров, при которых гарантируется устойчивость (работоспособность) системы управления курсом судна при произвольных вариациях его параметров в определённых интервалах. Предполагается, что интервалы, в которых изменяются параметры математической модели судна, предварительно идентифицируются.

В современной теории управления разработан инструментарий, позволяющий получить условия робастной устойчивости линейных систем, в частности теорема В. Л. Харитонова [4]. Сущность теоремы заключается в проверке условий устойчивости вспомогательных полиномов, коэффициенты которых принимают граничные (минимальные и максимальные) значения интервалов неопределённости параметров. Для выяснения робастной устойчивости интервального полинома:

$$P(s) = \alpha_n + \alpha_{n-1}s + \dots + \alpha_0s^n.$$

Учитывая для минимальных и максимальных значений коэффициентов условие:

$$\alpha_i \leq \alpha_i \leq \bar{\alpha}_i, \text{ где } i = 0, \dots, n; \alpha_0 > 0, \alpha_n > 0,$$

требуется проверить на устойчивость полиномы Харитонова, составленные из минимальных и максимальных значений коэффициентов.

3. Получение условий робастной устойчивости

Проиллюстрируем применение теоремы для получения условий робастной устойчивости на примере модели Номото второго порядка и пид-

регулятора. Для уравнения четвёртого порядка согласно [4] необходимо рассмотреть первые два полинома Харитонова. Построив из интервальных коэффициентов уравнений матрицы и вычислив определители Гурвица, получим условия устойчивости по $\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3$ для полиномов $P_1(s), P_2(s)$. Принимая для постоянных времени обозначения $\tau_1\tau_2 = T_x; \tau_1 + \tau_2 = T_\Sigma$, по Δ_3 для $P_1(s)$ например получим:

$$T_{\Sigma min} > \frac{\left(\left(\frac{T_\Sigma}{K_c} \right)_{min}^2 K_{i max} + \left(\frac{T_x}{K_c} \right)_{max} (K_p + \tau_0 K_i)_{max}^2 \right) K_{c min}}{\left(\frac{1}{K_c} + K_d + \tau_0 K_p \right)_{min} (K_p + \tau_0 K_i)_{max}}$$

а для $P_2(s)$:

$$T_{\Sigma max} > \frac{\left(\left(\frac{T_\Sigma}{K_c} \right)_{max}^2 K_{i max} + \left(\frac{T_x}{K_c} \right)_{max} (K_p + \tau_0 K_i)_{min}^2 \right) K_{c max}}{\left(\frac{1}{K_c} + K_d + \tau_0 K_p \right)_{min} (K_p + \tau_0 K_i)_{min}}$$

После конкретизации интервальных коэффициентов значениями параметров передаточных функций судов типа «инженер А.Пустошкин», а также выбора параметров ПИД – регулятора, равных $K_p = 0,9$; $K_i = 0,003$; $K_d = 0,7$ были проведены вычисления, подтвердившие робастную устойчивость системы [6, 7].

4. Моделирование робастной системы управления

Моделирование системы управления при всевозможных сочетаниях граничных значений интервальных параметров судна также подтвердило корректность полученных теоретических условий робастной устойчивости [6, 7].

На рисунке 1 показан один из характерных примеров процессов в робастной системе управления с использованием ПИД-регулятора при некоторых допустимых граничных параметрах управляемости судна.

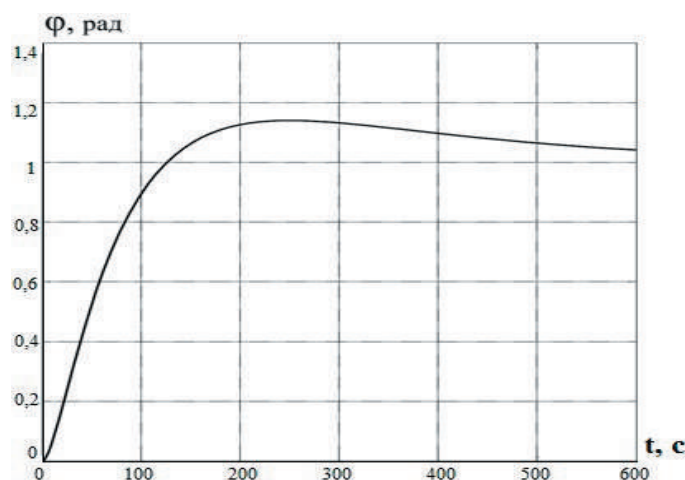


Рис. 1 Переходный процесс $\varphi(t)$

Как показал анализ результатов моделирования, несмотря на существенные вариации параметров судна, выбранный регулятор с фиксированными коэффициентами при вариациях параметров управляемости обеспечивает робастную устойчивость системы управления курсом судна.

Заключение

Таким образом, математическое описание динамики морского судна с помощью интервальных математических моделей позволяет поставить и решить задачу выбора

параметров регулятора обеспечивающих работоспособность, или робастную устойчивость, системы управления курсом судна при изменениях его параметров в широких пределах.

Постоянство параметров регулятора является существенным преимуществом робастных систем управления в сравнении с системами управления, разработанными на основе других принципов. Свойство робастности систем избавляет судоводителя от необходимости перенастройки параметров регулятора и упрощает практическое использование системы управления.

Литература

1. Вагущенко Л. Л., Цымбал Н.Н. Системы автоматического управления движением судна.– 2-е изд., перераб. и доп. – Одесса: Латстар, 2002. – 310 с.
2. Дыда А. А. Адаптивное и нейросетевое управление сложными динамическими объектами /: Дальнаука, 2007. - 148 с.
3. Amerongen J. van Adaptive Steering of Ship: PhD thesis of Job van Amerongen., Delft University of Technology, 2005., P.156.
4. Ким, Д. П. Теория автоматического управления. т. 1. Линейные системы. – М: Физматлит, 2003. – 288 с.
5. Оськин Д. А., Глазунов В. В., Воробьева С. А. Анализ математических моделей морских судов для задач управления движением.// Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. 2010. Вып.1. С. 96-99.
6. Осокина, Е. Б. Исследование робастной устойчивости системы управления движением судна на основе линейной модели второго порядка // Вестник Морского государственного университета. Сер. Автоматическое управление, математическое моделирование и информационные технологии. – 2015. – вып. 68. – С. 73–80.
7. Osokina E. B., Dyda A. A. Robust stability of ship course control system // Asia-Pacific Journal of Marine Science & Education. – Vol. 4. – No. 2. – 2014. – pp. 55–63.

References

1. Vagushchenko L. L., Tsybmal N.N. Sistemy avtomaticheskogo upravleniya dvizheniem sudna– 2-e izd., pererab. i dop. – Odessa: Latstar, 2002. – 310 s.
2. Dyda A. A. Adaptivnoe i neyrosetevoe upravlenie slozhnyimi dinamicheskimi ob"ektami /: Dal'nauka, 2007. - 148 s.
3. Amerongen J. van Adaptive Steering of Ship: PhD thesis of Job van Amerongen., Delft University of Technology, 2005., P.156.
4. Kim, D. P. Teoriya avtomaticheskogo upravleniya. t. 1. Lineynye sistemy. – M: Fizmatlit, 2003. – 288 s.

-
5. Os'kin D. A., Glazunov V. V., Vorob'jova S. A. Analiz matematicheskikh modelej morskikh sudov dlja zadach upravlenija dvizheniem.// Nauchnye problemy transporta Sibiri i Dal'nego Vostoka. 2010. Vyp.1. С. 96-99.
 6. Osokina, E. B. Issledovanie robastnoy ustoychivosti sistemy upravleniya dvizheniem sudna na osnove lineynoy modeli vtorogo poryadka // Vestnik Morskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. Avtomaticheskoe upravlenie, matematicheskoe modelirovanie i informatsionnye tekhnologii. – 2015. – vyp. 68. – S. 73–80.
 7. Osokina E. B., Dyda A. A. Robust stability of ship course control system // Asia-Pacific Journal of Marine Science& Education. – Vol. 4. – No. 2. – 2014. – pp. 55–63.

УДК 656.61.052

ВИРТУАЛЬНЫЙ ПОЛИГОН ДЛЯ ЗАДАЧ СУДОВОЖДЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СРЕДЫ BLENDER

Нелли Алексеевна Седова

кандидат технических наук, доцент
доцент кафедры Автоматических и информационных систем
Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского
690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, д.50 – а
e-mail: nellyfish81@mail.ru

Виктор Александрович Седов

кандидат физико-математических наук, доцент
заведующий кафедрой Теоретических основ электротехники
Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского
690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, д.50 – а
e-mail: sedov@msun.ru

Александр Анатольевич Луговец

доктор экономических наук, доцент
профессор кафедры Управления морским транспортом
Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского
690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, д.50 – а
e-мэйл: alal@list.ru

Аннотация

Одним из перспективных направлений развития интеллектуальных систем в задачах судовождения является разработка виртуальных полигонов, способных моделировать поведение надводных управляемых и неуправляемых объектов. Актуальность применения виртуальных полигонов связана, прежде всего, с возможностью моделирования потенциально опасных ситуаций, которые на практике могут привести к повреждению или выходу из строя судна. Так, на виртуальных полигонах возможно моделировать ситуации, когда избежать столкновения морских судов невозможно, в этом случае виртуальный полигон способен спрогнозировать результат нескольких вариантов исходов и оценить наилучший/наихудший из вариантов, что позволяет использовать виртуальный полигон для систем поддержки принятия решений для судоводителей.

В настоящей работе описывается виртуальный полигон для моделирования задач, направленных на обеспечение безопасности судовождения. Структурно разработанный виртуальный полигон содержит такие программные элементы, как подсистема графических объектов, предназначенная для визуализации морских стационарных или динамических объектов и ветроволновых возмущений; сигнальная подсистема; подсистема имитационного моделирования; интеллектуальная подсистема с нейросетевыми и нейро-нечеткими моделями для осуществления принятия решения в различных ситуациях; подсистема настройки графического пользовательского интерфейса.

Ключевые слова: виртуальный полигон, моделирование надводных объектов, система поддержки принятия решений, безопасность судовождения, расхождение судов, нейросетевая модель, нейро-нечеткая модель

THE VIRTUAL POLYGON FOR NAVIGATION WITH USE OF THE BLENDER SOFTWARE

Nelly Alekseevna Sedova

Associate professor, Cand. Sci. Tech.
Associate professor of department of Automatic and information systems
Maritime state university named Admiral G. Nevelskoy
50 – a, Verkhneportovaya st., 690059, Vladivostok, Russia
e-mail: nellyfish81@mail.ru

Viktor Aleksandrovich Sedov

Associate professor, Cand. Sci. of Ph.–Math.
Director of department Electricity-technical theory
Maritime state university named Admiral G. Nevelskoy
50 – a, Verkhneportovaya st., 690059, Vladivostok, Russia

e-mail: sedov@msun.ru

Aleksandr Anatolievich Lugovets

Associate professor, Dr. Sci. Economics
Professor of department of Maritime transportation management
Maritime state university named Admiral G. Nevelskoy
50 – a, Verkhneportovaya st., 690059, Vladivostok, Russia
e-mail: alal@list.ru

Abstract

One of the promising areas for the development of intelligent systems in the tasks of navigation is the development of virtual polygons capable of modeling the behavior of sea objects. The prospect of using such virtual polygons is primarily associated with the ability to model potentially dangerous situations, which in practice can provoke to damage of the vessel. Thus, in virtual polygons it is possible to simulate situations, where avoiding sea ships collision is impossible. In this case the virtual polygon is able to predict the result of several variants of outcomes and to evaluate the best or worst of the situations, which allows usage a virtual polygon for decision support systems for navigators.

In this paper the virtual polygon for modeling tasks aimed at ensuring the safety of navigation is described. The developed virtual polygon contains the following program subsystems: the graphic objects subsystem, intended for visualization of marine stationary or dynamic objects and wind-wave disturbances; signal subsystem; the simulation modeling subsystem; the intellectual subsystem with neural network and neural-fuzzy models for decision-making in various situations and the graphical user interface customization subsystem.

Keywords: *virtual polygon, sea objects modeling, decision support system, safety of navigation, neural network model, neural-fuzzy model*

Введение

Виртуальные полигоны в приложении к судовождению [1-4] позволяют моделировать сценарии поведения морских надводных объектов друг с другом, с другими объектами, например, низколетящими воздушными объектами, и внешней окружающей средой. В рамках виртуального полигона возможно моделирование сложных ситуаций в условиях ограниченной видимости, а также в режиме аварийной или предаварийной ситуаций. На виртуальных полигонах можно смоделировать ситуации, когда избежать столкновения морских судов невозможно, в этом случае виртуальный полигон способен спрогнозировать результат нескольких вариантов исходов и оценить наилучший/наихудший из вариантов, что позволяет использовать виртуальный полигон для систем поддержки принятия решений для судоводителей. Более того, выполнение необходимых расчетов осуществляется в режиме реального времени, поэтому использование виртуальных полигонов целесообразно и в бортовых системах поддержки принятия решений.

В настоящей работе представлены результаты разработки виртуального полигона для задач обеспечения безопасности судовождения с использованием среды «Blender» для графического трёхмерного изображения объектов, а также языка программирования Delphi, использующегося для программной реализации разработанных методов и создания графического пользовательского интерфейса.

1. Структура виртуального полигона для задач судовождения

В состав разработанного виртуального полигона, предназначенного для моделирования задач, направленных на обеспечение безопасности судовождения, входят следующие программные компоненты: подсистема графических объектов, сигнальная (звуковая) подсистема, подсистема имитационного моделирования, интеллектуальная подсистема, подсистема настройки графического пользовательского интерфейса.

Подсистема графических объектов позволяет визуализировать морские надводные объекты, стационарные или динамические объекты, которые потенциально могут встретиться на траектории движения морских судов, различные модели ветро-волновых возмущений и морских поверхностей.

Звуковая (сигнальная) подсистема обеспечивает подачу звуковых сигналов для предупреждения развития опасных ситуаций. Для режимов моделирования подсистема дополнительно включает несколько звуковых эффектов гидрометеорологических явлений.

Подсистема имитационного моделирования предназначена для генерирования различных ситуаций, возникающих в море, например, ситуации сближения двух морских судов, ситуации расхождения морского судна со стационарными неуправляемыми объектами и т.д.

Интеллектуальная подсистема включает в себя ряд интеллектуальных моделей для осуществления принятия решения в различных ситуациях. Так, например, одна из моделей на базе нейросетевых технологий и теории нечётких мно-

жеств, обеспечивает процесс принятия решений по расхождению морских судов, другая нечёткая модель используется для расхождения морских судов со стационарными неуправляемыми объектами.

Подсистема настройки графического пользовательского интерфейса предназначена для обеспечения удобного взаимодействия между виртуальным полигоном и пользователем.

2. Подсистема графических объектов

Подсистема графических объектов содержит трёхмерные модели нескольких типов управляемых и неуправляемых объектов: морские надводные объекты (модели морских судов типа малого рыболовного бота (Рис. 1), танкеров, парусных судов и т.д.), стационарные объекты (буи, радиолокационные маяки, участки суши и пр.), динамические объекты (дрейфующие контейнера, низколетающие квадрокоптеры и др.), различные метеорологические условия (например, условие ограниченной видимости), морские поверхности с визуализацией последствий ветра, воздействующего на различные объекты, а также волнения, отображающегося в виде отсутствия/наличия гребней волн, пены и т.п.

Для визуализации графических объектов использован общедоступный, бесплатно распространяемый редактор трёхмерного моделирования «Blender» [5]. Редактор «Blender» имеет интуитивно понятный графический пользовательский интерфейс с возможностью удобного управления функциями с клавиатуры.

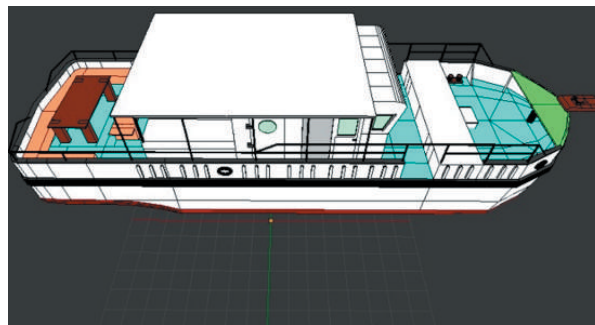


Рис. 1. Трёхмерное изображение модели морского надводного объекта - малого рыболовного бота

Для визуализации морских поверхностей разработаны соответствующие трёхмерные сцены, моделирование которых осуществлялось выставлением трёх плоскостей в пространстве: горизонтальной для непосредственного изображения поверхности и двух вертикальных – для формирования фонового изображения. Каждая трёхмерная сцена использовала индивидуальную совокупность цветовых схем (текстур). Визуализация моря на горизонтальной плоскости осуществлялась нанесением на плоскость встроенного в графический редактор «Blender» модификатора «wave», способного преобразовать плоскость в объёмную волну.

На Рис. 2 изображен пример модели трёхмерной сцены, соответствующей ситуации с метеорологическими условиями, соответствующими 11 баллам по шкале Бофорта.



Рис. 2. Изображение фрагмента графического пользовательского интерфейса

3. Подсистема имитационного моделирования

Каждая ситуация, занесённая в подсистему имитационного моделирования, состоит из моделей морских надводных объектов, содержащихся в подсистеме графических объектов, и постановочного окружающего мира, включающего морские поверхности с различными метеорологическими условиями и наличием/отсутствием разных управляемых и неуправляемых объектов.

Для создания графического пользовательского интерфейса подсистемы имитационного моделирования использована среда разработки «Delphi». Графический пользовательский интерфейс для моделирования различных ситуаций, описываемых шкалой Бофорта, представляет собой форму с тринадцатью кнопками, областью для вывода моделируемой ситуации, а также полем для вывода словесного определения силы ветра, средней скорости ветра, а также описания действия ветра в открытом море.

4. Интеллектуальная подсистема

Интеллектуальная подсистема виртуального полигона для задач судовождения содержит следующие интеллектуальные модели: интеллектуальная модель расхождения морских судов на базе теории нечётких множеств, интеллектуальная модель расхождения морских судов на базе нейросетевых технологий и теории нечётких множеств, нечёткая модель расхождения морских судов со стационарными неуправляемыми объектами, нечёткая модель оценки уровня аварийных ситуаций в море и др.

В частности, модель на базе теории нечётких множеств, автоматически определяющая уровень аварийной ситуации [6] по информации, предоставленной подсистемой имитационного моделирования. Такая модель способна по сведениям о величине вреда, нанесённого здоровью и/или жизни человека (группе лиц), по степени повреждения морского судна, а также по размеру загрязнения окружающей среды определить один из четырёх уровней аварийной ситуации (инцидент, серьёзный инцидент, аварийная ситуация, очень серьёзная аварийная ситуация).

Для решения задачи расхождения морских судов используется [7] информация о пеленге, курсах и скоростях морских судов, требующих принятия решения о расхождении, для каждого из этих параметров проведена фаззификация, реализован алгоритм нечёткого логического вывода. Интеллектуальная подсистема содержит модифицированную версию интеллектуальной системы расхождения [8], для разработки которой сформирована обучающая выборка, состоящая из 525 элементов, выявлены оптимальные параметры нейро-нечёткого вывода, проведено обучение нейро-нечёткой сети, наилучшим образом решающей задачу расхождения.

Принятие решения о расхождении со стационарными неуправляемыми объектами [9] зависит, главным образом, от месторасположения такого объекта: слева, спереди или справа оно находится, – а также, конечно, от дистанции до объекта. Проведены все необходимые для разработки нечёткой системы этапы, в том числе сформирована база правил нечётких продукций, включающая 216 правил.

Более подробно с разработанными и внедрёнными в структуру виртуального полигона моделями можно ознакомиться по результатам работ авторов [6 - 9].

Заключение

В результате проведенной работы по созданию виртуального полигона для задач судовождения создана серия трёхмерных морских надводных объектов, а также проведено моделирование различных ситуаций с учётом различных метеорологических условий. Авторами в настоящее время продолжается работа по наращиванию функциональности разрабатываемого полигона, в частности, по добавлению новых управляемых или неуправляемых объектов и различных типовых ситуаций в подсистему графических объектов и подсистему имитационного моделирования, а также ведётся работа по формированию комплекса ситуационных моделей интеллектуальных систем обеспечения безопасности судовождения.

Литература

1. Седова Н.А., Седов В.А. Виртуальный полигон для задач обеспечения безопасности судоходства // Постулат. 2016. № 12 (14). С. 25.
2. Вунна Чжо, Дегтярев А. Б. Виртуальный полигон по исследованию динамики судов // Интернет-журнал Науковедение. 2014. №6 (25). URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/virtualnyy-poligon-po-issledovaniyu-dinamiki-sudov> (дата обращения: 13.12.2016).
3. Безгодов А.А. Виртуальный полигон для исследования морских объектов в экстремальных условиях эксплуатации: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.13.18. Санкт-Петербург, 2011. – 18 с.
4. Соэ Моэ Лвин. Разработка элементов виртуального полигона моделирования окружающей морской среды в гетерогенном вычислительном окружении: дис. канд. техн. наук: 05.13.18. Санкт-Петербург, 2011. – 235 с.
5. Седова Н.А., Титаренко В.А. Моделирование судна в различных ветро-волновых условиях на море в среде Blender // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. 2015. № 7-8. С. 74-77.

6. Sedova N.A., Sedov V.A., Glushkov S.V. The fuzzy model of the emergency level assessment at sea // В сборнике: Vibroengineering Procedia 22, Dynamics of Strongly Nonlinear Systems. Сер. «22nd International Conference on Vibroengineering» 2016. С. 506-511.
7. Sedova N.A. A logical-linguistic model of ship collision avoidance in a heavy traffic zone // В сборнике: 21st Saint Petersburg International Conference on Integrated Navigation Systems, ICINS 2014 - Proceedings 21. 2014. С. 166–170.
8. Седов В.А., Седова Н.А. Моделирование расхождения морских судов нейро-нечёткими сетями методом субкластеризации // Информационные технологии. Радиоэлектроника. Телекоммуникации. 2016. № 6-2. С. 210-214.
9. Седов В.А., Седова Н.А. Нечёткая продукционная модель расхождения судов со стационарными объектами // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2014. – №4. – С. 119-122.

References

1. Sedova N.A., Sedov V.A. (2016) Virtual'nyj poligon dlja zadach obespechenija bezopasnosti sudohodstva (Virtual polygon for navigation safety tasks) Postulat, № 12 (14), 25 p.
2. Vunna Chzho, Degtjarev A. B. (2014) Virtual'nyj poligon po issledovaniju dinamiki sudov (Virtual polygon for the study of ship dynamics). Internet-journal Naukovedenie. №6 (25). URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/virtualnyy-poligon-po-issledovaniju-dinamiki-sudov>.
3. Bezgodov A.A. Virtual'nyj poligon dlja issledovanija morskikh ob'ektov v jekstremal'nyh uslovijah jekspluatacii: avtoref. dis. kand. tehn. Nauk (Virtual polygon for investigation of marine objects in extreme operating conditions: the author's abstract of Cand. Tech. Sciences Dis.). Sankt-Peterburg, 2011, 18 p.
4. Soje Moje Lvin. Razrabotka jelementov virtual'nogo poligona modelirovanija okruzhajushhej mor-skoj sredy v geterogennom vychislitel'nom okruzhenii: dis. kand. tehn. nauk (Development of the virtual polygon elements, modeling the surrounding marine setting in a heterogeneous computing environment: dis. Cand. Tech. Sciences) Sankt-Peterburg, 2011, 235 p.
5. Sedova N.A., Titarenko V.A. (2015) Modelirovanie sudna v razlichnyh vetro-volnovyh uslovijah na more v srede Blender. Sovremennaja nauka: aktual'nye problemy teorii i praktiki. Serija: Estestvennye i tehicheskie nauki (Ship simulation in various wind-wave conditions at sea in Blender software. Modern science: actual problems of theory and practice. Series: Natural and technical sciences.) № 7-8, 74-77.
6. Sedova N.A., Sedov V.A., Glushkov S.V. (2016) The fuzzy model of the emergency level assessment at sea. Vibroengineering Procedia 22, Dynamics of Strongly Nonlinear Systems. (Proc. 22nd International Conference on Vibroengineering), 506-511.
7. Sedova N.A. (2014) A logical-linguistic model of ship collision avoidance in a heavy traffic zone. Proc. 21st Saint Petersburg International Conference on Integrated Navigation Systems, 166-170.
8. Sedov V.A., Sedova N.A. (2016) Modelirovanie rashozhdenija morskikh sudov nejro-nechjotkimi setjami metodom subklasterizacii. Informacionnye tehnologii. Radiojelektronika. Telekommunikacii (Sea ships discrepancies modeling by neuro-fuzzy networks by subclustering method. Information technologies. Radioelectronics. Telecommunications), № 6-2, 210-214.
9. Sedov V.A., Sedova N.A. (2014) Nechjotkaja produkcionnaja model' rashozhdenija sudov so stacionarnymi ob'ektami. Nauchnye problemy transporta Sibiri i Dal'nego Vostoka (Fuzzy production model of ship discrepancy with stationary objects. Scientific Problems of Transport in Siberia and the Far East), №4, 119-122.

УДК 681.51

СИНТЕЗ РОБАСТНОГО АВТОРУЛЕВОГО ПО КРИТЕРИЮ СТЕПЕНИ УСТОЙЧИВОСТИ

Александр Александрович Дыда

доктор технических наук, профессор
профессор кафедры Автоматических и информационных систем
Морской государственной университет им. адм. Г.И. Невельского
690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, д.50 – а
е-мэйл: adyda@mail.ru

Павел Александрович Дыда

аспирант кафедры Автоматических и информационных систем
Морской государственной университет им. адм. Г.И. Невельского
690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, д.50 – а
е-мэйл: padyda@gmail.com

Елена Борисовна Осокина

доцент кафедры Электрооборудования и автоматики судов
Морской государственной университет им. адм. Г.И. Невельского
690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, д.50 – а
е-мэйл: 79245250115@ya.ru

Дмитрий Александрович Оськин

кандидат технических наук, доцент
доцент кафедры Автоматических и информационных систем
Морской государственной университет им. адм. Г.И. Невельского
690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, д.50 – а
е-мэйл: daoskin@mail.ru

Аннотация

Статья посвящена одному из возможных подходов к решению актуальной проблемы синтеза системы управления курсом судна, обеспечивающей желаемое качество переходных процессов. Для оценки качества процессов управления выбран показатель степени устойчивости. Одной из особенностей динамики морского судна является неопределённость его параметров, таких как присоединённые массы и моменты инерции, силы и моменты сил вязкого сопротивления и др. Эти факторы определяют сложность проблемы синтеза системы управления. Робастный подход предложен для обеспечения заданного качества процессов управления движением судна. В статье показано, что задача может быть сведена к обеспечению робастной устойчивости вспомогательного дифференциального уравнения. Результаты численного моделирования приводятся и обсуждаются. Показана эффективность предложенного робастного подхода к параметрическому синтезу типовых линейных регуляторов системы управления курсом судна на основе показателя степени устойчивости.

Ключевые слова: управление судном, модели Номото порядка, робастность, интервальные параметры критерий степень устойчивости

THE ROBUST AUTOPILOT SYNTHESIS ON THE BASE OF STABILITY DEGREE CRITERION

Alexander Alexandrovich Dyda

Professor, Dr. Sci. Tech.
Professor of department of Automatic and information systems
Maritime state university named Admiral G. Nevelskoy
50 – a, Verkhneportovaya st., 690059, Vladivostok, Russia
e-mail: adyda@mail.ru

Pavel Alexandrovich Dyda

Post graduate of department of Automatic and information systems
Maritime state university named Admiral G. Nevelskoy
50 – a, Verkhneportovaya st., 690059, Vladivostok, Russia
e-mail: padyda@gmail.com

Elena Borisovna Osokina

Associate professor of department of Electric equipment and systems of ships
 Maritime state university named Admiral G. Nevelskoy
 50 – a, Verkhneportovaya st., 690059, Vladivostok, Russia
 e-mail: osokina@msun.ru

Dmitriy Alexandrovich Oskin

Associate professor, Cand. Sci. Tech.
 Associate professor of department of Automatic and information systems
 Maritime state university named Admiral G. Nevelskoy
 50 – a, Verkhneportovaya st., 690059, Vladivostok, Russia
 e-mail: daoskin@mail.ru

Abstract

This paper is devoted to the one of the possible approaches to solving the actual problem of course control system synthesis for marine ship to provide a desirable quality of transient processes. As a criterion to evaluate a quality of control processed, so called stability degree was chosen. One of the main features of marine ship dynamics is uncertainty of its parameters such as added water masses and moments of inertia, coefficients of viscous friction, payload etc. These factors make a problem of control system synthesis difficult to solve. Robust approach is derived to guaranty a given process quality in the case of a ship parameters uncertainty. It was shown in the paper that a task can be reduced to providing the robust stability of auxiliary differential equation. Results of numerical simulations are given and discussed. An effectiveness of proposed robust approach to parametric synthesis ship course typical linear regulators is confirmed in the paper.

Key words: ship control, Nomoto’s models of the first and second order, robustness, interval parameters, stability degree criterion

Введение

Одной из важнейших систем обеспечивающих движение судна по курсу является авторулевой (АР). Настройка параметров авторулевого, является задачей, которую судоводитель решает с учётом режима и условий плавания. В традиционных авторулевых такая настройка выполняется, как правило, вручную. Стремление усовершенствовать авторулевые привело к созданию новых классов этих устройств: адаптивных, интеллектуальных, самоорганизующихся и других [1, 2].

Ввиду того, что математические модели движения судна по курсу представляют собой дифференциальные (обычно линейные) уравнения с интервальными коэффициентами, в сравнении с вышеназванными системами более предпочтительными для практической реализации являются робастные АР, обеспечивающие работоспособность при вариациях параметров управляемости судна.

В настоящей статье ставится и решается задача выбора параметров регулятора, который обеспечивает не только робастную устойчивость системы управления курсом судна, но и желаемое качество процессов управления. Оценка качества системы управления основана на показателе степени устойчивости, характеризующем скорость протекания переходных процессов [3]. Целью синтеза является получение параметров рекомендуемых судоводителю для настройки авторулевого, в том числе и в автоматическом режиме.

1. Условия робастной устойчивости и оценка качества процессов управления

Система управления курсом судна представлена на рисунке 1, где АР – авторулевой, РМ – рулевая машина, φ , φ^* – фактический курс судна и его заданное значение, ε – сигнал рассогласования, u – выходной сигнал регулятора, δ – угол поворота руля.

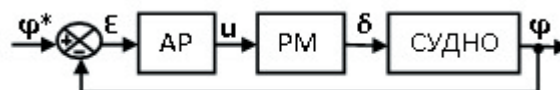


Рис. 1 Система управления судном по курсу

Будем полагать, что отдельные подсистемы, входящие в состав системы управления курсом судна, а именно АР, РМ и сам управляемый объект описываются соответствующими передаточными функциями $W_{AP}(s)$, $W_{PM}(s)$, $W_C(s)$. В этом случае дифференциальное уравнение для режима свободных движений системы имеет вид:

$$a_0\varphi^n + a_1\varphi^{n-1} + \dots + a_n\varphi = 0, \tag{1}$$

где $a_i^{min} \leq a_i \leq a_i^{max}$; $i = 0, \dots, n$.

Для оценки качества системы управления курсом судна выберем критерий степени устойчивости α , характеризующий скорость протекания переходных процессов [6–9]. По определению, динамическая система, описываемая дифференциальным уравнением (1), обладает степенью ус-

тойчивости α , если решение $\varphi(t)$ удовлетворяет условию:

$$|\varphi(t)| \leq Ae^{-\alpha t}, \quad (2)$$

где $A = A(t)$ некоторая ограниченная функция, α – степень устойчивости.

Если свойство (2) имеет место для всех возможных параметров a_i , удовлетворяющих условию $a_i^{min} \leq a_i \leq a_i^{max}$, то динамическая система является робастной и обладает степенью устойчивости α . Представим решение дифференциального уравнения (1) в виде

$$\varphi(t) = y(t)e^{-\alpha t}. \quad (3)$$

Подставляя (3) в (1) и выполняя преобразование, получим дифференциальное уравнение для вспомогательной функции $y(t)$:

$$c_0 y^n + c_1 y^{n-1} + \dots + c_n y = 0, \quad (4)$$

где $c_i = c_i(a_i, \alpha)$, $i = 0, 1, \dots, n$ и

$$c_i^{min} \leq c_i \leq c_i^{max}.$$

Очевидно, что из робастной устойчивости уравнения (4) следует выполнение свойства (2) для исходной системы управления курсом судна при всех возможных вариациях параметров a_i .

2. Параметрический синтез авторулевого

Проиллюстрируем предложенный подход к синтезу на конкретном примере. Для определённости предположим, что уравнение движения судна по курсу представляется моделью Номото второго порядка [4, 5] и его передаточная функция соответственно равна:

$$W(s) = W_{ap}(s) \times W_{PM}(s) \times W_c(s) = \frac{(k_d s^2 + k_p s + k_i)}{s} \times \frac{k_c(\tau_0 + 1)}{s(\tau_1 s + 1)(\tau_2 s + 1)} \quad (5)$$

Динамика свободных движений системы управления с использованием ПИД-регулятора в соответствии с (5) описывается следующим дифференциальным уравнением:

$$T_x \overset{\dots}{\varphi} + T_\Sigma \overset{\dots}{\varphi} + T_k \overset{\dots}{\varphi} + K_1 \overset{\cdot}{\varphi} + K_2 \varphi = 0, \quad (6)$$

где φ – выходная переменная (курс судна в режиме свободного движения), а $T_x = \tau_1 \tau_2$, $T_\Sigma = \tau_1 + \tau_2$, $K_1 = k_c(k_i \tau_0 + k_p)$, $K_2 = k_c k_i$, $T_k = k_d k_c + k_p k_c \tau_0 + 1$ – интервальные параметры (k_p, k_i, k_d – коэффициенты передачи ПИД-регулятора; – постоянные времени).

Поставляя (3) в (6), после преобразования получаем дифференциальное уравнение для вспомогательной функции $y(t)$:

$$T_x \overset{\dots}{y} + [T_\Sigma - 4T_x \alpha] \overset{\dots}{y} + [6T_x \alpha^2 - 3T_\Sigma \alpha + T_k] \overset{\cdot}{y} + [3T_\Sigma \alpha^3 - 4T_x \alpha^2 - 2T_k \alpha + K_1] \overset{\cdot}{\varphi} + [T_x \alpha^4 - T_\Sigma \alpha^3 + T_k \alpha_2 - K_1 \alpha + K_2] y = 0$$

где:

$$\begin{aligned} c_0 &= T_x, \\ c_1 &= T_\Sigma - 4T_x \alpha, \\ c_2 &= 6T_x \alpha^2 - 3T_\Sigma \alpha + T_k, \\ c_3 &= 3T_\Sigma \alpha^3 - 4T_x \alpha^2 - 2T_k \alpha + K, \\ c_4 &= T_x \alpha^4 - T_\Sigma \alpha^3 + T_k \alpha_2 - K_1 \alpha + K_2. \end{aligned}$$

Коэффициенты уравнения (6), как и уравнения (1), являются интервальными и диапазоны их изменения определяются вариациями параметров управляемости судна. Зададимся конкретными диапазонами изменения параметров управляемости судна:

$$\tau_0 = [5; 8], \quad \tau_1 = [12; 22], \quad \tau_2 = [3; 12], \\ k_c = [0.014; 0.017].$$

Как следствие, интервальные параметры принимают значения: $T_x = [36; 264]$, $T_\Sigma = [15; 36]$,

В результате применения теоремы Харитонов-ва [3] условия робастной устойчивости уравнения (6), а следовательно и заданные степени робастной устойчивости уравнения (1) приобрели вид системы достаточно громоздких неравенств.

Анализ показал, что задача синтеза параметров регулятора (авторулевого) может рассматриваться как задача нелинейного программирования с ограничениями в виде полученных неравенств [7]. Критерий оптимальности должен соответствовать максимальному либо заданному показателю степени устойчивости.

Решая эту задачу численным методом при заданном значении $\alpha = 0,004 \text{ с}^{-1}$, получаем следующие параметры робастного регулятора $k_d=0,7$, $k_p=0,5$, $k_i=0,0003$.

Некоторые результаты моделирования системы управления курсом судна с синтезированным регулятором приведены на графиках (Рис. 2 и 3).

Пунктиром показана область соответствующая переходным процессам с выбранной степенью устойчивости.

Численные эксперименты для приведённых и других параметров судна подтвердили, что синтезированная система управления курсом судна имеет гарантированное заданное качество при возможных вариациях параметров управляемости.

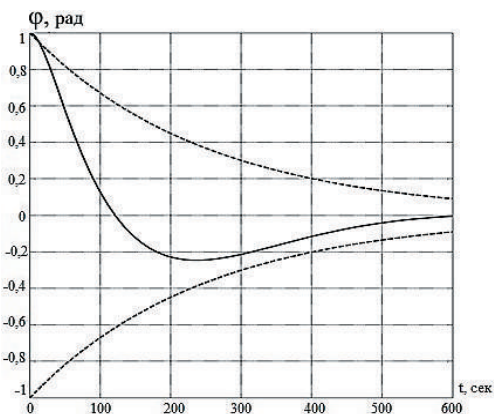


Рис. 2 Переходные процессы в робастной системе управления при $\sigma_{max}=8с$; $T_{1max}=12с$; $T_{2max}=12с$; $K_{cmin}=0,014с^{-1}$

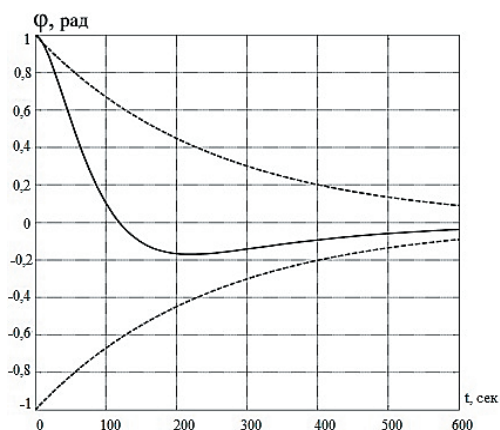


Рис. 3 Переходные процессы в робастной системе при $T_{0max}=5с$; $T_{1max}=22с$; $T_{2max}=3с$; $K_{cmin}=0,017с^{-1}$

Заключение

Особенность выбранного критерия качества состоит в том, что его большим значениям соответствуют быстрые переходные процессы, а также быстрые и значительные по величине переключения руля. Малым же значениям этого критерия соответствуют более медленные переходные процессы и меньшие углы переключения руля. Следовательно, для экономичного режима движения параметры системы управления курсом судна должны быть настроены по задаваемому судоводителем значению степени устойчивости α . Специфика настройки регулятора по критерию степени устойчивости заключается в следующем. Поскольку при увеличении скорости хода судна коэффициент поворотливости увеличивается, для сохранения заданной степени устойчивости коэффициенты передачи регулятора уменьшаются. Это ведёт к тому, что сигнал на выходе регулятора и, следовательно, угол переключения руля также уменьшаются, что способствует сохранению скорости хода. Для безопасного режима плавания настройка параметров системы управления курсом судна должна выполняться на основании критерия максимальной степени устойчивости α . Такая настройка, может быть сведена к решению задачи нелинейного программирования.

Проведённые исследования показали, что задача параметрического синтеза АР по критерию степени устойчивости сводится к оценке робастной устойчивости вспомогательной динамической системы.

Литература

1. Вагущенко Л. Л., Цымбал Н.Н. Системы автоматического управления движением судна.– 2-е изд., перераб. и доп. – Одесса: Латстар, 2002. – 310 с.
2. Дыда А. А. Адаптивное и нейросетевое управление сложными динамическими объектами /: Дальнаука, 2007. - 148 с.
3. Ким, Д. П. Теория автоматического управления. Т. 1. Линейные системы. – М: Физматлит, 2003. – 288 с.
4. Amerongen J. van Adaptive Steering of Ship: PhD thesis of Job van Amerongen., Delft University of Technology, 2005., P.156.
5. Оськин Д. А., Глазунов В. В., Воробьёва С. А. Анализ математических моделей морских судов для задач управления движением.// Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. 2010. Вып.1. С. 96-99.
6. Осокина Е. Б. Построение робастных систем управления курсом судна по критерию степени устойчивости // FEBRAT-15: сборник материалов одиннадцатой международной науч. практ. конф. Проблемы транспорта дальнего востока. – Владивосток: Мор. гос. ун-т. – 2015. – С. 55–57.
7. Дыда А. А., Осокина Е. Б., Дыда П. А. Оптимизация параметров робастного регулятора системы управления курсом судна // Вестник государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова. – 2016. – №3 (37). – С. 211–216.
8. Осокина Е. Б., Дыда А. А., Оськин Д. А., Константинова Е. А Синтез робастных регуляторов на основе степени устойчивости системы управления курсом судна // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2015. – вып. 2. – С. 106–109.
9. Пушкарев М. И., Гайворонский С. А. Синтез робастного регулятора по критерию максимальной степени устойчивости на основе интервальных коэффициентов характеристического полинома // Решетниковские чтения. – 2011. – Т. 2. – № 15. – С. 496–497.

References

1. Vagushchenko L. L., Tsymbal N.N. Sistemy avtomaticheskogo upravleniya dvizheniem sudna– 2-e izd., pererab. i dop. – Odessa: Latstar, 2002. – 310 s.
2. Dyda A. A. Adaptivnoe i neyrosetevoe upravlenie slozhnyimi dinamicheskimi ob"ektami /: Dal'nauka, 2007. - 148 s.
3. Kim, D. P. Teoriya avtomaticheskogo upravleniya. T. 1. Lineynye sistemy. – M: Fizmatlit, 2003. – 288 s.
4. Amerongen J. van Adaptive Steering of Ship: PhD thesis of Job van Amerongen., Delft University of Technology, 2005., P.156.
5. Os'kin D. A., Glazunov V. V., Vorob'jova S. A. Analiz matematicheskikh modelej morskikh sudov dlja zadach upravlenija dvizheniem.// Nauchnye problemy transporta Sibiri i Dal'nego Vostoka. 2010. Vyp.1. С. 96-99.
6. Osokina E. B.. Postroenie robustnykh sistem upravleniya kursom sudna po kriteriyu stepeni ustoychivosti // FEBRAT-15: sbornik materialov odin-nadtsatoy mezhdunarodnoy nauch. prakt. konf. Problemy transporta dal'nego vostoka. – Vladivo-stok: Mor. gos. un-t. – 2015. – S. 55–57.
7. Dyda A. A., Osokina E. B., Dyda P. A. Optimizatsiya parametrov robustnogo regulyatora sistemy upravleniya kursom sudna // Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova. – 2016. – №3 (37). – S. 211–216.
8. Osokina E. B., Dyda A. A., Os'kin D. A., Konstantinova E. A Sintez robustnykh regulyatorov na osnove stepeni ustoychivosti sistemy upravleniya kursom sudna // Nauchnye problemy transporta Sibiri i Dal'nego Vostoka. – 2015. – vyp. 2. – S. 106–109.
9. Pushkarev M. I., Gayvoronskiy S. A. Sintez robustnogo regulyatora po kriteriyu maksimal'noy stepeni ustoychivosti na osnove interval'nykh koeffitsientov kharakteristicheskogo polinoma // Reshetnikovskie chteniya. – 2011. – T. 2. – № 15. – S. 496–497.

УПРАВЛЕНИЕ В СОЦИАЛЬНЫХ И ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

УДК 656.078.89

**ОБЗОР ЗАРУБЕЖНЫХ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ
КОНКУРЕНЦИИ МОРСКИХ ПОРТОВ****Александр Анатольевич Луговец**

доктор экономических наук, доцент
профессор кафедры Управления морским транспортом
Морской государственной университет им. адм. Г.И. Невельского
690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, д.50 – а
е-мэйл: alal@list.ru

Сергей Михайлович Затепякин

соискатель кафедры Управления морским транспортом
Морской государственной университет им. адм. Г.И. Невельского
690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, д.50 – а
е-mail: s.zatopyakin@outlook.com

Виктория Феликсовна Рычкова

старший преподаватель кафедры Управления морским транспортом
Морской государственной университет им. адм. Г.И. Невельского
690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, д.50 – а
тел. 8 (423) 251-76-36, e-mail: rychkova@msun.ru

Аннотация

Сопернические отношения участников транспортного процесса являются одной из основных современных компонент развития отрасли. Конкуренция между предприятиями разрастается, приобретая новые формы, вовлекает в процесс пространственные структуры – морские порты. Межпортовая конкуренция имеет отличительную форму против внутрипортовой (корпоративной). В частности, история не знает случаев банкротства морского порта в результате жестокой конкуренции. Российские морские порты через участие в международном разделении труда находятся в соперничестве с зарубежными в поиске способов привлечения ограниченных мировых ресурсов (грузо-) пассажиропотоков, финансов. В течение 20 последних лет отраслевыми специалистами разрабатывались научные критерии и практические подходы к управлению драйверами конкурентоспособности морских портов. В связи со сложностью, динамичностью понятия, исследование межпортовой международной конкуренции продолжается в направлении усложнения методов моделирования. В настоящей статье представлено обзор систематизаций, методологий, разработанных зарубежными исследователями.

Ключевые слова: морские порты, межпортовая конкуренция, конкурентоспособность, методы моделирования, драйверы конкурентоспособности

**THE REVIEW OF INTERNATIONAL METHODS
OF THE STUDY OF COMPETITION BETWEEN SEAPORTS****Aleksandr Anatolievich Lugovets**

Associate professor, Dr. Sci. Economics,
Professor of department of Maritime transportation management
Maritime state university named Admiral G. Nevelskoy
50 – a, Verkhneportovaya st., 690059, Vladivostok, Russia
e-mail: alal@list.ru

Sergey Mikhailovich Zatepyakin

Applicant of Ph.D. of department of Maritime transportation management
Maritime State University named after admiral G.I. Nevelskoy
50A Verkhneportovaya Street, Vladivostok, 690003, Russia
e-mail: s.zatepyakin@outlook.com

Victoria Feliksovna Rychkova

Senior lecturer of department of Maritime transportation management
Maritime State University named after admiral G.I. Nevelskoy
50A Verkhneportovaya Street, Vladivostok, 690003, Russia
e-mail: rychkova@msun.ru

Abstract

The competitive relations between participants of transportation are a major component of the modern development of the maritime industry. Competition between companies has grown till to new spatial form – between sea ports. Inter-port competition has a distinctive shape against intra-port (corporate). We do not know any case of bankruptcy of sea ports anywhere. Russian sea ports are involved to international competitive process fighting for limited global resources - traffic (freight & passengers) and finance. Past 20 years, industry experts have developed scientific criteria and practical approaches to the management of the drivers of competitiveness of sea ports. Founded that complexity and dynamic characteristics of the competition concept forced to continue the study of international inter-port competition through complex approach to modeling method. In this journal article, we have made an overview of the systematization and methodologies developed by foreign researchers.

Keywords: *seaports, inter-port competition, competitiveness, modeling methods, drivers of competitiveness*

Введение

Современное функционирование морской транспортной отрасли России согласуется с множеством технических, технологических, экологических, социальных, институциональных, политических и других увязанных областей, из которых складывается понятие конкуренции.

В нашем исследовании мы отстранились от оценок конструктивности влияния конкуренции на отрасль. Установлено, что институт конкуренции российских субъектов существует (пусть и «политически вставленный» в перестроечный период экономики России) [1], и подстраивается в продолжающие последовательно развиваться зарубежные практики и теории рыночных отношений. Весомым основанием для обзора методологии конкурентных отношений на морском транспорте является научный и практический интерес к конкуренции, которая, являясь доминирующим аргументом развития морской транспортной отрасли России, по каким-то причинам не справляющейся в полной мере с ролью экономического ускорителя.

Морской порт традиционно являлся притягательной областью для концентрации транспортной инфраструктуры, привлекая конкурирующих участников торговых отношений. В своих работах мы обращались к теме эволюционного зарождения региональной межпортовой конкуренции на фоне традиционной внутрипортовой, (фактически межкорпоративной) конкуренции [2, 3]. Современный этап межпортовой конкуренции, во многом инициирован тенденциями контейнеризации, либерализации и глобализации, которые оказывают существенное влияние на организацию процессов по перемещению товарных ценностей и людских ресурсов. Современные структурные изменения экономики обусловили эволюцию транспортных структур до проявления региональной хозяйственной «кристаллизации» с вовлечением морских портов в новые логистические технологии. Термин «кристаллизация», как оформление отношений в портовом социально-экономическом регионе в структурированную систему, используется зарубежными исследователями как обобщающий термин процесса региона-

лизации. В трудах российских ученых он сводится к конкретной форме исследования кластерных моделей: Давыденко А.А. (2008, 2014, 2016); Кузнецов А.Л., Галин А.В., Кириченко А.В. (2016); Никулина С.В. (2011); Пухальский В.А. (2015); Фофанова А.Ю. (2010).

Нам известны исследования механизма соперничества между морскими регионами, объединяющими функционально и географически по несколько портов. Наиболее выразительно это проявляется в европейских портовых ренджах, в Азиатско-Тихоокеанском регионе. Согласно нашим наблюдениям, признаки такого морского регионального соперничества отмечаются и в Российской Федерации, например, интересы группы портов Приморского края Владивосток, Посыет, Находка соперничают с Хабаровскими краевыми портами (Ванино, Советская гавань). Такое соперничество было и в предшествующие времена, но только сейчас это явление оформилось в виде официально допустимого понятия конкуренция.

Уместно отметить, что, не смотря на терминологическую схожесть и «диффузию» понятийного аппарата, отечественные и зарубежные разработки имеют значительные отличия. Направим своё внимание на особенности зарубежных научных трудов в области систем моделирования межпортовой конкуренции. Прежде, чем приступить к решению этой задачи, оговоримся, что видим настоящую статью, в ряду ранее опубликованных нами и коллегами материалов, с целью способствовать сглаживанию различий в понимании предмета, терминологии и методологии, конвергенции.

1. Понятие портовой конкуренции

Понятие портовой конкуренции не имеет устойчивого значения в силу многофакторной природы этого явления. Авторы в своих исследованиях предпочитают генерировать свое определение, соответствующее их целям и задачам [4–8]. В общем случае, любое исследование конкуренции портов сводится к операциям их комплексного сравнения. Порты, в частности, можно сравнивать, создав исследовательский срез по их транспортной специализации (сухогрузные кон-

тейнерные или наливные) или по логистическому предназначению (локальный, транзитный, gateway-порт) [9, С. 550] или по другим признакам. Поскольку здесь мы ставим задачу рассмотреть обобщенное понятие межпортовой конкуренции, избежим здесь цитирования её авторских определений.

Согласно наиболее ранним систематизациям, конкуренцию между портами возможно представить по монографии Huybrechts, M., 2002 года, как явление, формирующееся под воздействием пяти основных групп факторов, цитируется согласно источнику [5, С. 4]:

1. Особенности рыночного спроса потребителя транспортных услуг (the specific demand from consumers, здесь и далее мы используем понятийный перевод, предоставляя и оригинальный вариант термина/ понятия);

2. Особенности свойств, предоставляемого на рынок продукта (the specific factors of production);

3. Вспомогательные структуры, сопровождающие деятельность оператора (the supporting industries connected with each operator);

4. Конкретная компетенция каждого субъекта-оператора и его соперника (the specific competencies of each operator and their rivals);

5. Структура портовых властей и других публичных органов (the structure of port authorities and other public bodies).

Ради справедливости, упомянем о наличии более ранней систематизации (Fleming and Baird, 1999, p. 389) цитируем работе [10, С. 52]

Со временем, группы факторов переосмысливаются уже другими авторами, и представляются как детерминанты портовой конкурентоспособности [11, С. 408]:

1. Уровень эффективности портовых или терминальных операций (port, terminal, operation efficiency level).

2. Стоимость обработки груза в порту (port cargo handling charges).

3. Надежность (reliability).

4. Селективная деятельность клиентов портов, приводящая к включению (исключению) их в схемы доставки (port selection preferences of carriers and shippers).

5. Возможности подходящих морских путей (the depth of the navigation channel).

6. Способность портовых администраций выработать решения, отвечающие изменчивым (конъюнктурным) требованиям клиентов (судовладельцев, операторов, грузовладельцев, adaptability to the changing market environment).

7. Эффективная сопряженность наземных транспортных структур, не сдерживающая возможности морской транспортной составляющей (landside accessibility).

8. Устойчивая эксплуатация в портах уникальных систем (информационных, либо обеспечивающих качество обслуживания клиентов, product differentiation).

Как мы уже здесь указывали, первоначальный интерес к исследованию межпортовой конку-

ренции был незначительным и соответствовал слабой силе её воздействия на перераспределение ресурсов на рынке. Модель поведения порта, того периода, как правило, соответствовала его транспортным функциям и задачам, с учетом признаков региональной монополии или национальной олигополии. Преимущества порта оценивались по выгоде, получаемой от естественных условий его местоположения, подходящих морских путей и концентрации в порту естественных морских грузопотоков [7, С. 50], т.е. на понятиях, описываемых концепцию «товародвижения».

Эволюционный период с 1950 по 2017 годы сопровождался совершенствованием методологического аппарата для решения прикладных задач на транспорте, благодаря которому найдены интересные решения на стыке экономических и технических наук по направлениям стратегического планирования, информационного обслуживания, маркетинга, финансового менеджмента, логистики на транспорте, в частности в управлении работой флота, портами. Уместно отметить, что перечисленные здесь обретенные свойства портов, вынуждали вносить изменения в определение морского порта, на чём мы более подробно уже останавливались в [13].

По этим же причинам, происходит переосмысленное дополнение факторов, формирующих предпочтительность порта, которая, применительно к контейнерному морскому порту, состояла из следующих элементов [9, С. 552]:

– Преимущества расположения по отношению к ключевым центрам производства и потребления, а также по отношению к морским торговым путям;

– Обладание превосходящей морской и сухопутной (со стороны «хинтерленд» территории) доступностью и превосходство в связях с рынками;

– Способность снизить издержки клиентов порта посредством более высокой производительности;

– Способность в переговорном процессе убедить перевозчиков и грузовладельцев закрепить свои маршруты через порт;

– Потенциальная возможность морского порта удовлетворить возникшую потребность клиента в приросте производительности, вследствие роста товарной конъюнктуры;

– Возможность порта предоставить его клиентам эффективно конкурировать с видами транспорта, альтернативными морскому;

– Способность порта удовлетворить растущие запросы бизнес-среды к современным логистическим услугам;

– Способность капитализации выгод и усиливающего эффекта от портового кластера (если таковой проявляет свои свойства);

– Характеристика большей активности частного капитала на уровне деятельности грузовых терминалов, находящихся в частной собственности;

– Ситуация, когда деятельность морского порта воспринимается местными экономическими

субъектами как ключевой фактор локального развития;

– Наличие долгосрочных традиций поддержки порта со стороны заинтересованных сторон, стейкхолдеров.

2. Методы моделирования межпортовой конкуренции

Чрезвычайно интересной работой, на обозначенную нами тему, является недавняя коллективная работа, список исполнителей которой возглавляют F. Parola и M. Risitano, где приводится предметный, факторный анализ и анализ цитирования 170 академических исследований в области конкуренции и конкурентоспособности морских портов. В частности, в этой работе показаны предпочтения в выборе методов исследования, которые распределились (приводим здесь в порядке убывающей последовательности) [8, С. 47]:

- эконометрика (23,9%);
- причинный анализ (21,7%);
- моделирование методами имитации исследования операций (19,6%);
- описательная статистика (10,9%);
- многовариантный статистический анализ (8,7%);
- контекстный анализ (6,5%);
- обзор источников (4,3%);
- полевые исследования (4,3%).

Группа факторов, которая не поддается измерениям, но существенно при характеристике явления, может подвергаться методам дескриптивного анализа [9, 14], дихотомического деления, либо уходить в область поведенческого анализа [4, С. 229].

3. Драйверы конкурентоспособности

Основной задачей исследования конкурентных отношений морских портов зарубежными исследователями является структурный анализ межпортовых отношений с целью выделения групп факторов, по которым можно произвести парные сравнения или соотнесение региональных портовых структур (кластеров) [6, 15]. Каждый фактор, по сути качественный или количественный показатель, исполняет роль своеобразного «драйвера» конкуренции, т.е. представляет собой элемент, управление которым влияет на выборочную способность порта, его потребительскую стоимость на рынке услуг, инвестиций [16, С. 169]. Иными словами, улучшение фактора, параметра должно способствовать приращению свойств из-за которых порт может быть выбран, например, линейным судовладельцем [17, 18], продавцом или покупателем контракта купли-продажи, форвадерской компанией (NVOCC), инвестором, любым иным субъектом портового рынка, вовлеченным в портовый бизнес прямо или косвенно.

Отметим, что сама по себе задача выделения обоснованного набора драйверов рынка, а затем мониторинг их состава для сравниваемой выборки региональных морских портов является само-

стоятельной научной задачей. Последующая задача исследователя состоит в мониторинге видоизменения фактора-драйвера, веса его влияния на конкурентоспособность порта. В итоге, исследователь получает возможность представить убедительную презентацию, обосновывающую выводы о конкурентоспособности порта и трендах её формирующих, для принятия адресного решения субъектом портового рынка.

Приведенный далее перечень драйверов (см. Таблицу) показывает распределение исследовательских приоритетов [8, С. 48–49] (приводится в порядке убывания рейтинга частоты цитирования):

Попытка обобщить все факторы, являющиеся существенными при описании конкуренции позволяет подойти к теоретической возможности создания их перечня в неупорядоченном «облаке» в виде универсального множества. Особенность такого множества состоит в неустойчивости из-за воздействия на него эндогенных и экзогенных, количественных и качественных факторов. Множество имеет свойство изменения, расширения, наполнения новыми драйверами. Такое замечание дает повод в [4, с. 226] классифицировать межпортовую конкуренцию как «динамическую концепцию».

Конкурентные факторы межпортовых отношений, которые могут быть измерены и представлены к сравнению в количественной, цифровой форме (показатель, индекс), могут подвергаться исследованию следующими математическими методами (составлено на основе [9, с. 553–554] с нашими дополнениями – прим. авторов):

- Целочисленное линейное программирование (integer linear programming);
- Динамическое программирование (dynamic programming);
- Метод аналитической иерархии (the analytical hierarchy process);
- Метод анализа стохастических границ (stochastic frontier analysis);
- Метод охвата данных (data envelopment analysis);
- Логит-модель (метод логистической регрессии, the logit model);
- Модель структурного уравнения (the structural equation model);
- Тест на коинтеграцию и моделирование коррекции ошибок (the cointegration test and error correction model - ECM);
- Модель транспортных издержек (the transport cost model);
- Модель спроса на транспортные услуги (the transport demand model);
- Кластерный анализ (cluster analysis);
- Анализ сетей доставки (shipping networks);
- Метод моделирования олигополии (the oligopolistic model);
- Метод теории игр (game theoretical analysis).

Таблица

Перечень драйверов распределения приоритетов

Группа методов исследования	Показатель цитирования	Комментарий
1. Анализ портовых издержек	537	Исследуются прямые портовые расходы клиента морского порта, представленные в виде портовых сборов и плат, а также стивидорные расходы и за хранение грузов. Отдельно анализируется группа не прямых расходов, зависящих от длительности стоянки судна в порту.
2. Анализ близости к хинтерленд территории (Hinterland proximity)	446	Оценивается географическая близость хинтерленд территорий, обслуживаемых исследуемыми портами-конкурентами. При этом рассматриваются как локальные территории, непосредственно находящиеся в зоне влияния порта, так и удаленные, спорные (в качестве источника зарождения грузооборота) для рассматриваемого порта производственные зоны.
3. Анализ доступности к хинтерленд территории (Hinterland connectivity)	455	Эффективность наземных транспортных сетей, соединяющих порт с хинтерленд-территориями
4. Географическое местоположение порта	483	Положение порта в пространстве рассматривается в связи со сложившимися морскими путями, наземными центрами зарождения грузопотоков и транспортной инфраструктурой, логистическими центрами, потребительскими рынками, населенных центров и других пространственных факторов, оказывающих влияние на деятельность порта.
5. Анализ состояния портовой инфраструктуры	367	Оценивается фактор конкурентоспособности порта в связи с уже имеемым состоянием оборудованием порта – количество и качество причальных стенок, пирсов, оградительных сооружений в виде молов, волноломов, операционных площадок. Состояние оборудования оценивается как с точки зрения приспособленности для целей их пользователей, так и соблюдения экологических критериев.
6. Исследование эксплуатационной (операционной) эффективности	366	Способность порта обеспечить эффективное использование имеемых ресурсов в целях обеспечения судооборота, условий ожидания очереди разгрузки судов в случае перегруженности порта, производительность грузовых операций и других показателей.
7. Качество портового обслуживания	190	Позлементно исследуется качество всего портового оборудования и услуг, зачастую с постановкой их в сравнение с соответствующим элементом портов-конкурентов.
8. Анализ сопряженности (доступности) морских сетей (maritime connectivity)	273	Эффективность судоходных транспортных сетей оценивается через показатели протяженности морских путей и их экономичность.
9. Морская доступность	165	Оценивается возможность порта размещать на своей акватории крупные суда в любое время, независимо от приливо-отливных явлений и состояния погоды.
10. Анализ композиционных возможностей порта (port site)	112	Исследуется портовое пространство с целью определения компоновки операционных и общих территорий с оценкой их потребительной ценности для клиентов порта.
11. Ценовая политика в отношении пользования автомобильными дорогами	39	
12. Стратегия портовых властей, возможность порта расширяться территориально и интегрироваться в систему цепочек поставки, экологическое состояние, актуальность проблем режимов коллективных действий в портовом кластере (collective action regimes)	30	Действия местных властей, возможность экономии денежных средств на масштабе деятельности, надежность порта, цена и качество бункерного обслуживания.
13. Возможность подключения фидерного обслуживания, степень приватизации в порту, ставки фрахта и тарифы, эффективность таможенных процедур, возможности информационно-компьютерных систем, наземные логистические центры и транспортная инфраструктура, институциональная среда, внутривортовая конкуренция, перспективы роста спроса на портовые услуги	20	Комплекс исследования линейных перевозок (стоимостных, логистических и информационных аспектов), ценовых факторов трампового судоходства, рыночные прогнозы.

Окончание таблицы

Группа методов исследования	Показатель цитирования	Комментарий
14. Межпортовая кооперация, межорганизационные отношения, портовая суперструктура (suprastructure), наличие систем шлюзования для систем река-море, местные инвестиции в логистику, объемы морских грузов, внутренние транспортные расходы, развитие логистических кластеров, перегруженность портов судозаходами, приводящими к простоям судов в ожидании грузовых операций	11	Внешние, по отношению к порту, процессы (организационные и финансовые)

4. Современные тренды

Идея относиться к явлению межпортовой конкуренции как к динамическому явлению, удачно иллюстрируется существованием новых трендов в морской индустрии, [8, с. 50], которые обобщены как ультрасовременные тенденции:

А) Экономия на масштабе в судоходстве. Требуется решения проблем синхронизации морских и наземных грузовых операций; наличия специализированных грузовых терминалов, обеспечивающих стабильную грузовую базу; согласованные расписания действия береговых инфраструктур и наземных связей, сухих портов; проактивную стратегию именно администраций морских портов по развитию хинтерленд-территорий.

Деятельность в этом секторе, на взгляд зарубежных исследователей, приводит к позитивному изменению следующих драйверов конкурентоспособности: портовые издержки, сопряженность с хинтерленд территориями, эксплуатационная эффективность, морская доступность, состояние портовых инфраструктур, расширение порта, объемы перерабатываемых морских грузов (посредством специализированных грузовых терминалов), прочее. Б) Изменения в управлении. Смещение системы управления порта, структуры Портовой администрации, в направлении «менеджеризации» (подробно рассматривается в [19]; на наш взгляд, применение этого термина равносильно использованию «корпоризации» – примеч. авторов); гибкие и последовательные (когерентные) институциональные перемены; проактивность в области выработки стратегии портовых властей; открытость рынков и портовая селекция конкурентоспособных частных инвесторов. И вновь драйверы конкурентоспособности: стратегии портовых администраций, развитие межорганизационных отношений в порту [4], портовая инфраструктура, сопряжение с хинтерленд территориями, управление на уровне местных властей, необходимые изменения в институциональной среде, управление степенью институционации, учет фактора внутрипортовой конкуренцией.

В) Кооперация близлежащих портов. Оптимизация степени конкуренции за привлечение клиентов и инвесторов; разработка совместных научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, экологических проблем,

безопасности и охраны, наземных инфраструктур; совместный маркетинг и согласованные коммуникации; лоббирование правительственных (местных и федеральных) институтов.

Драйверы: межпортовая кооперация, местные правительственные органы, институциональная среда, экономия на масштабе, сопряжение с хинтерленд-территориями, инвестиции в сухопутную логистику, информационно-компьютерные технологии, стратегии портовых администраций. В исследовании [17, С. 41–44] указывается на двойную природу возможных отношений взаимно заинтересованных портов, которые могут быть соперническими или комплементарными. Во втором случае, парные отношения отводили порту роль «донора» или «реципиента». Отношения же соперничающих портов не заканчиваются констатацией победы одного из них. В скором времени проигравший может быть вовлечен в орбиту развития порта-победителя [20] – примеч. авторов)

Г) Внутрикорпоративные связи. Рыночная власть клиента и пользователя (определяется как возможность продавца или покупателя оказывать влияние на ценообразование, тарифную политику – примеч. авторов), возможности влияния международных портовых организаций на долгосрочные перспективы развития портов и стратегические решения; взаимосвязи между национальными и иностранными стейкхолдерами и интенсивность конфликтов между ними. Драйверы: портовые издержки, инфраструктура, качество сервиса, эксплуатационная эффективность, стратегия портовых властей, межорганизационные связи, степень приватизации, развитость портовых территорий.

Д) Постановки решения экологических проблем и устойчивость в решении поставленных задач. Соблюдение международных экологических норм; инновационный подход в развитии экологических процессов и оборудования; устойчивое портовое планирование; гармоничное взаимодействие системы «город-порт», социальная стабильность и консенсус социальных структур; сохранение имиджа порта и его репутации. Драйверы: экологические проблемы, портовые инфраструктуры, территории, стратегии портовых властей и местного самоуправления.

Заключение

В качестве объективной стороны нашего исследования обратим внимание не только на показатель количественного «проигрыша» отечественных исследований. Напрашивается вывод об отличии взглядов на предмет в связи с «когнитивными» различиями отечественной и зарубежных исследовательских школ. Этот вывод не означает для нас неверность отечественных подходов, скорее свидетельствует о предстоящей конвергенции подходов. Однако, с другой стороны, нынешнее положение, когда зарубежные авторы практически не цитируют российские исследовательские работы, свидетельствуют о возможной несимметричной конвергенции.

Различие в подходах школ к исследованиям имеет большой диапазон и колеблется от несоответствия использованных терминов, набора выбираемых в модели факторов-драйверов, до предлагаемых методов управления конкурентоспособностью портов. Обращает внимание тенденция склонения зарубежных разработок последних 15 лет в пользу междисциплинарных исследований, когда технические, экономические, организационные, маркетинговые, финансовые, социальные, экологические, правовые и другие вопросы (модели) стремятся объединиться в одном комплексе. Понятно, что такая тенденция не

затрагивает «моно-модели», где автор «назначает» какой-либо вычисляемый показатель в качестве индикатора конкурентоспособности, рассматривая конкретную область, скажем, логистическую оптимизацию.

Мы являемся активными свидетелями непрерывного процесса совершенствования и усложнения бизнес-моделей на транспорте в ответ на запросы меняющегося внешнего мира. Для нас очевидна потребность разработки схем комплексного взаимодействия факторов во времени и пространстве, для формирования представления о результирующем эволюционном векторе. Знание актуального вектора комплексного развития порта (региональной группы портов) необходимо «подкладывать» под новые государственные решения в области федеральной и региональной транспортной политики, направленные на повышение конкурентоспособности российских портов. Таким образом, систематизация накопленного международного и национального опыта развития портовой деятельности, управления портами и портовой инфраструктурой позволяет найти решение для формирования оптимальной модели свободного российского порта, которая позволит получить мультипликативный эффект от совокупности конкурентных преимуществ.

Литература

1. Персианов В.А. Почему не работает конкуренция? // Транспорт России. Москва, 2009. С. 3.
2. Луговец А.А., Затепакин С.М. Коэволюция дальневосточных морских портов России в Азиатско-Тихоокеанском регионе // Морские интеллектуальные технологии. 2016. Т. 1, № 3 (33). С. 333–338.
3. Луговец А.А., Фисенко А.И. Трансформация экономических интересов и перспективы развития морских портов Дальнего Востока // Морские интеллектуальные технологии. 2016. Т. 1, № 3 (33). С. 360–366.
4. Meersman H. (Department of T. and R.E., Voorde E. Van de, Vanelslander T. Port Competition Revisited // Port Congest. 2010. № 2. С. 210–232.
5. Aaby B.C. An analysis of Shipping Line selection criteria when choosing European Container Terminals // Molde University College. 2012. 77 с.
6. Haezendonck E. и др. The competitive advantage of seaports // Int. J. Marit. Econ. 2000. Т. 2, № 2. С. 69–82.
7. Sanghyun C. World Port Institutions and Productivity: Roles of Ownership, Corporate Structure, and Inter-port Competition. University of California, Berkeley, 2007. 363 с.
8. Parola F. и др. The drivers of port competitiveness: A critical review // Transp. Rev. 2016. С. 1–45.
9. Notteboom T.E. и др. Port Competition and Competitiveness // Blackwell Companion to Marit. Econ. 2012. С. 549–570.
10. Yeo G.-T. Port competitiveness in north-east Asia: an integrated fuzzy approach to expert evaluations. Plymouth Business School, 2007. 318 с.
11. Yeo G.-T., Song D.-W. An Application of the Hierarchical Fuzzy Process to Container Port Competition: Policy and Strategic Implications // Transportation (Amst). Kluwer Academic Publishers, 2006. Т. 33, № 4. С. 409–422.
12. Seiler T. Operative Transportation Planning: Solutions in Consumer Goods Supply Chains. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2012. 220 с.
13. Друзь И.Б., Затепакин С.М. К моделированию рыночного развития региональных морских портов Дальнего Востока Российской Федерации // Транспортное дело России. 2015. Т. 6 (121). С. 214–217.
14. Šekularac-ivošević S., Sanja B., Gligorijević M. Combining the concepts of benchmarking and matrix game in marketing (re)positioning of seaports // Promet – Traffic&Transportation. 2013. Т. 25, № 5. С. 431–443.

15. Siu Lee Lam J., Zhang W. Analysis on Development Interplay between Port and Maritime Cluster [Электронный ресурс] // Analysis. 2011. С. 1–36.
URL: <http://www.fas.nus.edu.sg/ecs/events/pe2011/Lam.pdf> (дата обращения: 01.12.2016)
16. Heather L., McConville J., Morvillo A. International Maritime Transport. Perspectives. / под ред. Leggate H., McConville J., Morvillo A. London and New York, 2005. 281 с.
17. Yap W.Y., Lam J.S.L. Competition dynamics between container ports in East Asia // Transp. Res. Part A Policy Pract. 2006. Т. 40, № 1. С. 35–51.
18. Hoshino H. Competition and Collaboration among Container Ports // Asian J. Shipp. Logist. 2010. Т. 26, № 1. С. 31–47.
19. Sanghyun C. The Productive Efficiency of Ports: Lessons from the Pacific Rim Seaport 's Corporatization and Strategic Management // Working Paper 2007-03 Institute of Urban and Regional Development University of California. 2007. 10 с.
20. Notteboom T.E., Rodrigue J.-P. Port regionalization: towards a new phase in port development [Электронный ресурс] // Maritime Policy & Management. 2005. Т. 32, № 3. С. 297–313. URL: http://people.hofstra.edu/jean-paul_rodrigue/downloads/Notteboom-Rodrigue-Regionalization.pdf (дата обращения: 11.11.2014).

References

1. Persianov, V. A. (2009) 'Pochemu ne rabotaet konkurenciya?', Transport Rossii, p. 3. Druz', I. B. and Zatepyakin, S. M. (2015) 'K modelirovaniyu rynochnogo razvitiya regional'nyh morskikh portov Dal'nego Vostoka Rossijskoj Federacii', Transportnoe delo Rossii, 6 (121), pp. 214–217.
2. Lugovec, A. A. and Zatepyakin, S. M. (2016) 'Koehvoluciya dal'nevostochnyh morskikh portov Rossii v Aziatsko-Tihookeanskom regione', Morskie intellektual'nye tekhnologii, 1(3 (33)), pp. 333–338
http://morintex.ru/wp-content/files_mf/1474867500MITVOL33NO3PART12016.pdf (Accessed: 25 September 2016).
3. Lugovec, A. A. and Fisenko, A. I. (2016) 'Transformaciya ehkonomicheskikh interesov i perspektivy razvitiya morskikh portov Dal'nego Vostoka', Morskie intellektual'nye tekhnologii, 1(3 (33)), pp. 360–366. Available at: <file:///C:/Users/Sergey/Downloads/MIT-VOL-33-N0-3-PART-1-2016.pdf>.
4. Meersman, H. (Department of T. and R. E., Voorde, E. Van de and Vanelslander, T. (2010) 'Port Competition Revisited', Port Congestion, (2), pp. 210–232
www.vliz.be/imisdocs/publications/248321.pdf
www.vliz.be/imisdocs/publications/248321.pdf.
5. Aaby, B. C. (2012) An analysis of Shipping Line selection criteria when choosing European Container Terminals, Molde University College.
https://brage.bibsys.no/xmlui/bitstream/handle/11250/153616/master_aaby.pdf?sequence=1
6. Haezendonck, E., Pison, G., Rousseeuw, P., Struyf, A. and Verbeke, A. (2000) 'The competitive advantage of seaports', International Journal of Maritime Economics, 2(2), pp. 69–82.
7. Sanghyun, C. (2007b) World Port Institutions and Productivity: Roles of Ownership, Corporate Structure, and Inter-port Competition. University of California, Berkeley.
<http://escholarship.org/uc/item/7t64h5wr> (Accessed: 9 August 2016).
8. Parola, F., Risitano, M., Ferretti, M. and Panetti, E. (2016) 'The drivers of port competitiveness: A critical review', Transport Reviews, pp. 1–45. doi: 10.1080/01441647.2016.1231232.
9. Notteboom, T. E., Yap, W. Y. (2012) 'Port Competition and Competitiveness', The Blackwell Companion to Maritime Economics, pp. 549–570. doi: 10.1002/9781444345667.ch27.
10. Yeo, G.-T. (2007) Port competitiveness in north-east Asia: an integrated fuzzy approach to expert evaluations. Plymouth Business School
<https://core.ac.uk/download/pdf/29816610.pdf> (Accessed: 27 March 2017).
11. Yeo, G.-T. and Song, D.-W. (2006) 'An Application of the Hierarchical Fuzzy Process to Container Port Competition: Policy and Strategic Implications', Transportation. Kluwer Academic Publishers, 33(4), pp. 409–422. doi: 10.1007/s11116-005-6000-4.
12. Seiler, T. (2012) Operative Transportation Planning: Solutions in Consumer Goods Supply Chains. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag. doi: 10.1007/978-3-7908-2792-7.
13. Druz', I. B. and Zatepyakin, S. M. (2015) 'K modelirovaniyu rynochnogo razvitiya regional'nyh morskikh portov Dal'nego Vostoka Rossijskoj Federacii', Transportnoe delo Rossii, 6 (121), pp. 214–217.
14. ŠEKULARAC-IVOŠEVIĆ, S., SANJA, B. and GLIGORIJEVIĆ, M. (2013) 'Combining the concepts of benchmarking and matrix game in marketing (re)positioning of seaports', Promet – Traffic&Transportation, 25(5), pp. 431–443
<file:///C:/Users/Sergey/Downloads/336-3569-1-PB.pdf> (Accessed: 5 September 2016).
15. Siu Lee Lam, J. and Zhang, W. (2011) Analysis on Development Interplay between Port and Maritime Cluster, Analysis
<http://www.fas.nus.edu.sg/ecs/events/pe2011/Lam.pdf> (Accessed: 1 December 2016).

16. Heather, L., McConville, J. and Morvillo, A. (2005) *International Maritime Transport. Perspectives*. Edited by H. Leggate, J. McConville, and A. Morvillo. London and New York.
17. Yap, W. Y. and Lam, J. S. L. (2006) 'Competition dynamics between container ports in East Asia', *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 40(1), pp. 35–51. doi: 10.1016/j.tra.2005.03.001.
18. Hoshino, H. (2010) 'Competition and Collaboration among Container Ports', *The Asian Journal of Shipping and Logistics*, 26(1), pp. 31–47. doi: 10.1016/S2092-5212(10)80010-0.
19. Sanghyun, C. (2007a) *The Productive Efficiency of Ports : Lessons from the Pacific Rim Seaport ' s Corporatization and Strategic Management*, Working Paper 2007-03 Institute of Urban and Regional Development University of California
<http://www.escholarship.org/uc/item/8qc1m3bq> (Accessed: 9 December 2016).
20. Notteboom, T. E. and Rodrigue, J.-P. (2005) *Port regionalization: towards a new phase in port development*, *Maritime Policy & Management*. doi: 10.1080/03088830500139885.

УДК 656.078.89

ОПИСАНИЕ МЕЖПОРТОВОЙ РЕГИОНАЛЬНОЙ КОНКУРЕНЦИИ МЕТОДОМ ТЕОРИИ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ

Александр Анатольевич Луговец

доктор экономических наук, доцент
профессор кафедры Управления морским транспортом
Морской государственной университет им. адм. Г.И. Невельского
690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, д.50 – а
е-мэйл: alal@list.ru

Сергей Михайлович Затепакин

соискатель кафедры Управления морским транспортом
Морской государственной университет им. адм. Г.И. Невельского
690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, д.50 – а
e-mail: s.zatepyakin@outlook.com

Виктория Феликсовна Рычкова

старший преподаватель кафедры Управления морским транспортом
Морской государственной университет им. адм. Г.И. Невельского
690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, д.50 – а
тел. 8 (423) 251-76-36, e-mail: rychkova@msun.ru

Аннотация

Российский морской порт Тихоокеанского региона представляется опорным инфраструктурным элементом, пространственным операционным базисом экономического национального развития Дальнего Востока. Современное развитие порта происходит под влиянием государства, региональных и внутривортовых процессов. Внутренние побудительные механизмы развития современных региональных портов реализуются в рыночном соревновательном процессе. Конкуренция, определенная как ключевой фактор современного способа развития российской экономики, нечетко определена для морских портов, как субъектов национальных и международных рыночных отношений. Развитие современного представления о межпортовой конкуренции в отечественной и зарубежной науке происходит в направлении комплексного, междисциплинарного подходов. В статье предлагается преодолеть ситуацию нечеткости и неопределенности, возникающих при изучении явления конкуренции и состояния конкурентоспособности морского порта, посредством применения математического описания нечетких множеств и операций с ними. Моделирование межпортовых отношений названным методом дает возможность формально описать, определить конкуренцию и конкурентоспособность. Описание рыночных отношений портов предоставляет возможность углубления их математического представления, цифрового моделирования, ранжирования портов, мониторинга конкуренции, иными словами, гибко управлять как дальнейшими исследованиями, так и практическими подходами к явлению конкуренции.

Ключевые слова: *российские региональные морские порты, межпортовая конкуренция, конкурентоспособность, международная конкуренция, Азиатско-Тихоокеанский регион, моделирование, нечеткие множества*

THE APPLICATION OF THE FUZZY PROCESS TO INTER-PORT REGIONAL COMPETITION MODELLING

Aleksandr Anatolievich Lugovets

Associate professor, Dr. Sci. Economics,
Professor of department of Maritime transportation management
Maritime state university named Admiral G. Nevelskoy
50 – a, Verkhneportovaya st., 690059, Vladivostok, Russia
e-mail: alal@list.ru

Sergey Mikhailovich Zatepyakin

Applicant of Ph.D. of department of Maritime transportation management
Maritime State University named after admiral G.I. Nevelskoy
50A Verkhneportovaya Street, Vladivostok, 690003, Russia
e-mail: s.zatepyakin@outlook.com

Victoria Feliksovna Rychkova

Senior lecturer of department of Maritime transportation management
Maritime State University named after admiral G.I. Nevelskoy
50A Verkhneportovaya Street, Vladivostok, 690003, Russia
e-mail: rychkova@msun.ru

Abstract

Pacific regional Russian sea port is the predominant contributor to facilitate international trade and the operational spatial basis of socio-economic development of the Russia Far East. Modern port development is influenced by state, regional and intra-port processes. Competition is internal incentive mechanism of the development of regional ports. Although competition is defined as the key factor of modern evolution of the Russian economy, it not clearly defined for the seaport case every which is a subject of national and international market relations. One of the modern idea of inter-port competition investigation in Russian and international studies based on complex approach. We propose to solve a problem of uncertainty and immeasurability factors, when describe the phenomenon of competition of the seaport, through mathematical description of fuzzy sets and operations with sets. Such modeling of inter-port relations by the picked method bring to us an opportunity to define competition and competitiveness by formal and word forms. The description of market ports' relations provides an opportunity to deep the mathematical representation of the phenomenon, digital modeling, ports ranking, and competition monitoring, by the another words, to manage flexible by further investigation and practical approach.

Keywords: *Russian regional seaports, inter-port competition, competitiveness, international competition, Asia-Pacific region, simulation, fuzzy sets*

Введение

Порт является основным фактором, преобладающей обеспеченности международной торговли [1, С. 59]). Российский Азиатско-Тихоокеанский порт - опорным инфраструктурным элементом регионального развития Дальнего Востока России.

Более 20-ти лет назад произошла смена бизнес-модели национальных портов, целью которой было ускоренное сближение алгоритма развития с международными рыночными механизмами. Этот исторический период более чем достаточен, чтобы убедиться в рациональности выбора и ответить на новые вопросы в отношении национальной морской региональной перспективы.

Какая-то часть механизмов современного регулирования регионального портового хозяйства должна реализовываться посредством явления рыночной конкуренции. В привычной для российского исследователя манере, это явление можно характеризовать как «стихийную» среду, задача которой - обеспечивать саморегулирование в системе портов как субъектов рынка. Другая часть регуляторного воздействия на портовые комплексы происходит в условиях точечного воздействия государства (имеющего целевой, программный, плановый характер) с целью способствовать созданию их конкурентоспособности и институционального воздействия государства, также являющегося субъектом рыночных отношений.

Позволим себе подметить, что мысль о влиянии государства и рынка на экономику отрасли принадлежит отнюдь не нам. Нас такое утверждение вновь возвращает на позицию наших же выводов о том, что если мы продолжаем видеть в конкуренции действенную среду, создающую новые виды портовых продуктов, инновации [3, с. 8, 16], то мы, между этими обязательными компонентами (государственным управлением и само-

регулируемой средой), должны установить существование «разумного» соотношения [4, С. 9]. Призываем согласиться, что задача оптимизировать соотношение между двумя исключительностями: планом и «стихийей» - системная научная задача. Совершим важную оговорку, что совершенно не имеем цель вложить отталкивающий смысл, охарактеризовав конкурентное соперничество термином «стихия». Мы видим, что система рынков и цен продолжительно функционирует и согласна с тем, что по этой причине система является «чем угодно, но не системой хаоса и анархии» [5, С. 21]. Таким образом, термин «стихия» для нас остаётся своеобразным историческим маркером.

Казалось бы, достаточно обратиться к колоссальному опыту и методологии, выработанным специалистами-рыночниками, чтобы адаптироваться, «вписаться» в национальную отраслевую систему рыночных отношений. Однако уже только при первой попытке следовать таким путём, испытываем состояние неопределённости, столкнувшись с дискуссионным научным диапазоном от позиции что «... термин конкурентоспособность достаточно широко известен в мировой экономической науке и вряд ли нуждается в специальном определении...» до утверждения, что «...важнейшие аспекты конкуренции... в настоящий момент не имеют чёткого определения при наличии многолетней истории теории конкуренции. ... Отсутствие систематизированного современного представления обо всех аспектах конкуренции ведёт к неправильному пониманию её механизмов.» [3, С. 93].

Феномен, на который мы обращаем внимание, состоит и в том, понятийные нечёткости при использовании термина конкурентоспособность разные авторы вынуждены преодолевать, давая своё определение термину, вписывая его в рас-

смаатриваемую систему. Эта ситуация относится и к научным и к практическим ситуациям. Так, при терминологическом анализе взятого нами произвольно для примера нормативного правительственного документа «Концепция долгосрочного социально-экономического развития РФ на период до 2020 года» видно, что задача повышения конкурентоспособности уже поставлена. Термин «конкурентоспособность» используется в Постановлении в 94-х случаях, из которых 24 - прямо или косвенно применительно к морским транспорту и его инфраструктуре.

Концепция обращается к конкурентоспособности национальной транспортной системы в 9 случаях: через термин «ведущая отрасль» транспортная отрасль подразумевается в 2-х случаях; при упоминании туризма – 1; образования – 1; вопросов экологии – 2; судостроения – 5; национального и регионального хозяйства – 4 (подсчитано нами – примеч. авторов)

Правительственная Концепция избегает неопределенности, ограничивая применение термина «создание конкурентности» российской транспортной системы улучшением эксплуатационных параметров транспортировки: «сокращение времени доставки, снижение транспортных издержек, уменьшение рисков и контроль за движением груза на протяжении всего пути» [6]. Таким образом, государство выставляет ориентиры, которые совершенствуют эксплуатационные параметры транспортной системы (куда преобладают морские порты), за чем следуют меры точечного воздействия, стимулирующие изменение параметров-ориентиров. Несомненно, что в системе показателей отчетных документов эти параметры отклонятся в благоприятную сторону. Остается вопрос: каким образом «стихийный» рынок исполняет свою функцию саморегулятора и инноватора?

На наш взгляд, описанный пример является случаем упрощения представления о конкуренции и конкурентоспособности. В этом своем убеждении мы становимся в ряд исследователей со сложным комплексным воззрением на механизм конкуренции.

1. Конкуренция – переход от линейного к сложному представлению

Взгляды исследователей конкуренции эволюционируют от описательных, интуитивных методов к вычислительным линейным алгоритмам, а далее к современной тенденции - к комплексным методам и усложнению вычислительных моделей.

Такие алгоритмы ещё обозначаются как «простые» методы, которые на самом деле нельзя признать такими уж «простенькими» вычислительными алгоритмами, они могут быть настолько громоздкими, сложными, что справедливее их обозначать как линейные методы (примечание авторов).

Здесь выделим только пару основных причин, склоняющих исследователя в пользу современ-

ного воззрения о необходимости усложнения моделирования исследуемого здесь явления:

А) Первая заключается в необходимости устранения препятствия в виде абстрактности феномена конкуренции [3, С. 92]. «Объективного индикатора конкуренции не существует, поэтому для оценивания ее уровня приходится пользоваться экономическими показателями, в той или иной степени отражающими отношения конкуренции на рынке. ... современные представления об измерении уровня конкуренции основываются на косвенных показателях, которые недостаточно корректно отражают само исследуемое явление. Фактически конкуренция в современной экономической науке превратилась в симулякр, то есть в понятие, оторванное от своей сущности, – она измеряется с помощью множества показателей, не отражающих самой сущности конкуренции как процесса соперничества производителей или продавцов за доступ к ... ресурсам потребителей.» [7, С. 107]. Способ преодоления фактора абстрактности конкуренции – отход от линейных представлений, моделей, но не так, «чтобы исходя из простых линейных представлений пытаться разработать более сложные модели конкуренции», а сделать это с «базовыми предпосылками и моделями» [3, С. 31].

Б) Вторая связывается со свойствами морского порта, представляющего собой целостный субъект, конкурирующий на рынке. Порт должен восприниматься нами «...сложной, ступенчатой, многоуровневой динамической системой», поскольку «... представляет собой совокупность взаимосвязанных производственных элементов, ... и не может быть адекватно отображен с помощью упрощенной линейной системы без потери своих основных свойств.» В процессе сложного моделирования порта предлагается учитывать методологию синергетики, через поиск общих закономерностей развития систем любой природы, «отрешаясь от специфической природы систем» [8, С. 21].

Подчеркнуть различие двух исследовательских методологий применительно к порту-субъекту рынка для нас здесь окажется важным, поэтому покажем в противопоставлении:

– Построение модели «линейного» показателя (иногда в специальной литературе можно встретить обозначение ситуации через термин «вычисление следа конкуренции»), обоснованно выбранного как результативно-целевую функцию конкуренции на отдельном сегменте рынка (отрасли): продуктивность порта [1, 9]; доля рынка; сила бренда [3, С. 157] и другие. В таком случае, автор вычисления должен обосновать, что именно им выбранный показатель более всего характеризует конкуренцию (показывает наличие её «следа») в выбранных им исследовательских обстоятельствах;

– Модель, полученную как результат отношения к явлению как к «расширенному соперничеству» в отрасли [10, С. 40] с отличающимся набором выбранных факторов (описывающих действующие на рынке силы) и разной степенью дета-

лизации этих сил, как это используется при описании интенсивности отраслевой конкуренции через пять действующих сил у М. Портера [10, С. 40]. У других авторов: посредством основных пяти групп факторов [11, С. 4], через восемь основных «детерминант портовой конкурентоспособности» [12, С. 408], через одиннадцать «факторов предпочтительности» контейнерного морского порта в [13, С. 552], через 31 или 38 факторов «чувствительности» моделей конкурентоспособности для контейнерных портов Северо-Восточной Азии в [1, 14].

Каждый из перечисленных методов исследования своим предпочтительным способом решает проблему неопределенностей, заключенных в конкуренции, реализуя стремление к «снижению уровня неопределенности» [10, С. 222]. Линейный метод исследования предоставляет выгоду за счет применения алгоритма, с возможностью четкого переложения на вычислительный алгоритм. «Факторный» - разлагает явление на значимые для исследователя силы-факторы с их увязыванием в модели, позволяющей судить о конкурентоспособности исследуемого субъекта рынка.

Возможность применения вычислений, реализованных при моделировании конкурентной составляющей развития региональных портов имеет принципиальное значение. «Цифрование» конкуренции и конкурентоспособности равнозначно процессу материализации этой части знаний. Именно такая часть информации, которая приобретает цифровую форму, имеет возможность быть вовлеченной в новые технологии (методики, процессы), составить основу мониторинга и технологии управления отраслевой региональной конкурентоспособностью.

Обобщим основные принципы, которые обуславливают наши дальнейшие суждения о межпортовом соперничестве:

- Конкуренция – сложный, динамический, многоуровневый процесс отношений между региональными портами. Порт – целостный конкурирующий субъект рыночных отношений;

- Необходимо найти способ преодоления фактора абстрактности, нечеткости понятий конкуренции и конкурентоспособности, присутствующих в отечественной и зарубежной науке, при понимании конкуренции, как саморегулируемой среды, генерирующей инноваторскую деятельность;

- Потребность в комплексной оценке конкуренции, объединяющей понятийные зарубежные и отечественные аппараты, удовлетворяющей полнотой набора факторов для исполнения функций национального отраслевого управления элементами конкурентоспособности.

- Применение способов цифрового измерения комплексной конкурентоспособности и соразмерения её составных частей.

- Поиск возможности примирить несообразности и неизмеримости, возможности формализовать интеллектуальную задачу построения комплексной модели конкурентоспособности,

приводит к выбору метода теории нечетких множеств [15, С. 10].

2. Нечеткие множества

Полагаем без сомнений, что существует хотя бы один такой параметр конкретного морского порта, который позволяет судить именно о его предпочтительности (конкурентоспособности). Предпочтителен порт или нет, должен понять обладатель свободного рыночного ресурса (грузопотока, пассажиропотока, инвестиционного ресурса). Нам известно, что таких параметров, факторов может быть множество для рассматриваемого региона и они могут быть разнородны. Образуя совокупность, термины употребляются в контексте рассуждений о механизме регионального соперничества то как «драйверы конкурентных отношений», как «конъюнктурообразующие факторы», а в иных случаях - «аргументы в выборе порта». Могут употребляться иные термины, характеризующие доминирующее отношение авторов к межпортовой конкуренции.

Представим любой параметр конкуренции как x_i и изобразим их совокупность в виде множества точек на Рис. 1 в границах некой плоскости U .

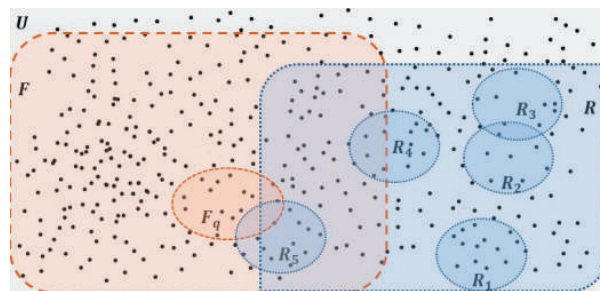


Рис. 1 Изображение конкурентных свойств региональных портов в форме диаграммы Эйлера-Венна

Для нас здесь x_i будут являться объектами исследования, в то время как порт исполняет роль субъекта рынка. Принадлежность точек параметров к границам нашего исследования отобразим как $x_i \in U$. Множество U представляет математическую структуру, позволяющую оперировать с относительно неполно определенными элементами, принадлежность к которой лишь в какой-то мере иерархически упорядочена [15, с. 6]. Множество определяется как универсальное (универсум).

Как уже оговаривали, x_i имеет полномочия быть представленным как измеряемой величиной, так и не в полной мере формализованной. Такое свойство объекта исследования является необходимым условием здесь, чтобы дать возможность реализовать нашу же оговорку о комплексности моделирования, чтобы не ограничивать себя в полноте суждения о взаимодействии описательных характеристик конкуренции.

При наполнении U фактическими данными (объектами) предполагается избежать двух крайностей. С одной стороны, их количество должно

быть обоснованным в количественном выражении, чтобы избежать препятствий «обрабатываемости» массива данных. С другой, избежать ухода в сторону излишней детализации, уводящей от основной задачи исследования конкуренции и конкурентоспособности. Таким образом, ответ должен быть функциональным (примеч. авторов)

Для нас здесь не имеет значение в какой форме можно представить исследуемый объект – числа, функции или утверждения. Универсальное множество охватывает объекты, однородность которых обеспечивается цитированностью в теме конкуренция морских портов. Таким образом, в среде объектов исследования могут появиться: технический параметр причала; характеристика технологической линии; ставка портового сбора и платы за услуги; оценка потенциальной возможности морского порта удовлетворить возникшую потребность клиента в приросте объемов переработки грузов (и/или информации); продуктивность порта [1, 9]; доля рынка; сила бренда [3, С. 157], «реальное время обработки (груза)», «стоимость обработки груза и судна», «узнаваемость и репутация порта», «стабильность портовой рабочей силы», «размер экономики портового города-спутника» [1, 14] и обоснованное прочее.

В настоящий момент мы не имеем информации о детализации способа организации объектов на U . Можно предположить, что в пространстве объекты систематизированы в координатной, векторной или иной форме, позволяющей судить об иерархии [12,16] и взаимодействии объектов. К напоминающему виду систематизации конкурирующих субъектов («стратегических групп») на плоскости прибегает известный М. Портер в [10, с. 189], где их позиционирование организует в осях x -«целевой потребительский сегмент рынка» и y - «ключевое направление стратегии» при построении карты «межгрупповой конкуренции» в отрасли.

Мы полагаем, что такой универсум является конечным множеством, т.е. $U = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_n\}$ и имеет мощность (кардинальное число) $|U| = n$. Здесь и в последующем используем математический инструментарий, опираясь на [15, 17, 18], формальный аппарат приводя в соответствие ГОСТ Р 54521 — 2011.

Дальнейшая возможность исследования универсального множества состоит в более строгой систематизации объектов по одному из правил, которое можно было бы представить здесь в виде характеристической, если бы это было «обычное» множество (см. формулу 1):

$$\mu_R(x) = \begin{cases} 1, & x \in R \ (x \in U) \\ 0, & x \notin R \end{cases} \quad (1)$$

или $\mu_R: U \rightarrow \{0, 1\}$

либо в форме функции принадлежности на отрезке $[0, 1]$ для нечеткого (не в полной мере формализованного) типа множества:

$$\mu_R: U \rightarrow [0, 1] \quad (2)$$

Момент представления объекта в виде той или иной функции и её значения является ключевым для систематизации. Именно это ложится в основу «цифрования» явления, применимости математических операций к объектам и подмножествам. Подчеркнём, что в основе метода находятся операции с функциями, а графическому представлению, с помощью которого в виде диаграммы Эйлера-Венна компонуются элементы конкуренции, отводится роль иллюстрировать возможные соотношения в более приемлемой для восприятия форме. Таким образом, в настоящей статье, задача диаграммы состоит в иллюстрации возможных сочетаний объектов, как если бы в универсальном множестве их было достаточно, чтобы характеризовать полный спектр комплексного представления о конкуренции.

Ранее мы показывали, что при решении задачи комплексного описания межпортовой конкуренции объекты в составе универсума только частично характеризуются через «обычное» множество. Взаимодействие другой части объектов, объединенных в универсум, опосредуется нечеткими объектами-характеристиками. Одновременное присутствие тех и других, увязанных в единой исследуемой системе, обеспечивает реализацию в модели комплексного рассмотрения объектов конкуренции. Замечательным свойством является возможность связи четких и нечетких множеств, представленных в системе одного универсума, которая происходит в следствие того, что чёткое является частным случаем нечёткого множества [15, С. 7]. Обобщение обоих типов множеств происходит посредством введения понятия меры, индекса нечеткости (определение расстояния между четкими и нечеткими) и приводит к выводу, что одно множество «более нечетко», чем другое [17, С. 25–32]. Таким образом, свойства абстрактного инструмента в виде теории нечетких множеств предоставляет возможность представить исследуемое явление конкуренции, не игнорируя как её сложную комплексную природу, так и достигнутые «линейные» модели, переложив объекты с разными свойствами на новый вычислительный алгоритм.

С целью исследования, универсальное множество возможно подвергнуть «расслаиванию» на подмножества Z_j в зависимости от j – класс задач (технические, технологические, логистические, институциональные, экологические, маркетинговые, оборонные и прочие)

$$U \supseteq \bigcup_{j=1}^m Z_j \text{ где } j = \{1, 2, \dots, m\} \quad (3)$$

таким образом, что полученную j -модель можно исследовать на оптимизацию для каждой j -задачи, затем проецировать в итоговую картину, синтезировав ее в виде «пучка» результирующих векторов и/или итогового вектора развития конкурентоспособности, скажем, для некоего, еще не обусловленного здесь, множества R .

На наш взгляд, обозначенное нами здесь «расслоение» обуславливается следствием естественного деления задач по сложившимся областям знаний, когда проблема может рассматриваться на одном из j -м уровне знаний, специализации в сообществе «однородных» специалистов, существующих среди своих парадигм, научных школ. На каждом таком самодостаточном уровне, конкуренция может не заявлять о себе как комплексное явление, её описание возможно ограничить линейным моделированием.

Следующим свойством конкуренции, которое подлежит учету при описании выбранным математическим методом, является изменчивость её во времени. Динамические свойства универсального множества правильно было бы отображать как U_t , показывая, что мы фиксируем «картину» по состоянию на t -й момент времени, поскольку $t+1$ момент будет характеризоваться иным взаимодействием факторов и их количеством [19, С. 34–35]. Это свойство не оспаривается во всех известных нам исследованиях.

В работе [3, С. 8], в частности, акцентируется, что время от времени в универсуме появляется «новый характер», вызванный поисками новых конкурентных преимуществ. Со своей стороны, можем предположить, что состояние U_{t+1} отражает не только изменения в следствие процесса эволюции конкурентных свойств портов региона, но и в следствие когнитивных свойств транспортного сообщества, когда исследователи (практики и ученые) воспринимают новые методики, методологии в отношении конкуренции и конкурентоспособности. Не смотря на очевидные динамические свойства природы конкуренции, перерождение её представления во времени, в настоящем материале не будем фиксировать внимание на этом свойстве, используя временные индексы. Упростим свою задачу здесь рассмотрением объектов в статичной среде.

Сформируем на схеме (Рис. 1) подмножества F и R , которые будут обозначать принадлежность к универсальному множеству соответственно региональных иностранных и национальных российских портов R включает множественные объекты конкуренции, характеризующие инженерные, организационные и прочие j -области, включая юрисдикцию и традиции в Российской Федерации.

Чтобы оправдать применение «странового среза» исследования, обратим внимание на это как на вынужденный шаг, в связи с поставленной нами здесь задачей – осуществить подход к исследованию долгосрочных тенденций в развитии российских национальных портов в условиях международной региональной конкурентной среды выбранным абстрактным методом. В конечном счете, мы ожидаем, что интерес к такой противопоставляемой паре явлений как конкурентное устройство региональной российской морской транспортной системы и международные конкурентные отношения позволит более объективно

выявить энергетику этих парных отношений в части развития российского потенциала региона.

В нашем случае, F является подмножеством, условие существования которого определяется как

$$F \Rightarrow \bigcup_{s=2}^k F_s \tag{4}$$

где s – индекс разнообразия стран региона $s = \{1, 2, 3, \dots, k\}$. Оставим случай $s = 1$ для обозначения российских региональных портов и опишем его чуть ниже.

Зона $F \cap R$ является подмножеством, образованным при их пересечении. В этой зоне сосредоточены объекты, эквивалентно характеризующие конкурентоспособность для обоих F и R национальных групп портов. Распространение международных стандартов, конвенций, двусторонних отношений на деятельность национальных портов, способствует расширению зоны пересечения, способствует их унификации. Теоретическая степень обобщенности свойств (конвергенции) «двух систем», свойства которых объединены в универсуме, может быть обозначена мощностью соответствующего пересечения, т.е. как $|R \cap F|$. В представленной системе, региональные порты можно позиционировать в любой области объединения $F \cup R$.

Подмножество $F \cup R$ – это то, что порты знают о себе. Это знание, которое специальные информационные системы, включая отраслевые реестры, маркетинговые службы портов (возможно квази-службы), и медиа источники информирования поставляют в специализированную открытую медиа среду. Этот информационный массив может быть оформлен в виде «матрицы (рыночных свойств» порта [20, С. 25].

Можно предположить, что существует такой порт, который «оторвался» от своей национальной сущности, вобрал в себя всю совокупность конъюнктурных требований – предстал перед участниками рынка в выигрышной роли совершенно «свободного порта». Мы вправе произвести такой теоретический эксперимент, поскольку определенное понятие «свободного порта» уже находится для группы морских национальных портов в практической фазе. В рассматриваемом нами аспекте межпортовой конкуренции, любая льгота, предоставляемая национальному порту (или их группе), ставит его в выигрышное положение при парном сравнении с иным портом в регионе, привлекает интерес. Насколько такая композиция делает порт более свободным с точки зрения запуска в нем внутренних инновационных механизмов, вызванных соперничеством с другими портами? Иным способом смещения в сторону «свободы» представляется либерализация порта, являющаяся частью процесса глобализации экономики. В процессе либерализации порт получает дополнительные функции (свободы), ранее принадлежавшие государственному институту, и на свое усмотрение, новаторски использует дополнительную возможность для

улучшения своей рыночной миссии - формирует свою конкурентоспособность. На наш взгляд, либерализация порта, как субъекта рынка, «отрывает» его от национального суверенитета, традиций. Без предварительного глубокого анализа, на карте Азиатско-Тихоокеанского региона можно было бы показать на Гонконг, в период его самостоятельного развития, как наибольшее достижение образа «свободного порта». Для такого порта значение национальной сущности конкурентных свойств снижается.

3. Морской порт в системе факторов конкуренции

Обусловим обозначение любого регионально-го порта F сквозным индексом P , сборку его конкурентных свойств (объектов исследования) с учетом национальных свойств индексом S .

Таким образом, «региональный порт»

$$\Rightarrow F_{s,p} \text{ где } s = \{1, 2, 3, \dots, k\}; p = \{1, 2, 3, \dots, q\}$$

Поскольку интерес к проявлению российских портов в конкурентных условиях выносился здесь как одна из целей исследования, выделим региональные российские порты из состава F_s применив индекс национальных свойств $S = 1$ так, что $R_p \Leftrightarrow F_{s=1,p}$. Такой приём позволяет нам обозначить любой российский порт как R_p , а иностранный как F_p при сквозной индексации портов в регионе как $p = \{1, 2, 3, \dots, q\}$.

Отобразим подмножества R_1, R_2, R_3, R_4, R_5 , принадлежащих конкурентным признакам гипотетических российских региональных портов «1», «2», «3», «4» и «5». Вместе с ними схематически отобразим зону свойств только одного, взятого для примера, теоретического иностранного порта F_q .

Разновидность порта R_1 занимает своеобразную, «изолированную», обусловленную применением выбранного метода, позицию на рынке портовых услуг, поскольку не испытывает влияние иных изображенных портов-конкурентов. Для R_1 уместно задать вопрос: что же обеспечивает его эволюционный процесс, каков его теоретический вектор развития?

Порту, на момент нашего рассмотрения, нет альтернатив в исполняемой им транспортной миссии, поэтому он исключен из сравнительного анализа на рынке портовых услуг самими участниками этого рынка. Никакой из портов не претендует на долю его грузооборота и ресурсов. Такой порт представляется нам как не участвующий в рассматриваемый момент в межпортовых конкурентных отношениях, замкнутый в своей системе и поэтому лишенный привнесенных рынком механизмов эволюции. Такой порт выпадает из межпортовой, «внутривидовой» конкуренции за свободную часть основного транспортного ресурса – грузопотока.

В работе [3, С. 8–9] термином «внутривидовая конкуренция» определяется соперничество одного рода (примеч. авторов).

Представляется верным, что технологическое и организационное совершенство такого порта опосредовано его свойством реципиента конкурентных отношений. Развитость структур порта и предоставляемых им сервисов оцениваются со стороны клиента (судоходной линии, рейсового судовладельца, грузовладельца и других участников рынка, которые могут входить между собой в конкурентные отношения, описываемые моделями корпоративного соперничества). В частности, такой порт остается привлекательным (конкурентоспособным) полем деятельности для поставщиков услуг (лоцманов, буксиров, шипчандлеров и проч.), если эта потребность выставляется на свободный рынок, а также для поставщиков товаров, трудовых и прочих ресурсов. Иными словами, соперничество развивается по закономерностям другого иерархического, внутрипортового уровня, когда представление о субъекте конкурентных отношений «разукрупнено» до уровня отдельного предприятия (компании), операционное рыночное пространство при этом ограничивается границей порта [9, 13, 16]. В случае, если R_1 -порт является корпоративным, предоставление услуг в нем может разрешаться ведущей корпорацией посредством аутсорсинга. Государство принимает участие в этом порту как регулятор (технической, транспортной, экологической безопасности, обороноспособности и проч.). Какая-то часть полномочий может находиться у органов местного (муниципального) управления. На первый взгляд, примером R_1 может быть корпоративный порт (например, Пригородное или Козьмино, когда последний был на ранней стадии эксплуатации и на его акватории/территории не осуществлялась иная морская транспортная деятельность), не обязательно обслуживающий исключительно каботажные перевозки, но непременно не имеющий «столкновения интересов» с любым R_p , представленным на U . Феноменом такого регионального типа-порта является Северо-Корейский Раджин, пример позиционирования которого не представлен на диаграмме. Порт характеризуется тем, что он, исходя из рамок условий выбранного нами метода, должен быть наверняка полностью вписан в F подмножество, однако при этом является фактором приращения конкурентной мощности российских региональных портов. Противоречивая природа порта Раджин нами здесь не разрешена.

Частным случаем « R_1 -типа» порта может являться «подвид» гаваней-портов в регионе, не имеющих официального статуса порта. В качестве примера укажем здесь только на несколько таких как: осуществляющий деятельность в бух. Адими Приморского края, в районе устья р. Самарга (экспортные операции с лесом); ковши Стародубское, Охотское на востоке Сахалина, используемые для рыболовства одним или не-

сколькими хозяйствующими субъектами и прочие. Конечно, можно поддаться «официозу» и исключить их из рассмотрения, основываясь на неофициальном статусе этих гаваней, однако будет ли это объективной позицией, если в таких гаванях мы фиксируем морехозяйственную деятельность, социально-экономическую активность, экологические последствия. Возможно занять позицию, согласно которой эти гавани не представляют транспортного интереса ввиду незначительности объемов операции. С другой стороны, не по государственному не замечать, что такие гавани встроены в локальную социально-экономическую систему, самодостаточны, в них решаются элементы первичной обороноспособности, они обеспечивают фактор присутствия России на протяженном девственном океаническом побережье и они обеспечивают своим существованием неизведанный потенциал Российской Федерации. Таким образом, любой R_1 , даже не являясь участником межпортовой конкуренции, со свойственными ему характеристиками, имеет право признаваться привлекательным, и участвует в формировании совокупной конкурентоспособности российских портов в регионе в силу того, что $(x_1 \in R_1) \Rightarrow (R_1 \subset R)$. Порт R_1 в любой момент имеет возможность встать в ряд соперников за образовавшуюся на рынке потребность в освоении ресурса (грузо- или пассажиропотока, инвестиций).

Если продолжать следовать выбранной логике метода описания портов, то очевидно существует такой теоретический порт R_0 , который в действительности не сможет быть изображен здесь на диаграмме в силу того, что описывает нулевое подмножество $R_0 = \emptyset$. Необходимость включения такого порта в теоретическое описание региональных портов обусловлена возможностью создания нового морского порта, исходя из гидрогеологического и географического описания российского побережья. Можно предположить, что в какой-то период развития региональной морехозяйственной деятельности проявится потребность создать реестр таких естественных мест для размещения потенциальных морских портов, умножающих инвестиционную привлекательность Российского Азиатско-Тихоокеанского региона. Можем предположить о возможности компромиссной точки зрения при оценке значения R_1 -типа порта (в случае отнесения к нему названных нами в предыдущем абзаце как «неофициальная гавань») в формировании национальной региональной конкуренции и отождествлении его с R_0 -типом порта.

Продолжая характеризовать свойства портов, изобразим случай столкновения интересов R_2 и R_3 российских портов на диаграмме и формально как в (5):

$$R_2 \cup R_3 \Rightarrow \begin{cases} R_2 \cap R_3 \text{ зона сходных возможностей портов} \\ R_{2;R_3} \text{ зона уникальных свойств } R_2 \text{ порта} \\ R_{R_2;3} \text{ зона уникальных свойств } R_3 \text{ порта} \end{cases}$$

(5)

Справедливости ради отметим, что в виде графического пояснения случай парных конкурентных межпортовых отношений встречается в [13, с. 555], однако авторы производят парное и групповое сравнение специализированных контейнерных портов через показатели доли рынка и темпов прироста контейнерооборота. Использование нами зонирования конкурентных свойств портов обеспечивает дополнительную возможность рассмотреть качественную сторону их соперничества на рынке услуг, предоставляемых морскими портами. Наличие зоны пересечения $R_2 \cap R_3$ мы интерпретируем как одинаковую возможность портов обеспечить обработку, скажем для примера, перевалку определенного транзитного контейнерного потока. Иными словами, такая зона является иллюстрацией наличия основания для конкурентных отношений за новый ресурс. Однако, опираясь на утверждение, что именно наличие уникальных свойств у каждого порта может обеспечить победу одного из них на рынке [3, С. 8], рассмотрим их зону концентрации уникальных свойств.

Действительно, оба порта имеют одинаковые элементарные (x_i) возможности в освоении, например, «определенного нового транзитного контейнерного потока», если существует $x_1 \in (R_2 \cap R_3)$. Однако порт R_2 может оказаться более предпочтительным для участия в новом проекте в связи с его уникальными свойствами, что проявится при парном сравнении его уникальных свойств и уникальных свойств порта R_3 . Таким образом, стейкхолдер (внешний стейкхолдер, или инвестор), рассматривая в процессе бизнес-проектирования всё подмножество $R_2 \cup R_3$, ключевой фактор для своего предпочтения находит в зоне дизъюнктивной суммы

$$(R_2 \cup R_3) \setminus (R_2 \cap R_3) = (R_2 \setminus R_3) \cup (R_3 \setminus R_2) \text{ [21, С. 18].}$$

А ещё более осмотрительно это сделать на стадии исследования целесообразности (feasibility study) – примеч. Авторов.

Таким образом, пара портов, желающих вхождения в перспективный проект, поставляя информацию о своих свойствах на рынок, заинтересована генерировать новые уникальные свойства, которые не обязательно копируют порт-конкурент. Конкурентоспособные свойства, способные привести к выигрышу (выбору стейкхолдером) тот или иной порт, могут отличаться по признаку Z_1 , описанному в формуле (3). Т.е. преимуществу одного порта, например, в области портовых тарифов, может эффективно противостоять преимущество второго, скажем, в потенциале развития зоны складирования. Отечественный инвестор, зарубежный стейкхолдер вынужден в процессе своего решения произвести «взвешивание» приведенной для примера пары несоразмеримых факторов. Что касается участия портов в борьбе за ресурс, то они должны проявить новаторство каждый в своей части и выиг-

рышным образом представить собственные преимущества участникам рынка.

Для отношений конкурирующих портов со сходственными конкурентными свойствами зона

$$\mu_{(R_2 \cup R_3) \cup (R_2 \cap R_3)}(x) = \max(\min(\mu_{R_2}(x), 1 - \mu_{R_3}(x)); \min(\mu_{R_3}(x), 1 - \mu_{R_2}(x))) \tag{6}$$

Очевидно, что любое приращение в состав зоны проявления уникальных конкурентных свойств порта R_2 конструктивно влияет на его конкурентоспособность и имеет возможность до-

$$\bar{R}_2 = \left\{ \begin{array}{l} R \setminus R_2 \text{ т.е. любое свойство } x_i \text{ из } R, \text{ кроме } R_2 \\ (R \cup F) \setminus R_2 \text{ т.е. любое из объединенных свойств } x_i \in R_2 \\ R \cup F \text{ "теоретический" фактор } x_i, \text{ практика которого еще не сложилась} \end{array} \right. \tag{7}$$

Можно утверждать, что вовлечение российским региональным портом нового фактора конкурентоспособности $x_i \in \bar{R}$ приводит к увеличению математической мощности $|R|$, являющейся совокупной конкурентоспособной массой региональных свойств российских портов. Однако, «тиражирование» национальных региональных портов, существующих с одинаковыми конкурентными свойствами, не меняет мощности $|R|$. Этот вывод может найти применение при выработке тактических решений государства в момент выбора точек приложения целевых инвестиционных программ и силы инвестиционного воздействия на морской транспорт. Такая предусмотрительность будет способствовать практическому конструированию деловой, конкурентной среды для проявления на рынке отраслевых «инноваторов».

Интерпретируем фактор, обозначенный в последней формуле как $\bar{R} \cup F$. Поскольку чуть ранее мы характеризовали подмножество $F \cup R$ как то, что порты знают о себе, то $x_i \in \bar{R} \cup F$, отрицает это утверждение и характеризует массив свойств, знания портов о себе. О существовании новых свойств, объектов, мы сейчас подразумеваем «теоретически», признавая динамизм конкуренции, и ожидая в любой момент обоснованного признания в модели нового значимого свойства-объекта. Это дает нам возможность подчеркнуть, что U – это не всегда только то, что порты знают о себе. Мы уже обращали внимание на то, что стейкхолдер воспринимает сведения из среды «матрицы (рыночных) свойств» портов ($F \cup R$), однако при выборе предпочтительного варианта исследует свойства порта, применяя для анализа собственные алгоритмы (возможны специальные аналитические исследования), возможно исходит и из интуитивных (эмоциональных) предпочтений. Таким образом, стейкхолдер находится в среде собственного представления о рыночной «ценности», или в системе «матрицы предпочтительности» [20, с. 25], в которую входят неведомые нам сейчас некие объекты x_i из «отрицательного» подмножества $\bar{R} \cup F$.

дизъюнктивной суммы является принципиальным свойством, обеспечивающим конкурентоспособность. Функция принадлежности этой зоны описывается как в (6):

полнения новым для него свойством, объектом из подмножества, образованного как \bar{R}_2 .

Таким образом

Продолжая исследовать соотношение R_2 и R_3 в конкурентной среде, не оставим без внимания факт, что эти порты изначально имели разные возможности, которые состояли в отличии географических, гидрологических и иных проявлений их свойств. Как правило, эта часть характеризующих их факторов, представленных в зоне объединения $R_2 \cup R_3$, почти статична. Если возможно, то эту часть свойств портов можно было бы объяснить наличием естественных преимуществ, представленных в виде дифференциальной ренты I-го рода. При согласии применения такой условности, накопление новых свойств, усиливающих эффект природной конкурентоспособности, в результате целевой активности человека, выступало бы как дифференциальная рента II-го рода.

Примечательно, что потенциал сравниваемой пары портов не заканчивается победой одного из них, а значит поражение другого. В перспективе победитель (скажем, порт, выигравший инвестиции) может кооперироваться с побежденным, предоставив ему какой-то из сегментов своих новых возможностей (например, путем совместных инвестиций в обоудовыгодный проект), если посчитает это рациональным при формировании своих текущих или перспективных прибылей. В зарубежной практике (из известных нам случаев в Европейском Союзе) администрация порта может принять решение о необходимости вхождения капиталом в другой порт региона (скажем, вхождения в управление портом-конкурентом, или инвестициями в развитие технологии), чтоб улучшить собственную ситуацию на конкретном сегменте рынка.

Характеризуя разновидности портов в рамках универсума концепции U , рассмотрим очередную модель российского порта R_4 . Порт показан как вовлеченный в зону зарубежных рыночных интересов, его транспортные, социальные, экологические и прочие возможности участвуют в формировании региональной картины. Этот порт вовлечён во внешнеторговые отношения. R_4 , на момент его позиционирования на диаграмме Эйлера-Венна, не участвует в каких-либо парных конкурентных отношениях. Это может быть корпоративный порт (например, Посьет).

Комплекс конкурентных свойств, описываемых подмножеством $R_4 \setminus F$ свидетельствует о наличии сугубо национальных российских характеристиках, недоступных для иностранного стейкхолдера (например, каботажная активность, которой отдаются российские предпочтения в соответствии со ст. 4 Кодекса торгового мореплавания; либо вопросы обороноспособности). Характеристики конкурентоспособности порта в составе подмножества $R_4 \cap F$ можно описать как потенциальные конкурентные свойства российского порта в борьбе за лимитированные региональные портальные ресурсы. Задействование этого потенциала имеет свои закономерности, которые возможно подвергнуть анализу выбранным математическим методом.

Отсюда возникает значимое предположение, что каждый порт, свойства которого представлены в среде U , может быть рассмотрен теоретически в условиях соревнования за ограниченный ресурс. Таким может быть региональный ресурс в виде грузопотока (пассажиропотока) или инвестиционный ресурс, который не обязательно имеет региональную природу происхождения, но применение которого к избранному порту меняет региональную конкурентную картину.

В связи с тем, что список возможных ресурсов не ограничивается только обозначенной парой, можно предположить ситуацию соперничества за, предположим, трудовой, экологический или иной ресурс.

4. Наличие конкуренции

Если пара или группа портов конкурируют, то такая ситуация должна обозначаться наличием какого-либо обязательного признака. В первую очередь, соперники должны иметь хотя бы один общий фактор x_i , свидетельствующий об одинаковой возможности освоения определенного ресурса рынка. Именно эта возможность привлекает внимание потенциального клиента порта и задаёт условие для последующего сравнения свойств портов. Это базовое условие конкуренции считаем возможным обозначить здесь как «ось» конкурирующих портов и описать её посредством квантора существования. Такая «ось», фактически представляя собой подмножество, выполняет функцию условия (признака наличия) конкурентных отношений у любой пары или группы региональных портов, свойства которых включены в систему универсального множества, т.е.

$$\exists x_i \in \bigcap_{p=1}^q F_p \tag{8}$$

Для случая, отображенного на диаграмме Эйлера-Венна на Рис 1, представлены две пары, состоящих в конкурентных отношениях портов, а именно R_2 vs R_3 и F_q vs R_5 . Каждая пара имеет отличающиеся собственные основания для сравнения, представленные разными осями конкуренции (соответственно $R_2 \cap R_3$ и $F_q \cap R_5$), пред-

ставляющие собой подмножества, сконцентрировавшие в сравниваемой паре равные возможности освоения ресурса, представленного для освоения портам-участникам рынка.

Вокруг каждой «оси» формируются «матрицы выбора» стокхолдера (ов) и производится «взвешивание» значимости аргументов в зонах, образованных дизъюнктивными суммами подмножеств $(R_2 \cup R_3) \setminus (R_2 \cap R_3)$ и $(F_q \cup R_5) \setminus (F_q \cap R_5)$. Таким образом, для примера $R_2 \cup R_3$ возможно представить в объединенной форме способности порта выиграть в парном сравнении (что концентрируется в понятии конкурентоспособность) и условия существования такого соревнования (конкуренции):

$$(R_2 \cup R_3) \setminus (R_2 \cap R_3) \text{ при } (R_2 \cap R_3 \neq \emptyset) \tag{9}$$

Или в общем виде для любой группы конкурирующих портов, свойства которых представлены в системе универсального множества как

$$\bigcup_{p=1}^q F_p \setminus \bigcap_{p=1}^q F_p \text{ при } \bigcap_{p=1}^q F_p \neq \emptyset \tag{10}$$

Теоретически возможно представить ситуацию, когда сравниваемые порты имеют эквивалентные возможности для освоения рассматриваемого ресурса. Предположим, что на диаграмме конкурентных региональных свойств сравниваем порт R_3 и не изображенный R_2' -порт, описание которых эквивалентно таким образом, что $(R_2' \cup R_3) = (R_2' \cap R_3)$, т.е. $R_2' = R_3$.

На практике такая ситуация может означать неудовлетворительную работу служб маркетинга (если таковая есть в порту), которые не поставляют участниками рынка сигналы о преимущественных свойствах порта. Этим случаем можно иллюстрировать необходимость проактивной деятельности порта, коль он поставлен в условия региональной конкуренции.

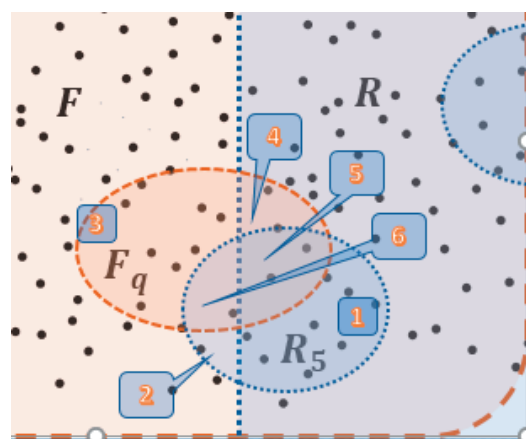


Рис. 2 Фрагмент универсум-множества с группированием конкурентных свойств F_n иностранного и R_n российского портов

Другим объяснением случая эквивалентности может стать неверный выбор «чувствительности»

модели, когда при её конструировании, видимо в угоду упрощения, не были учтены существенные факторы.

Продолжая ступенчато следовать по теоретической эволюционной «лестнице», усложним представление о конкурирующем российском региональном морском порте до состояния, изображенного как R_5 . Представить существование такого порта на универсальном множестве, находящегося в институциональной области (обра-

зующей законы, институты и традиции) Российской Федерации и в области с элементами зарубежных институтов, возможно в пределах свободных экономических зон. Такой порт, скорее всего, следует классифицировать как признанный международный порт. В процессе анализа, конкурентного сравнения с гипотетическим F_q портом, можно обнаружить группирование свойств (подмножества):

$$F_q \cup R_5 \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} (R_5 \cap R) \setminus F_q \text{ подмножество №1} \\ R_5 \setminus (R \cup F_q) \text{ подмножество №2} \\ F_q \setminus (R \cup R_5) \text{ подмножество №3} \\ (F_q \cap R) \setminus R_5 \text{ подмножество №4} \\ (F_q \cap R_5) \setminus \bar{R} \text{ подмножество №5 (элемент "оси" конкуренции)} \\ (F_q \cap R_5) \setminus R \text{ подмножество №6 (элемент "оси" конкуренции)} \end{array} \right. \quad (11)$$

Для удобства восприятия, позиционируем шесть подмножеств, группирующих свойства на фрагменте диаграммы Эйлера-Венна.

Поскольку план настоящей статьи исчерпывается описанием нашего понимания основных принципов применимости метода нечетких множеств к моделированию межпортовых региональных отношений, отнесем интерпретацию показанных последних групповых свойств на последующие разработки.

Заключение

Предлагаем свой взгляд, согласно которому мы заложили в принцип описания конкурентной природы взаимоотношений между региональными морскими портами использование метода теории нечетких множеств. Находим, что этот аналитический подход предоставляет возможным удачно системно объединить сложное, комплексное явление, реализовать «цифрование» процесса конкуренции и измерить (индексировать) конкурентоспособность.

Выбранная методология рассматривает явление конкуренции, начиная с её элементной основы - фактора конкуренции, и тем самым сулит возможность адаптации, совершенствования научного представления о конкуренции по мере усложнения взгляда морского и заинтересованного сообщества на это явление. Применяя методологию, мы приобретаем возможность интерпретировать сочетания факторов через реальные региональные проявления. Что может оказаться более ценным, так это то, что система показателей конкуренции и конкурентоспособности должна быть набрана из таких селективных факторов, управление которыми (скажем, со стороны Федерального органа исполнительной власти, государства) обеспечит благоприятную эволюцию среды для отечественных региональных портов, как субъектов рыночных отношений.

Значимым, на наш взгляд, является насущность исследования межпортового соперничества в R -системе индикаторов, характеризующих отечественные порты, поскольку мы предлагаем вариант систематизации феномена конкуренции, учет которого неизбежен при реализации акту-

альной задачи современного пространственного социально-экономического планирования в регионе, где морской порт представляет собой пространственный операционный базис [22].

Если мы констатируем конкуренцию как одну из основополагающих движущих сил, то мы, следуя механистической логике, должны знать точку приложения каждого элемента (фактора конкуренции) и результирующий вектор движущей силы. В настоящее время мы не осязаем реализацию такого взгляда - отсутствует комплекс ориентиров и мониторинг действующих рыночных сил. Мы также лишены возможности судить о рыночной «миссии» портов, ранжировать их в зависимости от степени самоопределения каждого отдельного в рыночной среде. Допускаем, что прообразом такого ранжирования региональных портов могло бы стать примененное здесь теоретическое деление на $R_1, R_2, R_3, R_4, R_5, F_q$ типы. Обратим внимание на возможность существования эволюционной последовательной линии эволюции национального порта в конкурентной среде от состояния, описываемого множеством конкурентных свойств R_1 -типа, в направлении к усложненному состоянию R_n . Такое моделирование может позволить сформировать теоретический вектор развития порта в конкурентной среде, а суммированием таких векторов региональных портов получить представление о результирующем векторе развития региона.

Определенным результатом предпринятого нами здесь исследования являются сформулированные определения межпортовой региональной конкуренции и конкурентного преимущества (конкурентоспособности) соревнующегося порта. Под представленную формулировку подпадают случаи парного и группового сравнения региональных портов.

Полагаем, что изложенные нами соображения способны вызвать интерес, критику и желание экспертного и научного сообщества к комплексному подходу при изучении явления конкуренции морских портов.

Литература

1. Huang W.-C. и др. Port competitiveness evaluation by fuzzy multicriteria grade classification model. // J. Mar. Sci. Technol. 2003. Т. 11, № 1. С. 53–60.
2. Давыденко А.А. Государственное управление конкурентоспособностью региональных морских портовых комплексов. Государственная морская академия им. адм. С.О. Макарова, 2008. 211 с.
3. Светульников С.Г. и др. Методологические проблемы многоуровневой теории конкуренции. Санкт-Петербург: Левша Санкт-Петербург, 2016. 160 с.
4. Луговец А.А., Москаленко А.Д., Степанец А.В. Организационно-экономические условия обеспечения либерализации отечественного судостроения и судоходства // Проблемы транспорта Дальнего Востока. 2011. № 5–7 октября 2011. С. 9–14.
5. Самуэльсон П.А. Экономика. Севастополь: Ахтиар, 1995. 384 с.
6. Концепция долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2020 года : Распоряжение Правительства РФ №1662-р от 17 ноября 2008 года // Консультант Плюс. Москва: Правительство Российской Федерации, 2008. С. Распоряжение Правительства РФ №1662-р от 17 ноября.
7. Светульников М.Г., Волков А.В. Проблема измерения уровня конкуренции в целях разработки предпринимательских решений (с учетом многоуровневой модели рынка) // Вестник Оренбургского государственного университета (ОГУ). Санкт-Петербург, 2010. № 8 (114). С. 107–113.
8. Кузнецов А.Л., Галин А.В., Кириченко А.В. Синергетика как методологическая основа развития базовой инфраструктуры портоориентированной логистики // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. 2016. Т. 6, № 40. С. 19–34.
9. Sanghyun C. World Port Institutions and Productivity: Roles of Ownership, Corporate Structure, and Inter-port Competition. University of California, Berkeley, 2007. 363 с.
10. Портер М.Е. Конкурентная стратегия: Методика анализа отраслей и конкурентов. Москва: Альпина Бизнес Букс, 2005. 454 с.
11. Aaby B.C. An analysis of Shipping Line selection criteria when choosing European Container Terminals // Molde University College. 2012. 77 с.
12. Yeo G.-T., Song D.-W. An Application of the Hierarchical Fuzzy Process to Container Port Competition: Policy and Strategic Implications // Transportation (Amst). Kluwer Academic Publishers, 2006. Т. 33, № 4. С. 409–422.
13. Notteboom T.E. и др. Port Competition and Competitiveness // Blackwell Companion to Marit. Econ. 2012. С. 549–570.
14. Yeo G.-T. Port competitiveness in north-east Asia: an integrated fuzzy approach to expert evaluations. Plymouth Business School, 2007. 318 с.
15. Чернов В.Г. Основы теории нечетких множеств. Решение задач многокритериального выбора альтернатив. [Электронный ресурс]. Владимир: Издательство Владимирского государственного университета, 2005. С. 105. URL: http://e.lib.vlsu.ru/bitstream/123456789/609/1/razdel1_1_1.1.pdf (дата обращения: 02.04.2017).
16. Parola F. и др. The drivers of port competitiveness: A critical review // Transp. Rev. 2016. С. 1–45.
17. Кобышева Л.К., Назаров Д.М. Основы теории нечетких множеств. СПб: Питер, 2011. 192 с.
18. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2005. 736 с.
19. Затепакин С.М. О подходе к моделированию системы морских портов Тихоокеанского региона Российской Федерации // Проблемы транспорта Дальнего Востока (Пленарные доклады юбилейной десятой международной научно-практической конференции). 2013. С. 34–36.
20. Затепакин С.М. Исследование особенности проявлений конкуренции и конкурентоспособности в системе региональных морских портов Дальнего Востока Российской Федерации // Проблемы транспорта Дальнего Востока. Пленарные доклады одиннадцатой международной научно-практической конференции. 2–4 октября 2015. 2015. С. 22–25.
21. Ухоботов В.И. Избранные главы теории нечетких множеств. Челябинск: Издательство Челябинского государственного университета, 2011. 245 с.
22. Правкин С.А. Оптимизация правового регулирования управления морскими портами // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2015. Т. 2, № 9.

References

1. Huang, W.-C., Teng, J.-Y., Huang, M.-J. and Kou, M.-S. (2003) 'Port competitiveness evaluation by fuzzy multicriteria grade classification model.', Journal of Marine Science and Technology, 11(1), pp. 53–60. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.463.1110&rep=rep1&type=pdf>
2. Davydenko, A. A. (2008) Gosudarstvennoe upravlenie konkurentosposobnostyu regionalnykh morskikh

- portovykh kompleksov. Gosudarstvennaya morskaya akademiya im. adm. S.O. Makarova.
3. Svetunkov, S. G., Vorobev, P. F., Prytkova, Ye. A., Butukhanov, A. V., Salikhova, Ya. U., Grigoreva, V. N., Shignanov, R. A., Markova, V. M. and Muradova, Z. K. (2016) Metodologicheskie problemy mnogourovnevoy teorii konkurentsii. Sankt-Peterburg: Levsha Sankt-Peterburg.
https://www.hse.ru/mirror/pubs/lib/data/access/ram/ticket/89/1490700669034218292288fb5c4f75350426074574/Monografiya_16.pdf
 4. Lugovets, A. A., Moskalenko, A. D. and Stepanets, A. V. (2011) 'Organizatsionno-ekonomicheskie usloviya obespecheniya liberalizatsii otechestvennogo sudostroeniya i sudokhodstva', Problemy transporta Dalnego Vostoka, (5–7 oktyabrya 2011), pp. 9–14.
 5. Samuelson, P. A. (1995) Ekonomika. Sevastopol: Akhtiar.
 6. Kontseptsiya dolgosrochnogo sotsialno-ekonomicheskogo razvitiya Rossiyskoy Federatsii na period do 2020 goda: Rasporyazhenie Pravitelstva RF №1662-r ot 17 noyabrya 2008 goda (2008) Konsultant Plyus. Moskva: Pravitelstvo Rossiyskoy Federatsii. doi: 10.1017/CBO9781107415324.004.
 7. Svetunkov, M. G. and Volkov, A. V. (2010) 'Problema izmereniya urovnya konkurentsii v tselyakh razrabotki predprinimatelskikh resheniy (s uchetom mnogourovnevoy modeli rynka)', Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta (OGU). Sankt-Peterburg, (8 (114)), pp. 107–113.
 8. Kuznetsov, A. L., Galin, A. V. and Kirichenko, A. V. (2016) 'Sinergika kak metodologicheskaya osnova razvitiya bazovoy infrastruktury portoorientirovannoy logistiki', Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova, 6(40), pp. 19–34
<https://journal.gumrf.ru/files/articles/40/19-34.pdf>
 9. Sanghyun, C. (2007) World Port Institutions and Productivity: Roles of Ownership, Corporate Structure, and Inter-port Competition. University of California, Berkeley
<http://escholarship.org/uc/item/7t64h5wr>
 10. Porter, M. Ye. (2005) Konkurentnaya strategiya: Metodika analiza otrasley i konkurentov. Moskva: Alpina Biznes Buks.
 11. Aaby, B. C. (2012) An analysis of Shipping Line selection criteria when choosing European Container Terminals, Molde University College
https://brage.bibsys.no/xmlui/bitstream/handle/11250/153616/master_aaby.pdf?sequence=1
 12. Yeo, G.-T. and Song, D.-W. (2006) 'An Application of the Hierarchical Fuzzy Process to Container Port Competition: Policy and Strategic Implications', Transportation. Kluwer Academic Publishers, 33(4), pp. 409–422. doi: 10.1007/s11116-005-6000-4.
 13. Notteboom, T. E., Rodrigue, J.-P., Rodrigue, J.-P. and Yap, W. Y. (2012) 'Port Competition and Competitiveness', The Blackwell Companion to Maritime Economics, pp. 549–570. doi: 10.1002/9781444345667.ch27.
 14. Yeo, G.-T. (2007) Port competitiveness in north-east Asia: an integrated fuzzy approach to expert evaluations. Plymouth Business School <https://core.ac.uk/download/pdf/29816610.pdf>
 15. Chernov, V. G. (2005) Osnovy teorii nechetkikh mnozhestv. Reshenie zadach mnogokriterialnogo vybora alternativ. Vladimir: Izdatelstvo Vladimirovskogo gosudarstvennogo universiteta
http://e.lib.vlsu.ru/bitstream/123456789/609/1/razdel1_1_1.1.pdf
 16. Parola, F., Risitano, M., Ferretti, M. and Panetti, E. (2016) 'The drivers of port competitiveness: A critical review', Transport Reviews, pp. 1–45. doi: 10.1080/01441647.2016.1231232.
 17. Konyshcheva, L. K. and Nazarov, D. M. (2011) Osnovy teorii nechetkikh mnozhestv. SPb: Piter.
 18. Leonenkov, A. V. (2005) Nechetkoe modelirovanie v srede MATLAB i fuzzyTECH. Sankt-Peterburg: BKhV-Peterburg
 19. Zatepyakin, S. M. (2013) 'O podkhode k modelirovaniyu sistemy morskikh portov Tikhookeanskogo regiona Rossiyskoy Federatsii', Problemy transporta Dalnego Vostoka (Plenarnye doklady yubileyroy desyatoy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii), pp. 34–36.
 20. Zatepyakin, S. M. (2015) 'Issledovanie osobennosti proyavleniy konkurentsii i konkurentosposobnosti v sisteme regionalnykh morskikh portov Dalnego Vostoka Rossiyskoy Federatsii', Problemy transporta Dalnego Vostoka. Plenarnye doklady odinnadsyatoy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. 2–4 oktyabrya 2015, pp. 22–25.
 21. Ukhobotov, V. I. (2011) Izbrannye glavy teorii nechetkikh mnozhestv. Chelyabinsk: Izdatelstvo Chelyabinskogo gosudarstvennogo universiteta <http://www.lib.csu.ru/texts/UhobotovVI.pdf>
 22. Pravkin, S. A. (2015) 'Optimizatsiya pravovogo regulirovaniya upravleniya morskimi portami', Modelirovanie, optimizatsiya i informatsionnye tekhnologii., 2(9)
https://moit.vivt.ru/wp-content/uploads/2015/06/Pravkin_2_15_1.pdf

УДК 629.12.001.2

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОНТРОЛЬНО–НАДЗОРНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ДАЛЬНЕВОСТОЧНОГО УПРАВЛЕНИЯ ГОСУДАРСТВЕННОГО МОРСКОГО НАДЗОРА С ПРИМЕНЕНИЕМ РИСК–ОРИЕНТИРОВАННОГО ПОДХОДА ЗА СЧЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Александр Андреевич Лентарев

доктор технических наук
профессор кафедры Судовождения
Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского
690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, д. 50 – а
e-mail: lentarev@msun.ru

Аркадий Львович Оловянный

кандидат технических наук, доцент
заведующий кафедрой Судовождения
Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского
690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, д. 50 – а
e-mail: Ark@msun.ru

Игорь Петрович Турищев

начальник Дальневосточного управления
государственного морского надзора
Федеральной службы по надзору в сфере транспорта
690003, Владивосток, ул. Нижнепортовая, 3
e-mail: Turishchev-ip@dvgosmornadzor.ru

Михаил Владимирович Гомзяков

кандидат технических наук
начальник отдела надзора за мореплаванием,
Дальневосточное управление государственного морского надзора
Федеральной службы по надзору в сфере транспорта
690003, Владивосток, ул. Нижнепортовая, 3
e-mail: Gomzyakov-mv@dvgosmornadzor.ru

Олег Владимирович Москаленко

старший научный сотрудник
Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского
690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, д. 50 – а
e-mail: Moskalenkoov@msun.ru

Аннотация

Разработан комплекс автоматизированных рабочих мест планирования и учета работы Дальневосточного управления государственного морского надзора Федеральной службы по надзору в сфере транспорта при проведении контрольно–надзорной деятельности в зоне своей ответственности. Программа НАДЗОР повышает производительность труда организации и позволяет осуществлять риск–ориентированное планирование и разработана в полном соответствии с критериями отечественного законодательства в области профессионального программного обеспечения. Программа предназначена для учета хозяйствующих субъектов различных форм, их объектов, лицензий, проверок в целях оперативного отслеживания их статусов (состояний) и последующего планирования работы. С учетом предстоящего внедрения риск–ориентированного подхода к планированию контрольно–надзорной деятельности Ространснадзора в программу заложено критериальное ранжирование поднадзорных субъектов. Алгоритм планирования, заложенный в комплекс, учитывает действующее и перспективное законодательство в предметной области.

Ключевые слова: контрольно–надзорная деятельность, база данных, комплекс автоматизированных рабочих мест НАДЗОР, административная история компании, риск–ориентированное планирование

THE RISK-BASED APPROACH IN THE IMPLEMENTATION OF CONTROL AND SUPERVISORY ACTIVITIES OF THE FAR EASTERN DIRECTORATE FOR STATE OF MARITIME SUPERVISION, TAKING INTO ACCOUNT THE EMERGENCY FACILITIES OPERATED SUPERVISED COMPANIES

Aleksandr Andreevich Lentarev

Dr.Sci.Tech
Professor of Navigation department
Maritime state university named Admiral G. Nevelskoy
50 – a, Verkhneportovaya st., 690059, Vladivostok, Russia
e-mail: lentarev@msun.ru

Arkadii Lvovich Oloviannikov

Associate professor, Cand. Sci. Tech.
Director of Navigation department
Maritime State University named after G.I. Nevelskoi
50–a, Verkhneportovaya St., Vladivostok, 690059, Russia
e-mail: Ark@msun.ru

Igor Petrovich Turishchev

Director of the Far East Directorate for State of Maritime Supervision
Federal Service for Supervision in the Sphere of Transport, Vladivostok
3, Nizhneportovaya St., 690003, Vladivostok, Russia
e-mail: Turishchev-ip@dvgosmornadzor.ru

Mihail Vladimirovich Gomzyakov

Cand. Sci. Tech.
Director of Department of supervision over the navigation
The Far East Directorate for State of Maritime Supervision
Federal Service for Supervision in the Sphere of Transport
3, Nizhneportovaya St., 690003, Vladivostok, Russia
e-mail: Gomzyakov-mv@dvgosmornadzor.ru

Oleg Vladimirovich Moskalenko

Senior research scientist
Maritime state university named Admiral G. Nevelskoy
50 – a, Verkhneportovaya st., 690059, Vladivostok, Russia
e-mail: Moskalenkoov@msun.ru

Abstract

A set of automated workplaces for planning and accounting of the work of the Far Eastern Department of State Marine Oversight of the Federal Service for Supervision in Transport was conducted in the course of control and surveillance activities in the area of its responsibility. The NADZOR program improves the productivity of the organization and allows for risk-oriented planning and is designed in full compliance with the criteria of the domestic legislation in the field of professional software. The program is intended for the registration of economic entities of various forms, their objects, licenses, inspections in order to quickly track their status and subsequent work planning. Taking into account the forthcoming introduction of a risk-oriented approach to planning the control and supervision activities of Rostransnadzor, the program includes criterial ranking of the supervised subjects. The planning algorithm, incorporated in the complex, takes into account the current and prospective legislation in the subject area.

Key words: *control and supervisory activities, database, computerized workplaces for planning, administrative history of the company, risk-oriented planning*

Введение

Эффективность морской деятельности определяет, в числе прочих факторов, набор краткосрочных задач, решение которых предусмотрено Морской доктриной Российской Федерации на период до 2020 (далее – Морская доктрина) [1].

Анализ состояния и тенденций развития мор-

ской деятельности, проводимый на постоянной основе служит основой для постановки таких задач.

Морская доктрина предусматривает развитие информационного обеспечения морской деятельности. В этом потоке можно выделить сведения о безопасности мореплавания при осуществ-

лении морской деятельности: перевозки грузов и пассажиров, рыболовства, научно-исследовательской и т.д.

В настоящее время такая информация по-прежнему остаётся неполной, собирается и обрабатывается узковедомственным разрозненным набором информационных ресурсов, разработанных по заказу различных участников морской деятельности [2].

1. Усовершенствование работы Дальневосточного управления государственного морского надзора

Дальневосточное управление государственного морского надзора (ДВУ Госморнадзора) Федеральной службы по надзору в сфере транспорта является территориальным подразделением Управления государственного морского и речного надзора (Госморречнадзора) Федеральной службы по надзору в сфере транспорта. Основной функцией ДВУ Госморнадзора является надзор за соблюдением законодательства в области безопасности мореплавания в своей зоне ответственности, а также расследование аварийных случаев с морскими транспортными и рыбопромысловыми судами. Свои функции ДВУ Госморнадзора осуществляет посредством проведения проверок юридических лиц (ЮЛ) и индивидуальных предпринимателей (ИП).

Основным документом, определяющим отношение деятельности ЮЛ и ИП и (или) используемых ими производственных объектов к определенной категории риска или определенному классу (категории) опасности, а также определяющим перечень видов государственного контроля (надзора), которые осуществляются с применением риск-ориентированного подхода является Постановление Правительства РФ от 17 августа 2016 г. № 806 «О применении риск-ориентированного подхода при организации отдельных видов государственного контроля (надзора) и внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации» [3].

Порядок отнесения деятельности ЮЛ и ИП и (или) используемых ими производственных объектов (далее – объекты государственного контроля (надзора) к определенной категории риска или определенному классу (категории) опасности, обозначаемому как классы опасности или категории опасности (далее – классы опасности) устанавливаются Правилами, утвержденные постановлением Правительства РФ от 17 августа 2016 г. № 806.

Результаты проверок поднадзорных ЮЛ и ИП ложатся в основу деятельности по выработке риск-критериев при осуществлении ДВУ Госморнадзора контрольно-надзорной деятельности в соответствии с Постановлением Правительства Российской Федерации от 17 августа 2016 г. № 806 «О применении риск-ориентированного подхода при организации отдельных видов государственного контроля (надзора) и внесении изменений в некоторые акты Правительства Россий-

ской Федерации».

2. Использование программы «Надзор» в контрольно – надзорной деятельности

Для оптимизации данного вида деятельности в ДВУ Госморнадзора активно задействованы информационно-компьютерные технологии – разработана и внедрена компьютерная программа – с названием «Надзор». Программа предназначена для учета хозяйствующих субъектов различных форм, их объектов, лицензий, проверок в целях оперативного отслеживания их статусов (состояний) и последующего планирования работы.

При создании программы перед разработчиками были поставлены задачи:

1) Сокращение времени на планирование на всех основных этапах создания плана;

2) Приведение реестров ДВУ Госморнадзора к единому формату и адаптация к шаблону Автоматизированной системы «Мониторинг» (далее – АС «Мониторинг») и Дальневосточной транспортной прокуратуры;

3) Систематизация и каталогизация материалов проверок с единым доступом к электронным копиям;

4) Создание административной истории поднадзорных юридических и должностных лиц;

5) Отнесение юридических лиц и индивидуальных предпринимателей к определенной категории риска в соответствии с законодательством Российской Федерации;

6) Отнесение юридических лиц и индивидуальных предпринимателей к определенному классу (категории) опасности в соответствии с законодательством Российской Федерации;

7) Создание достоверной и объективной системы учета вклада каждого сотрудника в работу ДВУ Госморнадзора;

8) Высвобождение времени сотрудников для непосредственных обязанностей по контрольно-надзорной деятельности.

С учетом возможного предстоящего внедрения риск-ориентированного подхода к планированию контрольно-надзорной деятельности Ространснадзора в программу заложено критериальное ранжирование поднадзорных субъектов.

По структуре «Надзор» является программным комплексом, т.к. с единой базой данных через разграниченный авторизованный доступ с ней одновременно работают все инспекторы (Рис. 1).

Для работы с комплексом не требуется специальных навыков, кроме умения работать с персональным компьютером на уровне обычного пользователя. Интуитивно понятный пользовательский интерфейс позволяет в короткие сроки освоить работу с вкладками и кнопками, а разграниченный авторизованный доступ и валидация ввода данных сводят к минимуму вероятность ошибок.

Важной особенностью программы является то, что разработчиками являются профессиональные моряки, отдавшие морю не один десяток лет.

«Надзор» разработан в полном соответствии с критериями отечественного законодательства в области профессионального программного обеспечения [4, 5].

Алгоритм планирования, заложенный в комплекс, учитывает действующее и перспективное законодательство в предметной области [6, 7, 8, 9].

Одной из функций комплекса является повышение качества планирования поднадзорных

ДВУ Госморнадзора субъектов через решение проблем с отбором юридических лиц и проверками их статусов. В частности, проверку статуса по налоговой базе данных «Надзор» может осуществлять в ручном и автоматическом режимах. При этом автоматический режим проверки можно запускать в нерабочие часы, что очень удобно т.к. одновременная работа двух сотрудников ДВУ Госморнадзора с базой данных не допускается сертификатом.



Рис. 1. Комплекс автоматизированных рабочих мест «Надзор»

Во вкладках комплекса помещена основная информация о субъекте: названия, коды адреса, поднадзорность, даты, статус на момент последней сверки с базой данных налоговой, степень риска. Одна из трех степеней риска присвоена программным комплексом каждому из субъектов на перспективу в соответствии с предстоящими изменениями в законодательстве.

В настройках можно выбрать алгоритм планирования по степени риска или по существующим ранее основаниям.

3. Структура базы данных программы «Надзор»

Изначально в базу данных «Надзор» импортированы данные всех реестров ДВУ Госморнадзора, реестр АС «Мониторинг» и плановые проверки за 2012–2015 гг. с сайта Генеральной прокуратуры [4, 5, 6]. При создании с таблицей проверок была ассоциирована таблица нарушений. После запуска программы в работу все нарушения, выявленные в результате любой проверки, заносятся в таблицу с указанием авторства, статьи Кодекса РФ об административных правонарушениях (далее – КоАП РФ), нарушенной нормы, привлекаемого лица, суммы штрафа и пр.

Данная таблица позволяет учитывать вклад каждого отдельного работника в деятельность ДВУ Госморнадзора и, таким образом, повышать эффективность работы управления.

Важным обстоятельством является то, что в базе данных «Надзор» сохраняется история проверок и правонарушений, что является доминирующим критерием при планировании по «риск-

фактору». В соответствии с пунктом 3 Правил перечень категорий риска или классов опасности, применяемый при осуществлении отдельного вида государственного контроля (надзора), включает от 3 до 6 категорий риска или от 3 до 6 классов опасности согласно приложению и устанавливается в соответствии с положением о виде государственного контроля (надзора).

Ниже приводится таблица категорий риска и классов (категорий) опасности в соответствии с Приложением к Правилам (Таблица 1.).

Таблица 1

Категории риска и классы (категории) опасности

Категории риска	Классы (категории) опасности	Особенности осуществления мероприятий по контролю
Чрезвычайно высокий риск	1 класс	плановая проверка проводится один раз в период, предусмотренный положением о виде государственного контроля (надзора)
Высокий риск	2 класс	
Значительный риск	3 класс	
Средний риск	4 класс	плановая проверка проводится не чаще одного раза в период, предусмотренный положением о виде государственного контроля (надзора)
Умеренный риск	5 класс	
Низкий риск	6 класс	плановые проверки не проводятся

Каждая таблица комплекса позволяет по ссылке находить электронную копию документа по контрольно-надзорной деятельности (КНД),

сохраненного в архивах ДВУ Госморнадзора в графическом виде и обращаться к ним, необходимо лишь указать путь к файлу.

Программа «Надзор» включает в себя развитую интуитивно понятную систему фильтров субъектов, объектов, лицензий, проверок, штрафов, как по отдельности, так и в сочетаниях.

Для создания проекта ежегодного плана проверок предусмотрены все необходимые процедуры: импорт, экспорт, проверка по налоговой БД, проверка «двойников», проверка сроков в соответствии с законодательством РФ. Для каждого основания (Федерального закона) разработан свой алгоритм расчета периодичности проверок [7, 8, 9].

К дополнительному полезному функционалу программы «Надзор» следует отнести распределение проверок в проекте плана по дням недели с исключением выходных и праздничных дней. Готовый проект выгружается в файл формата Excel в требуемом шаблоне, содержащем необходимые реквизиты.

При изменении шаблона предусмотрена возможность несложной настройки на новый, средствами администрирования без изменения кода программы. Для чего требуется поместить новый шаблон в определенную папку и указать к нему путь в настройках.

Одной из функций программы «Надзор» является учет аварийности морских транспортных и рыбопромысловых судов в зоне ответственности ДВУ Госморнадзора для последующего анализа. Основная информация о произошедших аварийных случаях (АС), которые в соответствии с Положением о расследовании аварий или инцидентов на море, утвержденным приказом Минтранса РФ от 08.10.2013 г. № 308 (ПРАИМ–2013) [10] были классифицированы как очень серьезные аварии, аварии или инциденты заносится в определенную таблицу комплекса. Эта информация включает в себя следующие пункты: дату АС, координаты и место АС, название судна, вовлеченного в АС, название компании собственника и судовладельца судна, вовлеченного в АС, описание АС, классификация АС (в соответствии с ПРАИМ–2013), фамилия, имя и отчество капитана судна, вовлеченного в АС, список нарушителей, причастных к АС, а также рекомендации по предотвращению и недопущению АС в будущем.

На основании этих данных формируется реестр аварийных случаев на море в зоне ответственности ДВУ Госморнадзора. Наличие данного реестра позволяет в кратчайшее время определять рецидивы и принимать необходимые меры реагирования.

Уровень эксплуатации флота юридическим лицом соотносится со степенью риска в отношении судов и их судовладельцев при планировании разного вида проверок.

Описанная функция позволяет отслеживать выполнение рекомендаций по предотвращению и недопущению АС в будущем компанией собственником или судовладельцем судна, вовлечен-

ного в АС.

Учетный функционал программы «Надзор» в значительной степени облегчает работу по анализу аварийности на море в определенном временном диапазоне, составлению необходимых графиков и диаграмм распределения АС по годам, классификации, видам и пр. Любой аварийный случай, произошедший с судами на море (произошедший как в прямой связи с эксплуатацией судна так и не связанный с эксплуатацией судна, например несчастный случай (получение травмы любой тяжести или гибели) должен рассматриваться с точки зрения риск-ориентированного подхода, с оценкой тяжести потенциальных негативных последствий возможного несоблюдения юридическими лицами и индивидуальными предпринимателями обязательных требований. Оценка проводится с учетом возможной степени тяжести потенциальных случаев причинения вреда и (или) возможной частоты возникновения и масштаба распространения потенциальных негативных последствий в рамках подобных случаев причинения вреда и (или) с учетом трудности преодоления возникших в их результате негативных последствий возможного несоблюдения обязательных требований.

Заключение

Таким образом, программа «Надзор» предоставляет следующие преимущества:

1. Разработка планов с минимальными трудозатратами;
2. Повышение качества планирования;
3. Привязка результатов контрольно-надзорной деятельности к конкретной проверке и к сотрудникам, проводящим проверку;
4. Контроль за уплатой наложенных штрафов;
5. Контроль исполнения юридическими лицами предписанных мероприятий;
6. Оперативное редактирование реестра поднадзорных субъектов;
7. Возможность проверки статуса субъекта в ИФНС в автоматическом режиме;
8. Создание административной истории юридических и должностных лиц, поднадзорных Управлению.
9. Учет аварийности на море в зоне ответственности управления;
10. Возможность получения графических зависимостей количества АС приходящихся на определенный промежуток времени;
11. Компиляция и анализ КНД для выработки риск-ориентированного подхода при планировании деятельности работы территориального управления;
12. Категорирование ЮЛ и ИП по категориям риска и классам (категориям) опасности;
13. Анализ качества «человеческого фактора» с точки зрения системы подготовки и дипломирования в зоне ответственности управления.

Литература

1. Морская доктрина Российской Федерации на период до 2020 года, утверждена приказом Президента Российской Федерации 27.06.2001 года № 1387.
2. Гургов Б. Ш. Государственный контроль и надзор на морском и внутреннем водном транспорте / электронный ресурс / доступ: <http://отрасли-права-РФ/article/19030>
3. Постановление Правительства Российской Федерации от 17 августа 2016 г. № 806 «О применении риск-ориентированного подхода при организации отдельных видов государственного контроля (надзора) и внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации».
4. Федеральный закон от 29.06.2015 №188 "О внесении изменений в Федеральный закон "Об информации, информационных технологиях и о защите информации" и статью 14 Федерального закона "О контрактной системе в сфере закупок товаров, работ, услуг для обеспечения государственных и муниципальных нужд";
5. Федеральный закон «Об информации, информационных технологиях и о защите информации» от 27.07.2006 №149-ФЗ (ред. от 13.07.2015);
6. Гомзяков М.В., Чепцов Н.Р., Оловянный А.Л. Международное и российское морское законодательство [текст]: Сб. тестовых заданий / – Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2007. – 140 с.;
7. Федеральный закон 294-ФЗ Федеральный закон от 26 декабря 2008 г. № 294-ФЗ «О защите прав юридических лиц и индивидуальных предпринимателей при осуществлении государственного контроля (надзора) и муниципального контроля» (с изменениями и дополнениями);
8. Федеральный закон от 4 мая 2011 г. № 99-ФЗ «О лицензировании отдельных видов деятельности» (с изменениями и дополнениями);
9. Кодекс торгового мореплавания Российской Федерации от 30 апреля 1999 г. № 81-ФЗ (с изменениями и дополнениями);
10. Положение о порядке расследования аварий или инцидентов на море (ПРАИМ-2013), утвержденное Приказом Министра транспорта Российской Федерации от 08 октября 2013 года № 308 (зарегистрировано в Минюсте России 19.02.2014 г. регистрационный № 31355).

References

1. Morskaya doktrina Rossijskoj Federatsii na period do 2020 goda, utverzhdena prikazom Prezidenta Rossijskoj Federatsii 27.06.2001 goda № 1387.
2. Gurgov B. SH. Gosudarstvennyj kontrol' i nadzor na morskome i vnutrennem vodnom transporte / ehlektronnyj resurs / dostup: <http://otrasli-prava-RF/article/19030>
3. Postanovlenie Pravitel'stva Rossijskoj Federatsii ot 17 avgusta 2016 g. № 806 «O primenenii risk-orientirovannogo podkhoda pri organizatsii otdel'nykh vidov gosudarstvennogo kontrolya (nad-zora) i vnesenii izmenenij v nekotorye akty Pravitel'stva Rossijskoj Federatsii».
4. Federal'nyj zakon ot 29.06.2015 №188 "O vnesenii izmenenij v Federal'nyj zakon "Ob informatsii, informatsionnykh tekhnologiyakh i o zashhite informatsii" i stat'yu 14 Federal'nogo zakona "O kontraktnoj sisteme v sfere zakupok tovarov, rabot, uslug dlya obespecheniya gosudarstvennykh i munitsipal'nykh nuzhd";
5. Federal'nyj zakon «Ob informatsii, informatsionnykh tekhnologiyakh i o zashhite informatsii» ot 27.07.2006 №149-fz (red. ot 13.07.2015);
6. Gomzyakov M.V., Sheptsov N.R., Olovyannikov A.L. Mezhdunarodnoe i rossijskoe morskoe zakonodatel'stvo [tekst]: Sb. testovykh zadaniy / – Vladivostok: Mor. gos. un-t, 2007. – 140 s.;
7. Federal'nyj zakon 294-FZ Federal'nyj zakon ot 26 dekabrya 2008 g. № 294-FZ «O zashhite prav yuridicheskikh lits i individual'nykh predprinimatelej pri osushhestvlenii gosudarstvennogo kontrolya (nadzora) i munitsipal'nogo kontrolya» (s izmeneniyami i dopolneniyami);
8. Federal'nyj zakon ot 4 maya 2011 g. № 99-FZ «O litsenzirovanii otdel'nykh vidov deyatel'nosti» (s izmeneniyami i dopolneniyami);
9. Kodeks torgovogo moreplavaniya Rossijskoj Federatsii ot 30 aprelya 1999 g. № 81-FZ (s izmeneniyami i dopolneniyami);
10. Polozhenie o poryadke rassledovaniya avarij ili intsidentov na more (PRAIM-2013), utverzhdennoe Prikazom Ministra transporta Rossijskoj Federatsii ot 08 oktyabrya 2013 goda № 308 (zaregistrirovano v Minyuste Rossii 19.02.2014 g. registratsionnyj № 31355).

УДК 656. 61

ГОСУДАРСТВЕННОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ СУДОХОДСТВА ПО АКВАТОРИИ СЕВЕРНОГО МОРСКОГО ПУТИ В ЧАСТИ ОБЕСПЕЧЕ- НИЯ ЕГО БЕЗОПАСНОСТИ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ НОРМАТИВНО- ПРАВОВОЙ БАЗЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ: СОСТОЯНИЕ, ПРОБЛЕМЫ, РЕШЕНИЯ

Александр Анатольевич Луговец

доктор экономических наук, доцент
профессор кафедры Управления морским транспортом
Морской государственной университет им. адм. Г.И. Невельского
690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, д.50 – а
е-мэйл: alal@list.ru

Валерий Анатольевич Курбенков

кандидат политических наук
заведующий кафедрой Морского права
Морской государственной университет им. адм. Г.И. Невельского
690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, д.50 – а
е-мэйл: kurbenkov@msun.ru

Аннотация

Сегодня арктическая тема весьма обширна и охватывает множество вопросов - это и создание транспортной инфраструктуры, комфортных условий проживания, обеспечение национальной безопасности, строительство ледокольного флота, формирование национальной базы сопутствующих производств и технологических наработок. Морской транспорт в северных широтах арктической и субарктической зон является в настоящее время практически безальтернативным и наиболее эффективным и его роль в перспективе значительно возрастет. Стоит также отметить, что, несмотря на положительную динамику развития ряда направлений деятельности российского торгового мореплавания, в этой области сохраняется много неразрешенных внутренних проблем, поэтому вопросы государственного регулирования судоходства по акватории Северного морского пути в части обеспечения безопасности и совершенствования нормативно-правовой базы Российской Федерации являются актуальными и в настоящее время.

Ключевые слова: *Северный морской путь, государственное регулирование судоходства, безопасность мореплавания, морской транспорт, нормативно-правовое регулирование*

STATE REGULATION OF SUDOHODSTVA IN THE WATERS OF THE NORTHERN SEA ROUTE TO ENSURE SAFETY AND TO IMPROVE THE REGULATORY FRAMEWORK OF THE RUSSIAN FEDERATION: STATE, PROBLEMS, SOLUTIONS

Aleksandr Anatolievich Lugovets

Associate professor, Dr. Sci. Economics
Professor of department of Maritime transportation management
Maritime state university named Admiral G. Nevelskoy
50 – a, Verkhneportovaya st., 690059, Vladivostok, Russia
e-mail: alal@list.ru

Valery Anatolyevich Kurenkov

Cand. Sci. Politics
Director of department of Law of the sea
Maritime State University named after admiral G. I. Nevelsoi
Verkhneportovaya, 50a. Vladivostok 690069
E-mail: kurbenkov@msun.ru

Abstract

Today the Arctic theme is very extensive and covers a lot of questions - and the creation of transport infrastructure, comfortable living conditions, national security, the construction of the icebreaker fleet, the formation of a national database of related industries and technological developments. Maritime transport in the Northern latitudes of the Arctic and subarctic zones is at present virtually no alternative and the most effective and its role in the future will increase significantly. It is also worth noting that, despite the positive development dynamics of the number of activities of Russian merchant shipping in this area, there are still many unresolved internal problems, so the issues of state regulation of navigation in the waters The Northern sea route to ensure safety and improve the regulatory framework of the Russian Federation are relevant in the present time.

Keywords: *the Northern sea route, state regulation of navigation, safety of navigation, Maritime transport, legal regulation*

Введение

В последнее время тема использования Северного морского пути стала одной из самых популярных тем, т.к. по мнению одних это наиболее выгодный и надежный ключ к природным кладовым Севера, Сибири и Дальнего Востока, использование которого позволит экономически развивать Арктический регион, по мнению других специалистов – это новая транспортная магистраль, кратчайший путь между Северной Европой и Азиатско-Тихоокеанским регионом [1, 2, 3].

Одной из особенностей Северного морского пути (далее – СМП) в отличие от большинства транспортных коммуникаций, является то, что СМП не имеет единой фиксированной судоходной трассы. В течение года СМП перемещается на значительные расстояния в широтном направлении. При этом большая часть трасс располагается в пределах исключительной экономической зоны, территориального моря либо внутренних вод России, т.е. проходит в пространствах, подчиненных ее суверенитету и юрисдикции. Отдельные участки трасс в тот или иной период времени пролегают за пределами исключительной экономической зоны России в Арктике.

Сегодня СМП для России – это наиболее выгодный и надежный ключ к природным кладовым Севера, Сибири и Дальнего Востока. Значение СМП как транспортной магистрали для северных районов и России в целом определяется, прежде всего, потребностями хозяйственного освоения и обустройства прилегающих к трассе территорий. Морской транспорт в северных широтах арктической и субарктической зон является в настоящее время практически безальтернативным и наиболее эффективным способом завоза технологического оборудования, энергоносителей, промышленных товаров, продовольствия, необходимых для функционирования территориальных хозяйственных комплексов, расположенных в прибрежных зонах Севера России. Его роль в перспективе значительно возрастет с освоением прибрежных и шельфовых углеводородных месторождений в Тимано-Печорской провинции, бассейнах рек Оби и Енисея, газового Ямальского месторождения, газоконденсатных месторождений шельфа Баренцева и Карского морей, как за счет завоза технологического оборудования и

необходимых грузов для функционирования промышленных и социальных объектов производства и инфраструктуры, жизнеобеспечения населения этих объектов, так и вывоза энергоносителей [4].

В соответствии со Стратегией развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2020 года, утвержденной Президентом Российской Федерации [5] в целях совершенствования системы государственного управления социально-экономическим развитием Арктической зоны Российской Федерации предусматривается, в том числе совершенствование нормативно-правовой базы Российской Федерации в части государственного регулирования судоходства по акватории Северного морского пути, обеспечения его безопасности, тарифного регулирования услуг в области ледокольного и иных видов обеспечения, а также развитие механизмов страхования.

В настоящей работе мы рассмотрим и проанализируем вопросы совершенствования, нормативно-правовой базы РФ в части государственного регулирования судоходства по акватории СМП и обеспечения его безопасности.

1. Совершенствование нормативно-правовой базы, регулирующей судоходство Северного морского пути

С правовой точки зрения российское законодательство определяет СМП как исторически сложившуюся национальную транспортную коммуникацию РФ, что закреплено в статье 14 Федерального закона от 31 июля 1998 г. № 155-ФЗ «О внутренних морских водах, территориальном море и прилегающей зоне Российской Федерации» [6].

Понятие акватория СМП и границы установлены на законодательном уровне пункт 1 статьи 5.1. Кодекса торгового мореплавания Российской Федерации от 30.04.1999 № 81-ФЗ (далее – КТМ). Так под акваторией СМП понимается водное пространство, прилегающее к северному побережью РФ, охватывающее внутренние морские воды, территориальное море, прилегающую зону и исключительную экономическую зону РФ и ограниченное с востока линией разграничения морских пространств с Соединенными Штатами Америки и параллелью мыса Дежнева в Беринговом про-

ливе, с запада меридианом мыса Желания до архипелага Новая Земля, восточной береговой линией архипелага Новая Земля и западными границами проливов Маточкин Шар, Карские Ворота, Югорский Шар [7].

В целях обеспечения безопасности мореплавания, а также предотвращения, сокращения и сохранения под контролем загрязнения морской среды с судов разработаны и в 2013 г. введены в действие Правила плавания в акватории СМП [8], регламентирующие, в том числе порядок организации плавания и проводки судов в акватории СМП, правила ледокольной, ледовой лоцманской проводки судов в акватории Северного морского пути, положение о навигационно-гидрографическом и гидрометеорологическом обеспечении плавания судов, правила осуществления связи по радио при плавании судов в акватории СМП [7], определены требования к судам.

Правила создают единую систему управления в акватории СМП и современную инфраструктуру, обеспечивающую безопасные условия плавания судов в арктических морях, включая навигационно-гидрографическое обеспечение и ледокольное сопровождение.

Указанные выше Правила разработаны и приняты с учетом положений законодательства РФ и норм международного права, в частности не без исключения положений Конвенции ООН по морскому праву 1982 г., регламентирующей, что «прибрежные государства имеют право принимать и обеспечивать соблюдение недискриминационных законов и правил по предотвращению, сокращению и сохранению под контролем загрязнения морской среды с судов в покрытых льдами районах в пределах исключительной экономической зоны, где особо суровые климатические условия и наличие льдов, покрывающих такие районы в течение большей части года, создают препятствия либо повышенную опасность для судоходства, а загрязнение морской среды могло бы нанести тяжелый вред экологическому равновесию или необратимо нарушить его» [10].

В соответствии с пунктом 3 статьи 5.1 КТМ организация плавания судов в акватории СМП осуществляется Администрацией СМП, созданной в форме федерального казенного учреждения (далее - Администрация СМП) и в целях реализации Федерального закона от 28 июля 2012 года № 132-ФЗ «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации в части государственного регулирования торгового мореплавания в акватории Северного морского пути» [7].

Администрация СМП является учреждением, подведомственным Федеральному агентству морского и речного транспорта, и на него возложены полномочия по организации плавания судов в акватории. Основными целями и предметом деятельности Администрация СМП являются организация плавания судов, обеспечение безопасности мореплавания и защита морской среды от загрязнения с судов в акватории СМП. Для достижения поставленных целей Администрация

СМП выполняет ряд функций, среди которых: прием заявлений о получении разрешения на плавание судов в акватории, рассмотрение таких заявлений и выдача разрешений; выдача удостоверений лицам, осуществляющим ледовую лоцманскую проводку о праве ледовой лоцманской проводки; мониторинг гидрометеорологической, ледовой и навигационной обстановки; содействие в организации проведения поисковых и спасательных операций в акватории СМП и другие.

В акватории СМП действует разрешительный порядок плавания судов, разрешение выдается Администрацией СМП на основании заявления заинтересованного лица, в котором указывается полная информация, о заявителе включая идентификационный номер Международной морской организации при наличии, с подтверждением наличия на судне Правилами плавания в акватории СМП. (По итогам за 2016 год Администрацией СМП было выдано 718 разрешений на плавание в акваториях СМП, в том числе 144 разрешений судам под иностранным флагом).

Администрация СМП расположена в городе Москва с филиалом в городе Архангельск, что с учетом возложенных на нее функций, а именно организация плавания в акватории СМП, оказание содействия в организации поисковых и спасательных операций, мониторинг гидрометеорологической, ледовой и навигационной обстановки, обеспечения безопасности мореплавания и защиты морской среды от загрязнения с судов, по мнению автора, является не приемлемым с точки зрения безопасности [11].

Здесь также можно привести слова директора департамента флота FESCO Владимира Чаброва, который считает, что развитию СМП препятствуют слабая портовая инфраструктура, отсутствие ремонтных и бункеровочных баз, высокая стоимость ледокольной проводки, дефицит кадров и другие факторы, и если в западной части Арктики ряд проектов по развитию СМП получили толчок к развитию, то в восточной части региона эта работа находится пока в начальной стадии.

С учетом анализа положений Правил плавания в акватории СМП стоит обратить внимание на то, что Правила не определяют понятие «судно» и, следовательно, возникает противоречие закона в части применения положений внутреннего российского законодательства. Так, если рассматривать Правила как внутренний специализированный акт, регламентирующий особый порядок, распространяющийся исключительно на национальную транспортную коммуникацию РФ - акваторию СМП, то следует применять Кодекс внутреннего водного транспорта Российской Федерации [12] (далее - КВВТ), положения которого распространяются на внутренние водные пути РФ, порты, расположенные на внутренних водных путях РФ, суда и иные плавучие объекты, эксплуатируемые на внутренних водных путях РФ. Не распространяющиеся, за исключением случаев, прямо предусмотренных в Кодексе на военные корабли и на суда, находящиеся в государственной или муниципальной собственности и

эксплуатируемые только в некоммерческих целях (ст. 1 КВВТ).

Если же говорить о КТМ в котором включено положение регламентирующее плавание в акватории СМП (ст. 5.1 КТМ), то под «судном» понимается самоходное или несамоходное плавучее сооружение, используемое в целях торгового мореплавания (ст. 7 КТМ), т.е. без каких-либо ограничений.

С учетом изложенного следует, что Правила плавания в акватории СМП распространяют свое действие, в том числе на военные корабли и на суда, находящиеся в государственной или муниципальной собственности и эксплуатируемые только в некоммерческих целях, без каких-либо особых требований к статусу судна.

Проводя дальнейший анализ Правил плавания в акватории СМП можно рекомендовать внесение следующих изменений и дополнений.

1. Согласно пункту 2 Правил в акватории СМП действует разрешительный порядок плавания судов. При этом пунктом 11 Правил определено, что в случае принятия Администрацией СМП решения об отказе в выдаче разрешения, заявителю направляется по электронной почте уведомление, подписанное руководителем Администрации СМП (или лицом, его замещающим), в котором указываются причины отказа в выдаче разрешения. В то же время в самих Правилах не определено, в каких случаях заявителю может быть отказано в выдаче разрешения на плавание в акватории СМП [8].

В данной связи полагаем целесообразным внести изменения в Правила, определив критерии, по которым заявителю может быть отказано в выдаче разрешения на плавание в акватории СМП.

2. Кроме того, на наш взгляд, следует внести изменения и в перечень сведений, указываемых заявителем для получения разрешения на плавание в акватории СМП, дополнив их сведениями о членах экипажа, в том числе их гражданстве, поскольку каких-либо ограничений для иностранных физических/юридических лиц не установлено.

3. Согласно Приложению № 1 к Правилам заявитель обязан предоставить информация о наличии у капитана судна стажа плавания во льдах в акватории СМП в качестве капитана судна или старшего помощника капитана с указанием названия судна, номера ИМО судна и сроков, когда капитан судна или старший помощник капитана осуществлял плавание в акватории СМП. При этом Правилами не установлено, какой стаж является минимально необходимым для получения разрешения на плавание в акватории СМП. В случае отсутствия установленных требований к стажу, указание на длительность стажа не влияет на выдачу разрешения на плавание в акватории СМП и носит формальный характер и не отвечает поставленным целям обеспечения безопасности плавания в акватории СМП.

Вместе с тем, учитывая особый правовой статус СМП, а также необходимость обеспечения

безопасности судоходства в данной акватории, полагаем необходимым установить минимальный стаж во льдах в акватории СМП в качестве капитана судна или старшего помощника капитана – например не менее 2 месяцев за одну навигацию.

4. На сегодняшний день Правилами предусматривается возможность проведения ледокольной проводки и ледовой лоцманской проводки. Вместе с тем Правилами не определены случаи, в которых проведение ледовой лоцманской проводки является обязательным.

5. В соответствии с пунктом 31 Правил, ледовая лоцманская проводка судов осуществляется с целью обеспечения безопасности плавания судов и предотвращения происшествий с судами, а также защиты морской среды в акватории СМП.

Какие-либо критерии обязательности ее проведения не установлены, в связи, с чем предлагаем установить:

1) ледовая лоцманская проводка судов являться обязательной;

2) лоцманом может быть лицо, имеющее стажа плавания во льдах в акватории СМП не менее 3 месяцев в качестве капитана судна или старшего помощника капитана судна за одну навигацию.

КТМ в статье 107 устанавливает, что правила, установленные главой XX КТМ, применяются к подъему, удалению и уничтожению имущества, затонувшего в пределах внутренних морских вод или территориального моря РФ, а также к подъему, удалению и уничтожению имущества, затонувшего в акватории СМП. Вместе с тем полагаем, что требуется установить специальные правила подъема, удаления и уничтожения имущества, затонувшего в пределах Северного морского пути, а именно установить более короткие сроки для подъема затонувшего имущества, а именно срок, не превышающий 6 месяцев.

Также полагаем необходимым внести и изменения в Кодекс об административных правонарушениях Российской Федерации, предусмотрев отдельной статьей, ответственность физических и юридических лиц за нарушение правил судоходства в акватории СМП, загрязнение окружающей среды.

В соответствии с распоряжением Правительства РФ от 22 ноября 2008 года № 1734-р «О Транспортной стратегии Российской Федерации» в целях обеспечения доступности транспортных услуг по перевозке грузов в районах Крайнего Севера, Сибири, Дальнего Востока и удаленных регионах России, в том числе по СМП предусмотрена реализация мероприятий, направленных на поощрение паромного сообщения, в том числе: на упрощение портовых формальностей и приоритетное оформление в пунктах пропуска; организацию приоритетного оказания услуг, обработки и обслуживания в портах.

Вместе с тем в нормативно-правовых актах отсутствуют вышеуказанные требования, которые бы предусматривали особенности обслуживания в портах, расположенных в акватории СМП. При этом полагаем, что принятие подобного акта, в котором будут унифицированы данные требова-

ния, не только отвечало бы положениям Транспортной стратегии РФ, но и повысило бы экономическую привлекательность СМП.

2. Государственное регулирование судоходства Северного морского пути и обеспечение безопасности

31 марта 2017 г. состоялось итоговое расширенное заседание Коллегии Федерального агентства морского и речного транспорта и Общественного совета при Росморречфлоте. В своем приветственном слове министр транспорта РФ Максим Соколов выделил основные приоритетные задачи агентства на ближайшую перспективу, среди которых – обеспечение безопасности и повышение конкурентоспособности морского и речного транспорта, сбалансированное развитие грузопотоков с использованием преимуществ каждого вида транспорта, вопросы подготовки кадров.

Заместитель министра транспорта РФ - руководитель Росморречфлота Виктор Олерский, выступая на данном заседании, в своем докладе, посвященном итогам работы отрасли в 2016 году, в частности отметил, что в Арктике создаются условия для использования Северного морского пути в качестве надежной транспортной магистрали между Европой и Азией, принимаются меры по обеспечению безопасности мореплавания и развития инфраструктуры на акватории Северного морского пути. Уже реализуется проект по экспорту угля из морского порта Диксон, закончилось проектирование нефтяного терминала «Таналау» в Енисейском заливе, продолжают работы по строительству объектов морского порта Сабетта, в этом году ожидается ввод в эксплуатацию объектов первого этапа.

В 2016 году агентство сконцентрировало работу на сохранении темпов развития инфраструктуры. В условиях жесткого ограничения бюджета очень тщательно отбирались объекты для финансирования, и шел поиск других инструментов финансирования. Большое внимание Росморречфлот уделяет вопросам обеспечения аварийно-спасательной готовности, комплексной безопасности, подготовки кадров, управления государственным имуществом.

Международное сотрудничество в Арктике продолжается, несмотря на санкции. Такое мнение в интервью телеканалу «Россия 24» высказал заместитель председателя правительства России Дмитрий Рогозин. По его словам, IV Международный Арктический Форум «Арктика – территория диалога» открыт для всех иностранных участников. «Нам есть что сказать и нам нечего стесняться». Он подчеркнул, что Россия имеет обширные планы по освоению Арктики, предполагающие сохранение ее экологии, что отличает российскую арктическую повестку дня от манипулирования экологической темой некоторыми странами, не желающими российского присутствия в Арктике. Дмитрий Рогозин отметил, что арктическая тема весьма обширна и охватывает

множество вопросов - это и создание транспортной инфраструктуры, комфортных условий проживания, обеспечение национальной безопасности, строительство ледокольного флота, формирование национальной базы сопутствующих производств и технологических наработок.

Все вышеуказанные выступления целиком и полностью коллегируются с принятой и утвержденной президентом Российской Федерации Основной государственной политикой Российской Федерации в Арктике на период до 2020 года.

Как мы видим, централизованная государственная политика РФ выделяет одним из стратегических приоритетов в Арктике – это возрождение СМП, в целях ее достижения в Арктике государству следует решить следующие основные задачи:

1) обеспечить реструктуризацию объемов грузоперевозок по Северному морскому пути, в том числе за счет государственной поддержки строительства судов ледокольного, аварийно-спасательного и вспомогательного флотов, а также береговой инфраструктуры;

2) сформировать систему контроля за обеспечением безопасности судоходства, управлением транспортными потоками в районах интенсивного движения судов, в том числе за счет реализации комплекса мер по гидрометеорологическому и навигационному обеспечению в Арктической зоне Российской Федерации;

3) развитие пограничной инфраструктуры Арктической зоны Российской Федерации и техническое переоснащение пограничных органов;

4) создать надежную систему оказания навигационных, гидрометеорологических и информационных услуг, обеспечивающую эффективный контроль хозяйственной, военной, экологической деятельности в Арктике, а также прогнозирование и предупреждение чрезвычайных ситуаций, снижение ущерба в случае их возникновения, в том числе за счет применения глобальной навигационной спутниковой системы ГЛОНАСС и многоцелевой космической системы.

Следует отметить, что отношения российского государства к СМП находят отражение и в Морской доктрине РФ на период до 2020 года [13], определяющим национальную морскую политику РФ [5].

Согласно доктрине морские перевозки составляют важнейшее значение как в обеспечении внутригосударственных перевозок, особенно в регионах, где морской транспорт является альтернативным видом транспорта, так и во внешнеэкономической деятельности.

В Арктическом региональном направлении для создания условий деятельности российского флота в Баренцевом, Белом и других арктических морях, на трассе СМП, а также в северной части Атлантики доктрина регламентирует решение следующих долгосрочных задач:

1) защита интересов РФ в Арктике;

2) создание судов ледового класса для морских перевозок, специализированных судов для

рыбопромыслового, научно-исследовательского и других специализированных флотов;

3) учет оборонных интересов государства при разведке и разработке запасов биоресурсов и минерального сырья в исключительной экономической зоне и на континентальном шельфе РФ;

4) создание условий, в том числе и с привлечением возможностей региона, для базирования и использования составляющих морского потенциала, обеспечивающих защиту суверенитета, суверенных и международных прав РФ на Арктическом региональном направлении;

5) обеспечение национальных интересов РФ в отношении СМП, централизованное государственное управление этой транспортной системой, ледокольное обслуживание и предоставление равноправного доступа заинтересованным перевозчикам, в том числе иностранным;

6) консолидация усилий и ресурсов федерального центра и субъектов РФ для развития арктического судоходства, морских и речных устьевых портов и осуществления Северного завоза, а также информационных систем, обеспечивающих указанную деятельность.

Конечно, реализация заложенных Морской доктрины РФ задач будет способствовать достижению высокой эффективности морской деятельности, защите и обеспечению национальных интересов и безопасности России в Мировом океане.

Президент России Владимир Путин в ходе международного форума «Арктика: территория диалога» заявил, что СМП станет круглогодичной транспортной артерией в ближайшее время. «Изменение ледовой обстановки, появление новых, современных судов делает его практически круглогодичной артерией, во всяком случае, в ближайшее время, уверен, так и произойдет, причём эффективной и надёжной, имеющей огромный потенциал для российской и для глобальной экономики», - сказал Владимир Путин. «Приглашаем наших иностранных коллег активно использовать возможности Севморпути, что позволит снизить издержки и сроки доставки грузов между Европой и Азией. При этом хорошо понимаем: для того, чтобы этот коридор был конкурентоспособным, универсальным, востребованным для перевозки всех типов грузов – от сырья до контейнеров, – необходимо сформировать для транспортных компаний максимально благоприятные условия, отвечающие самым современным международным стандартам в этой сфере», - сказал президент. По прогнозу Владимира Путина, объем перевозок по Севморпути достигнет 30 млн тонн в год к 2035 году.

Президент отметил, что поручил правительству проработать вопросы создания отдельной структуры, ответственной за комплексное развитие СМП и прилегающих опорных территорий, включая инфраструктуру, гидрографию, безопасность, управление и все необходимые при этом сервисы [14].

Стоит также сказать, что, несмотря на положительную динамику развития ряда направлений

деятельности российского торгового мореплавания, в этой области сохраняется много неразрешенных внутренних проблем.

Так в частности, чтобы начать приводить маршрут в соответствие с международными стандартами морского судоходства Администрации СМП необходимо решить первоочередную проблему – это обеспечение безопасности прохода судов по СМП.

Зарубежные специалисты и судовладельцы, перспективно оценивающие потенциал СМП, ставят вопрос о необходимости максимального снижения факторов дополнительных рисков, так анализируя опыт работы с российскими северными портами, они говорят о недостаточной информированности о возможностях морских портов для проведения грузовых операций, предоставления услуг по судоремонту и ликвидации последствий аварий, о плохом оборудовании портов, больших простоях под грузовыми операциями и возможности, в нынешнем их состоянии морских портов, пропускать большие объемы транзита [15].

Важное значение для транспортировки грузов имеет материально-техническое обеспечение морских портов, не зависимо от региона, а если говорить о морских портах расположенных в суровых климатических условиях, то хорошее материально-техническое обеспечение является, прежде всего, безопасностью для судоходства и, следовательно безопасностью от загрязнения морской среды.

В подтверждении можно привести также слова Президент Российской Федерации Владимир Путин, который выступая в декабре 2016 года на Государственном совете Российской Федерации «Об экологическом развитии Российской Федерации в интересах будущих поколений» одним из ключевых вопросов обозначил «достижение кардинального снижения выбросов вредных веществ в атмосферу, их сбросов в водоёмы и в почву». По итогам заседания Госсовета в числе поручений президента – разработка плана действий, направленных на усиление позиций России при формировании международной природоохранной повестки, а также при обсуждении вопросов, касающихся формирования системы компенсаций (платежей) за экосистемные услуги, исходя из понимания роли России как экологического донора [16].

Аналогичное мнение высказал и спецпредставитель президента Российской Федерации по вопросам природоохранной деятельности, экологии и транспорта Сергей Иванов 30 марта 2017 года, отвечая на вопрос корреспондента ИАА «ПортНьюс» в ходе форума «Арктика – территория диалога» в Архангельске - «Позиция Российской Федерации в дискуссиях о возможности введения компенсационных платежей для морских судов за выбросы CO² при использовании судового топлива не должна противоречить российским национальным интересам».

Сергей Иванов также отметил: «Мы понимаем, что без самого широкого международного со-

трудности решить глобальные экологические проблемы невозможно.

В этой связи Иванов также подчеркнул, что никакие внешнеполитические разногласия не отражаются на сотрудничестве стран Арктического совета. «Очень приятно, что на все известные внешнеполитические проблемы, прежде всего, связанные с российско-американскими отношениями, это никак не сказывается на арктическом сотрудничестве», - сказал он [17].

В целях предотвращения загрязнений и расширением деятельности по разведке и добыче ресурсов на арктическом континентальном шельфе и интенсификацией судоходства ИМО приняла в 2015 году *Международный кодекс для судов, эксплуатируемых в полярных водах*, так же известный, как *Полярный кодекс*, который вступил в силу 01.01.2017 года. Он ужесточил требования к эксплуатируемым в Арктике судам, запретил сброс нефти и нефтепродуктов в море, ограничил другие вредные выбросы в окружающую морскую среду [18].

Считаем что, это лишь начало пути по увеличению уровня безопасности мореплавания и защите окружающей среды, а также по ликвидации правовых коллизий в морском праве и его совершенствованию применительно к плаванию в арктических водах.

Заключение

В заключении стоит отметить, что не решенными по-прежнему остаются следующие вопросы: во-первых, государственное регулирование и обеспечение безопасности судоходства в акватории СМП; во-вторых, совершенствование нормативно-правовой базы РФ, регулирующей судоходство в акватории СМП.

Использование СМП в области государственного регулирования и обеспечения безопасности судоходства по акватории СМП, на наш взгляд, предполагает решение следующих задач:

1) на всем пути необходимо развить портовую инфраструктуру, которая отвечает, не только Российским требованиям безопасности мореплавания и охране морской среды от загрязнения, но и международным требованиям;

2) с учетом особенностей региона, следует предъявлять повышенные требования к техническим характеристикам судов, ледокольной проводки;

3) следует разрешить вопрос о запрете эксплуатации судов в Арктическом регионе с энергетическими установками на тяжелом топливе, их

необходимо заменить на суда использующие легкое топливо.

4) необходимо создать централизованную поисково-спасательную службу быстрого реагирования, которая будет способна в чрезвычайных ситуациях оказать необходимую помощь в акватории СМП.

В области совершенствования нормативно-правовой базы РФ регулирующей судоходств по акватории СМП:

1) полагаем целесообразным внести изменения в Правила плавания в акватории СМП, определив критерии, по которым заявителю может быть отказано в выдаче разрешения на плавание в акватории СМП;

2) следует внести изменения и в перечень сведений, указываемых заявителем для получения разрешения на плавание в акватории СМП, дополнив их сведениями о членах экипажа, в том числе их гражданстве, поскольку каких-либо ограничений для иностранных физических/юридических лиц не установлено;

3) полагаем необходимым установить минимальный стаж во льдах в акватории СМП в качестве капитана судна или старшего помощника капитана – например не менее 2 месяцев за одну навигацию;

4) предлагаем установить следующие критерии: ледовая лоцманская проводка судов являться обязательной; лоцманом может быть лицо имеющий обязательный стаж плавания во льдах в акватории СМП не менее 3 месяцев в качестве капитана судна или старшего помощника капитана судна за одну навигацию;

5) требуется установить специальные правила подъема, удаления и уничтожения имущества, затонувшего в пределах СМП, а именно установить более короткие сроки для подъема затонувшего имущества, а именно срок, не превышающий 6 месяцев;

6) необходимо внести изменений в Кодекс об административных правонарушениях Российской Федерации, предусмотрев отдельной статьей, ответственность физических и юридических лиц за нарушение правил судоходства в акватории СМП, загрязнение окружающей среды;

7) полагаем, что принятие нормативно правовых актов, предусматривающих особенности обслуживания в портах, расположенных в акватории СМП отвечало бы положениям Транспортной стратегии РФ, но и повысило бы экономическую привлекательность СМП.

Литература

1. Интервью заместителя Министра транспорта РФ Виктора Олерского «Интерфаксу» 05 декабря 2013г. – [электронный ресурс]. http://www.mintrans.ru/news/detail.php?ELEMENT_ID=21208
2. Арктика стала территорией диалога 04 октября 2010, по материалам газеты «Крайний Север» – [электронный ресурс] <http://www.chukotken.ru/articles/item160.html>
3. Гончарова М. Навигационное обеспечение СМП: из практики ОАО «Совкомфлот» // Морской флот. 2013. № 2. С. 28-30.

4. Роль северного морского пути в хозяйственном развитии и освоении северных территорий. Истомин А. В., Институт экономических проблем КНЦ РАН – [электронный ресурс] <http://helion-ltd.ru/rolofsevmorput>
5. "Стратегия развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2020 года" (утв. Президентом РФ) // Текст документа приведен в соответствии с публикацией на сайте <http://www.government.ru> по состоянию на 20.02.2013
6. Федеральный закон от 31.07.1998 № 155-ФЗ (ред. от 13.07.2015) «О внутренних морских водах, территориальном море и прилежащей зоне Российской Федерации» // Собрание законодательства РФ, 03.08.1998, № 31, ст. 3833.
7. "Кодекса торгового мореплавания Российской Федерации" от 30.04.1999 № 81-ФЗ (ред. от 07.02.2017) // Собрание законодательства РФ, 03.05.1999, № 18, ст. 2207.
8. Приказ Минтранса России от 17.01.2013 N 7 (ред. от 09.01.2017) "Об утверждении Правил плавания в акватории Северного морского пути" (Зарегистрировано в Минюсте России 12.04.2013 N 28120) // Российская газета, № 86, 19.04.2013.
9. Конвенции Организации Объединенных Наций по морскому праву (UNCLOS) (заключена в г. Монтего-Бее 10.12.1982) (с изм. от 23.07.1994) // Собрание законодательства РФ, 01.12.1997, № 48, ст. 5493.
10. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 15 марта 2013 года № 358-р. «О создании федерального государственного казенного учреждения» // "Собрание законодательства РФ", 25.03.2013, N 12, ст. 1365
11. Комментарии к статье «Для обеспечения безопасности плавания по Северному морскому пути необходимо восстанавливать порты обслуживания» – [электронный ресурс]. <http://www.dvinaland.ru/prcenter/release>
12. "Кодекс внутреннего водного транспорта Российской Федерации" от 07.03.2001 N 24-ФЗ (ред. от 03.07.2016) // "Российская газета", N 50-51, 13.03.2001.
13. Распоряжение Правительства РФ от 22.11.2008 N 1734-р (ред. от 11.06.2014) "О Транспортной стратегии Российской Федерации" // "Собрание законодательства РФ", 15.12.2008, N 50, ст. 5977, Собрание законодательства РФ", 29.12.2008, N 52 (ч. 2) (поправка).
14. "Северный морской путь станет круглогодичным в ближайшее время - Владимир Путин" // Текст документа приведен в соответствии с публикацией на сайте <http://portnews.ru> по состоянию на 30 марта 2017.
15. Северный морской путь: оценка зарубежных специалистов Пазовский В. М. – [электронный ресурс]. http://econom.nsc.ru/eco/ARHIV/ReadStatiy/08_01/pazovsk.htm
16. Об экологическом развитии Российской Федерации в интересах будущих поколений // Текст документа приведен в соответствии с публикацией на сайте <http://infonarod.ru> по состоянию на 30.12.2016.
17. Иванов отметил важность сотрудничества в Арктике при решении экологических проблем региона // Текст документа приведен в соответствии с публикацией на сайте <http://tass.ru/obschestvo/4140516> по состоянию на 30.03.2017.
18. Резолюция MSC.385(94) (принята 21 ноября 2014 года) Международный кодекс для судов, эксплуатируемых в полярных водах, так же известный (Полярный кодекс) // http://www.rise.odessa.ua/texts/MSC385_94.php3

References

1. Interv'yu zamestitelya Ministra transporta RF Viktora Olerskogo «Interfaksu» 05 dekabrya 2013g. – [ehlektronnyj resurs] http://www.mintrans.ru/news/detail.php?ELEMENT_ID=21208
2. Arktika stala territoriej dialoga 04 oktyabrya 2010, po materialam gazety «Krajnij Sever» – [ehlektronnyj resurs] <http://www.chukotken.ru/articles/item160.html>
3. Goncharova M. Navigacionnoe obespechenie SMP: iz praktiki OAO «Sovkomflot» // Morskij flot. 2013. № 2. S. 28-30.
4. Rol' severnogo morskogo puti v hozyajstvennom razvitii i osvoenii severnyh territorij. Istomin A. V., Institut ehkonomicheskikh problem KNC RAN – [ehlektronnyj resurs] <http://helion-ltd.ru/rolofsevmorput>
5. "Strategiya razvitiya Arkticheskoj zony Rossijskoj Federacii i obespecheniya nacional'noj bezopasnosti na period do 2020 goda" (utv. Prezidentom RF) // Tekst dokumenta priveden v sootvetstvii s publikaciej na sajte <http://www.government.ru> po sostoyaniyu na 20.02.2013
6. Federal'nyj zakon ot 31.07.1998 № 155-FZ (red. ot 13.07.2015) «O vnutrennih morskikh vodah, territorial'nom more i prilozhashchej zone Rossijskoj Federacii» // Sobranie zakonodatel'stva RF, 03.08.1998, № 31, st. 3833.

7. "Kodeksa torgovogo moreplavaniya Rossijskoj Federacii" ot 30.04.1999 № 81-FZ (red. ot 07.02.2017) // Sobranie zakonodatel'stva RF, 03.05.1999, № 18, st. 2207.
8. Prikaz Mintransa Rossii ot 17.01.2013 N 7 (red. ot 09.01.2017) "Ob utverzhdenii Pravil plavaniya v akvatorii Severnogo morskogo puti" (Zaregistrovano v Minyuste Rossii 12.04.2013 N 28120) // Rossijskaya gazeta, № 86, 19.04.2013.
9. Konvencii Organizacii Ob"edinennyh Nacij po morskomu pravu (UNCLOS) (zaklyuchena v g. Montego-Bee 10.12.1982) (s izm. ot 23.07.1994) // Sobranie zakonodatel'stva RF, 01.12.1997, № 48, st. 5493.
10. Rasporyazhenie Pravitel'stva Rossijskoj Federacii ot 15 marta 2013 goda № 358-r. «O sozdanii federal'nogo gosudarstvennogo kazennogo uchrezhdeniya» // "Sobranie zakonodatel'stva RF", 25.03.2013, N 12, st. 1365
11. Kommentarii k stat'e «Dlya obespecheniya bezopasnosti plavaniya po Severnomu morskomu puti neobhodimo vosstanavlivat' porty obsluzhivaniya» – [ehlektronnyj resurs].
<http://www.dvinaland.ru/prcenter/release>
12. "Kodeks vnutrennego vodnogo transporta Rossijskoj Federacii" ot 07.03.2001 N 24-FZ (red. ot 03.07.2016) // "Rossijskaya gazeta", N 50-51, 13.03.2001.
13. Rasporyazhenie Pravitel'stva RF ot 22.11.2008 N 1734-r (red. ot 11.06.2014) "O Transportnoj strategii Rossijskoj Federacii" // "Sobranie zakonodatel'stva RF", 15.12.2008, N 50, st. 5977, Sobranie zakonodatel'stva RF", 29.12.2008, N 52 (ch. 2) (popravka).
14. "Severnyj morskoy put' stanet kruglogodichnym v blizhajshee vremya - Vladimir Putin" // Tekst dokumenta priveden v sootvetstvii s publikaciej na sajte <http://portnews.ru> po sostoyaniyu na 30 marta 2017.
15. Severnyj morskoy put': ocenka zarubezhnyh specialistov Pazovskij V. M. – [ehlektronnyj resurs].
http://econom.nsc.ru/eco/ARHIV/ReadStatiy/08_01/pazovsk.htm
16. Ob ehkologicheskom razvitii Rossijskoj Federacii v interesah budushchih pokolenij // Tekst dokumenta priveden v sootvetstvii s publikaciej na sajte <http://infonard.ru> po sostoyaniyu na 30.12.2016.
17. Ivanov otmetil vazhnost' sotrudnichestva v Arktike pri reshenii ehkologicheskikh problem regiona // Tekst dokumenta priveden v sootvetstvii s publikaciej na sajte <http://tass.ru/obschestvo/4140516> po sostoyaniyu na 30.03.2017.
18. Rezolyuciya MSC.385(94) (prinyata 21 noyabrya 2014 goda) Mezhdunarodnyj kodeks dlya sudov, ehksplua-tiruemyh v polyarnyh vodah, tak zhe izvestnyj (Polyarnyj kodeks) // http://www.rise.odessa.ua/texts/MSC385_94.php3

УДК 656. 61

МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ОПТИМИЗАЦИИ СИСТЕМЫ ТРАНСПОРТНО-ЭКСПЕДИТОРСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДОСТАВКИ ГРУЗОВ В СМЕШАННОМ СООБЩЕНИИ

Елизавета Юрьевна Баранова

старший преподаватель кафедры Управления морским транспортом
Морской государственной университет им. адм. Г.И. Невельского
690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, д.50 – а
e-mail: eli-yurchenko@yandex.ru

Александр Анатольевич Луговец

доктор экономических наук, доцент
профессор кафедры Управления морским транспортом
Морской государственной университет им. адм. Г.И. Невельского
690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, д.50 – а
e-мэйл: alal@list.ru

Александр Радиевич Мельников

кандидат технических наук, доцент
профессор кафедры Управления морским транспортом
Морской государственной университет им. адм. Г.И. Невельского
690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, д.50 – а
e-mail: melnikovar@msun.ru

Марина Александровна Мельникова

кандидат психологических наук, доцент
доцент кафедры Менеджмента и логистики
Морской государственной университет им. адм. Г.И. Невельского
690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, д.50 – а
e-mail: melynikova@msun.ru

Виктор Михайлович Покидышев

кандидат технических наук, доцент
профессор кафедры Управления морским транспортом
Морской государственной университет им. адм. Г.И. Невельского
690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, д.50 – а
e-mail: vm@marintek.net.ru

Константин Анатольевич Сылка

соискатель кафедры Управления морским транспортом
Морской государственной университет им. адм. Г.И. Невельского
690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, д.50 – а
e-mail: s.zatepyakin@outlook.com

Анатолий Анатольевич Фунтусов

кандидат технических наук
доцент кафедры Управления морским транспортом
Морской государственной университет им. адм. Г.И. Невельского
690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, д.50 – а
e-mail: ilim81@yandex.ru

Аннотация

При разработке схем организации транспортно-экспедиторского обеспечения доставки грузов разработчики и организаторы схем сталкиваются с рядом трудностей. В статье рассмотрены ситуации, при которых организаторы транспортно-экспедиторского обеспечения доставки грузов не могут в полной мере использовать традиционные методы оптимизации схем доставки грузов, и предложен иной подход к решению поставленной оптимизационной задачи, а именно, оптимизация отдельных «звеньев» транспортной цепочки. Оптимизация процесса доставки может строиться на основе предпочтения одного показателя (без учета остальных) из «набора» критериев, служащих для оценки качества предоставляемых услуг, а также на основе предпочтения одновременно нескольких критериев оценки качества услуги, например, «времени» и «стоимости»

доставки. Построены алгоритмы, отражающие суть и содержание вариантов организации транспортно-экспедиторского обеспечения доставки грузов грузоотправителем и оператором смешанной перевозки. Предложены варианты решения задач при построении оптимальной схемы доставки груза с избранными показателями оценки качества предоставления транспортно-экспедиторской услуги: выбор оптимального звена, соединяющего две фиксированные точки пути и выбор оптимальной цепочки звеньев, соединяющих начальную и конечную точки пути. Предложенная методика проиллюстрирована примером.

В результате исследования показана необходимость верного выбора при определении «удельного веса» показателей, определяющих качество транспортно-экспедиторских услуг.

Ключевые слова: транспортно-экспедиторское обеспечение доставки грузов, грузоотправитель, оператор смешанной перевозки, «звенья» транспортной цепочки, критерии оценки качества транспортных услуг, оптимальная схема доставки грузов

THE METHODOLOGICAL SUBSTANTIATION OF OPTIMIZATION OF THE SYSTEM OF TRANSPORT AND FORWARDING SUPPORT FOR CARGO DELIVERY IN INTERMODAL TRAFFIC

Elizaveta Yurievna Baranova

Senior lecturer of department of Maritime transportation management
Maritime state university named Admiral G. Nevelskoy
50 – a, Verkhneportovaya st., 690059, Vladivostok, Russia
e-mail: eli-yurchenko@yandex.ru

Aleksandr Anatolievich Lugovets

Associate professor, Dr. Sci. Economics
Professor of department of Maritime transportation management
Maritime state university named Admiral G. Nevelskoy
50 – a, Verkhneportovaya st., 690059, Vladivostok, Russia
e-mail: alal@list.ru

Alexander Radievich Melnikov

Associate professor, Cand. Sci. Tech.
Professor of department of marine transport control
Maritime state university named Admiral G. Nevelskoy
50 – a, Verkhneportovaya st., 690059, Vladivostok, Russia
e-mail: melnikovar@msun.ru

Marina Alexandrovna Melnikova

Associate professor, Cand. Sci. Psych.
Associate professor of department of Management and logistics
Maritime state university named Admiral G. Nevelskoy
50 – a, Verkhneportovaya st., 690059, Vladivostok, Russia
e-mail: melynikova@msun.ru

Viktor Mikhailovich Pokidyshev

Associate professor, Cand. Sci. Tech.
Professor of department of Marine transport control
Maritime state university named Admiral G. Nevelskoy
50 – a, Verkhneportovaya st., 690059, Vladivostok, Russia
e-mail: vm@marintek.net.ru

Konstantin Anatolyevich Sylka

Applicant of Ph.D. of department of Marine transport control
Maritime state university named Admiral G. Nevelskoy
50 – a, Verkhneportovaya st., 690059, Vladivostok, Russia
e-mail: s.zatepyakin@outlook.com

Anatoly Anatolyevich Funtusov

Cand. Sci. Tech.
Associate professor of department of Marine transport control
Maritime state university named Admiral G. Nevelskoy
50 – a, Verkhneportovaya st., 690059, Vladivostok, Russia
e-mail: ilim81@yandex.ru

Abstract

While developing the patterns of arrangement of transport and forwarding support for cargo delivery, developers and organizers face some difficulties. The article deals with situations wherein the organizers of transport and forwarding support for cargo delivery cannot fully use traditional methods of optimization of cargo delivery patterns, and it suggests another approach to solution of the optimization task at hand, namely, optimization of specific "links" of a transportation chain. Optimization of the delivery process can be built on the basis of preference of one indicator (with no regard for other) from the "set" of criteria meant to assess the quality of services rendered, as well as on the basis of preference of several assessment criteria of service quality at the same time, for example, "time" and "cost" of delivery. Algorithms have been constructed which represent the essence and content of versions of the arrangement of transport and forwarding support for cargo delivery by the consignor and intermodal transportation operator. The article suggests the versions of solution of tasks while constructing an optimal cargo delivery pattern with selected indicators of quality assessment of rendering a transport and forwarding service: choice of an optimal link connecting two fixed points of the route and choice of an optimal link of chains connecting the start and final point of the route. The suggested method has been demonstrated with an example.

As a result of study we have shown a necessity of a correct choice when determining a "specific gravity" of indicators defining the quality of transport and forwarding services.

Key words: *transport and forwarding support for cargo delivery, consignor, intermodal transportation operator, "links" of transportation chain, assessment criteria of transport service quality, optimal cargo delivery pattern*

Основной целью разработки и (или) совершенствования схем организации транспортно-экспедиторского обеспечения (ТЭО) доставки грузов, вне зависимости от вариантов транспортировки и методов оптимизации представляемого (предлагаемого) заказчику комплекса транспортно-экспедиторских услуг, является достижение высокого уровня конкурентоспособности товара в месте или регионе его поставки.

Следует отметить, что в ходе достижения поставленной цели разработчики и организаторы схем ТЭО сталкиваются с определенными трудностями, так:

1. Грузоотправитель, организовывая ТЭО доставки грузов собственными силами, стеснен рамками ряда обстоятельств, ограничивающих его возможности, когда, например, не имея достаточной или достоверной базы данных по компаниям-контейнеровладельцам, он вынужден использовать под перевозку груза контейнеры либо железной дороги, либо отечественного морского перевозчика (в нашем примере – транспортная группа FESCO) на тех условиях, которые предъявят контейнеровладельцы. Сложность подобной ситуации в том, что доставив груз по назначению грузоотправитель обязан вернуть порожний контейнер его хозяину на территории России или на терминал отечественного судовладельца, например, в порту Пусан или Иокогама. Имеется и ряд других ограничений свободы действий грузоотправителя.

2. Оператор смешанной перевозки (ОСП), являясь, в отличие от грузовладельца, профессиональным организатором ТЭО доставки грузов, располагая значительными возможностями при выборе подрядчиков и соисполнителей, при определении и разработке вариантов и способов доставки грузов и т.д., также может быть ограничен в своих действиях. Например, когда маршрут

перевозки, так же как и виды транспорта «заданы», или их смена невозможна по причине безальтернативности.

Для представленных случаев характерно то, что организаторы ТЭО доставки грузов («грузоотправитель» и «оператор смешанной перевозки») не могут, в полной мере, использовать традиционные методы оптимизации схем доставки грузов, а именно: применять географическую ротацию маршрутов перевозки или проводить замену/смену видов транспорта и используемых способов перевозки и т.д. Здесь необходим несколько иной подход к решению поставленной оптимизационной задачи. Такой подход видится в следующем. Несмотря на заданность основных параметров на схеме доставки имеются участки («звенья» транспортной цепочки), на которых у организатора ТЭО сохраняется или имеется возможность того или иного выбора. О чем идет речь? К примеру, организатор перевозки может выбрать в качестве подрядчика одного из нескольких портовых экспедиторов или морского/океанского оператора из ряда судоходных компаний, осуществляющих перевозки на данной линии и т.д. Производя выбор, где это возможно, из числа нескольких предполагаемых исполнителей, организатор перевозки решает оптимизационную задачу. При этом, он полагается на собственный опыт, что более характерно для «организатора»-грузоотправителя или, опять-таки, на опыт и известную (транспортно-экспедиторскую) практику организации ТЭО доставки грузов, что более приемлемо в отношении ОСП. В обоих случаях организатор (грузоотправитель и ОСП), оптимизируя схему организации ТЭО, действует в рамках жестко заданных условий и параметров процесса доставки груза и руководствуется теми или иными критериями – предпочтениями. Причем, не имея возможности изменить основное

«содержание» транспортно-технологического аспекта уже определенной схемы доставки груза, организатор может оптимизировать, совершенствовать качественное состояние схемы.

Два примера:

1. Оптимизация процесса может строиться на основе предпочтения одного показателя (без учета остальных) из «набора» критериев, служащих для оценки качества предоставляемых услуг. Например, когда предпочтение отдается скорости доставки, без учета возможного (неизбежного) роста транспортных затрат или, наоборот, когда время доставки важной роли не играет, что также отразится на уровне расходов по перевозке. Это достаточно простая задача по определению max или min значения заданного (искомого) показателя.

2. Другая ситуация складывается, когда организатор перевозки или ее заказчик отдают предпочтение одновременно нескольким показателям (критериям) оценки качества услуги, например, стоимости и времени доставки (могут добавляться и другие – надежность, гибкость схемы доставки и т.д.), и «наделяют» их различным «удельным весом» в «двойном (многокритериальном) наборе» показателей. Самым сложным при постановке подобных оптимизационных задач в реальной практике является определение приоритетности и «удельного веса» тех или иных показателей (критериев) в многокритериальном «наборе».

На начальном этапе решения оптимизационной задачи необходимо выполнить построение алгоритмов, отражающих суть и содержание «грузоотправительского» и «операторского» вариантов организации ТЭО доставки грузов. Цель построения состоит в определении тех участков – «звеньев» транспортной цепочки, где для организатора ТЭО возможен выбор, например, конкретных (из нескольких) экспедитора, судовладельца, контейнеровладельца и т.д.

«Грузоотправительский» вариант (В1).

Основой алгоритма «грузоотправительского» варианта является схема, приведенная в [1], стр.12, рис.3.

Пояснение к алгоритму:

1. Подготовительный цикл (ПЦ) – подготовка отправителем документации, требуемой для перевозки груза по железной дороге и для перевалки в порту;

2. Информационные блоки (ИБ) включают операции по взаимному обмену информацией между участниками доставки груза, инструкции по заполнению и рассылке документации и подобные операции:

- а) На начальном этапе перевозки (наземный участок) – ИБ-1;
- б) По порту отправления груза – ИБ-2;
- с) По морской фидерной перевозке и перевалке в промежуточном порту – ИБ-3;
- д) По завершающей стадии перевозочного процесса – ИБ-4.

«Операторский» вариант В-2.

В основу алгоритма «операторского» варианта, отражающего процесс транспортно-

экспедиторского обеспечения доставки груза, организуемой ОСП, положена схема, представленная в [1], стр.13, рис.4.

1) Пояснение к алгоритму:

«Тендер» - выбор грузоотправителем ОСП;

2) Операционные блоки (ОБ):

- а) Операции ОСП с порожними контейнерами – ОБ1;
 - б) Операции по погрузке контейнеров на железнодорожные платформы – ОБ2;
 - с) Оформление и отправление контейнеров по железной дороге – ОБ3;
 - д) Операции по передаче контейнеров железной дорогой и приему их портом отправления – ОБ4;
 - е) Операции по отправлению контейнеров на судне из первого порта – ОБ5;
 - ф) Операции с грузом в порту перевалки и по отправлению контейнеров в порт назначения – ОБ6;
- 3) Информационные блоки (ИБ):
- а) информация и инструкции по порту отправления – ИБ1;
 - б) информация и инструкции по порту перевалки и по завершению процесса перевозки – ИБ2.

Построив алгоритмы переходим к рассмотрению задачи по оптимизации системы организации ТЭО доставки груза в смешанном сообщении, основанной на математических методах, включающих элементы теории графов и теории гарантированного оценивания.

Основные показатели, используемые заказчиками транспортно-экспедиторских услуг (или ОСП) для оценки их (услуг) качества, это надежность, стоимость, квалификация персонала, информационное обеспечение, время, гибкость.

В зависимости от приоритета показателя (показателей), организатор перевозки может выбрать ту или иную форму организации ТЭО доставки груза.

Разобьем весь участок пути на конечное число отрезков. Каждая точка разбиения характеризует изменение, по крайней мере, одного из рассматриваемых показателей оценки качества услуг. Временно исключим те точки и отрезки, где нет вариантов выбора способа «перемещения» груза из одной точки в другую, не обязательно географическую, но с обязательным изменением одного или нескольких показателей качества услуги. Представим приведенное описание на схеме (Рис. 1).

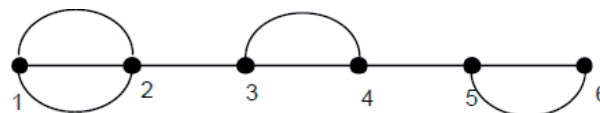


Рис 1. Весь участок «пути»

На отрезках «2-3» и «4-5» нет возможности выбора.

На схемах (Рис. 2 и 3) показаны точки и отрезки, где есть возможность выбора.

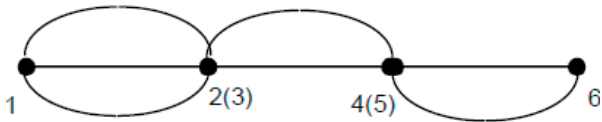


Рис 2. Весь участок «пути» с возможностью выбора



Рис 3. Весь участок «пути» с возможностью выбора

Решение основной задачи построения оптимальной схемы доставки груза с избранными (выбранными) показателями оценки качества услуги состоит в последовательном решении двух задач:

1. Выбор лучшего (оптимального) звена, соединяющего две фиксированные точки пути.

2. Выбор оптимальной цепочки звеньев (оптимального пути), соединяющих начальную и конечную точки пути.

Первая задача решается столько раз, сколько существует пар точек, соединенных звеньями, у которых при переходе от одной точки к другой изменяется значение, по крайней мере, одного показателя оценки качества услуги. Вторая задача решается один раз, но перед ее решением на схему пути «возвращаются» временно исключенные точки пути, т.е. происходит трансформация схемы от рис. 3 к рис. 1.

Постановка задачи.

Пусть имеется k показателей оценки качества услуги. Рассмотрим одно из m звеньев, для каждого из которых возможен выбор из n_i вариантов «перемещения» груза из одной точки в, $(A_{i-1}; A_i)$, $i=1, m.$, как показано на схеме (Рис. 4).

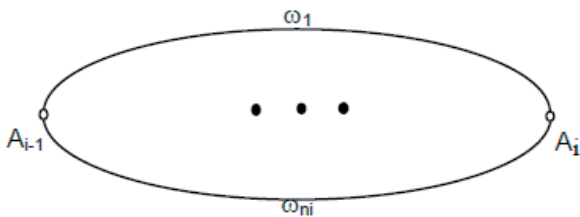


Рис. 4. «Перемещение» груза из точки в точку

Значения $\omega_j, j=1, n_i$ определяется следующим образом:

$$\omega_j = p_1 x_{j1} + p_2 x_{j2} + \dots + p_k x_{jk} = \sum_{l=1}^k p_l x_{jl} \quad (1),$$

где $\vec{p} = (p_1, p_2, \dots, p_k)^T$ – вектор удельных «весов» показателей оценки качества услуги,

$X = \{x_{jl}\}_{j=1, l=1}^{n_i, k}$ – информационная матрица одно-

го звена, строки которой содержат относительные значения показателей качества для каждого варианта, т.е. сумма элементов любого столбца равна «1».

Своя информационная матрица должна быть

задана:

$$X = X^{(i)} = \begin{pmatrix} k & \text{столбцов} \\ x_{11} & x_{12} & x_{1k} \\ x_{21} & x_{22} & x_{2k} \\ \dots & \dots & \dots \\ x_{n_i 1} & x_{n_i 2} & x_{n_i k} \end{pmatrix} \begin{matrix} n_i \\ \text{строк} \\ i = 1, \overline{m} \end{matrix} \quad (2)$$

априори для всех звеньев цепи, так же как и вектор \vec{p} , хотя для него, исходя из условий поставленной задачи, имеет смысл задавать единые значения для всех звеньев.

В матричной форме выражение (1) может быть записано как

$$\vec{\omega}^{(i)} = X^{(i)} \vec{p}, \quad i = 1, \overline{m} \quad (3)$$

Компоненты вектора $\vec{\omega}^{(i)} = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_{n_i})^T$

суть модификации k -мерного пространства показателей качества в одномерное пространство. Значение каждой компоненты состоит из определенного «вклада» каждого показателя оценки качества. Дальнейший выбор оптимального значения зависит от цели исследования. В случае

$$\omega^{*(i)} = \max_{j:1, n_i} \{\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_{n_i}\}, \quad i = 1, \overline{m} \quad (4)$$

таковой целью является определение наиболее затратного варианта перемещения груза из одной точки в другую из всех возможных вариантов (пути). Если

$$\omega^{** (i)} = \min_{j:1, n_i} \{\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_{n_i}\}, \quad i = 1, \overline{m} \quad (5)$$

то будет определен самый «дешевый», низкозатратный вариант – для заданного набора значений вектора \vec{p} .

Решением выражений (4) и (5) m раз завершается решение первой части поставленной задачи.

Перед началом решения второй части задачи по построению оптимальной схемы доставки груза необходимо восстановить исключенные для первого этапа участки пути ($m + m_1 = M$, где m_1 – число исключенных участков, не представляющих альтернативы).

Далее определяется значение ω для этих участков по формуле, аналогичной формуле (1).

$$\omega^{(i)} = p_1 x_1^{(i)} + p_2 x_2^{(i)} + \dots + p_k x_k^{(i)} = \sum_{l=1}^k p_l x_l^{(i)}, \quad i = \overline{m+1, M} \quad (6)$$

Вторая часть решения общей задачи заключается в следующем.

Объединяя выражения (4) и (6) или (5) и (6) получим

$$\vec{W}^* = \{\omega^{*(1)}, \omega^{*(2)}, \dots, \omega^{*(m)}, \omega^{(m+1)}, \dots, \omega^{(M)}\} \quad (7)$$

или

$$\overline{W}^{**} = \{\omega^{*(1)}, \omega^{*(2)}, \dots, \omega^{*(m)}, \omega^{(m+1)}, \dots, \omega^{(M)}\} \quad (8)$$

Объединяя множество (7) или (8) с множеством точек $\{A_0, A_1, \dots, A_n\}$ получаем ориентированный связный граф.

Следует отметить, что постановка и решение задачи построения оптимальной схемы доставки груза совпадает с постановкой и решением задачи нахождения кратчайшего пути между двумя вершинами графа, причем аналогом длины дуги является значение элемента множества W^* или W^{**} [2].

Применив при решении множество (7) получаем классическую задачу минимакса, решение которой позволяет гарантировать оптимальный уровень затрат вдоль кратчайшего «пути». При использовании множества (8) получается наиболее оптимистичный из всех возможных вариантов путь доставки груза из пункта (точки) A_0 в пункт A_n .

Проиллюстрируем вышеизложенное приме-

ром. В основу примера моделирования положен маршрут с фиксированными географическими и техническими (виды транспорта) параметрами: Красноярск – порт Владивосток / порт Восточный – порт Пусан (Ю.Корея) – порт Сиэтл (США). Заказчик услуг задает оператору смешанной перевозки (ОСП) два показателя, которые считает приоритетными для оценки качества услуги по организации ТЭО доставки груза: «время» и «стоимость» перевозки ($K=2$), где (удельный) «вес» каждого из них (по значимости для заказчика) $\overline{p} = (2;1)$, что означает более высокий приоритет показателя «времени» перевозки.

На схеме (Рис.5) изображены все возможные варианты доставки груза (построения схемы). Данная схема представляет собой совмещение «грузоотправительского» (В1) и «операторского» (В2) вариантов, т.е. их «сумму».

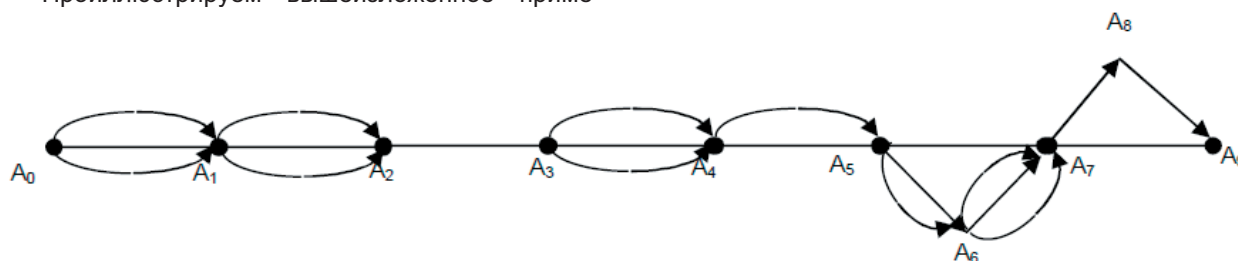


Рис. 5. Возможные пути доставки груза

Условные обозначения: A_0 – склад отправителя. Дуги означают, например, возможность выбора порожних контейнеров с учетом их принадлежности; отрезок A_1-A_2 – доставка груженого контейнера со склада отправителя на железнодорожную станцию (Красноярск). Здесь возможен выбор. Перевозку можно выполнить авто- или железнодорожным транспортом. Возможен выбор и «местного» экспедитора, из числа нескольких способных организовать доставку груза на станцию; отрезок A_2-A_3 – наземный участок перевозки (Красноярск–порт Владивосток, при «грузоотправительском» варианте (В1) или порт Восточный – при «операторском» (В2)). Альтернативы железнодорожной перевозке нет; отрезок A_3-A_4 – имеется возможность выбора конкретного экспедитора из числа нескольких портовых экспедиторов; отрезок A_4-A_5 – имеется возможность выбора среди линейных (фидерных) морских перевозчиков, осуществляющих доставку груза из порта отправления в порт перевалки – Пусан; отрезок A_5-A_6 – ОСП имеет возможность выбора среди экспедиторов порта Пусан; отрезок A_6-A_7 – ОСП имеет возможность выбора контейнера иностранной принадлежности, при перегрузке груза из «российского» контейнера в «иностраный», не требующий возврата порожнего контейнера из пункта назначения груза в порт Пусан; отрезок A_7-A_8 – ОСП может выбирать перевозчика из числа океанских линейных операторов, для доставки груза в порт назначения – Сиэтл; отрезки A_8-A_9 – грузоотправитель обязан доставить груз по назначению и вернуть порожний контейнер российской принадлежности (собственность железнодорожного перевозчика или FESCO) на терминал в порту Пусан

На рис.6 схематично показан «грузоотправительский» (В1), на схеме (Рис. 7) – «операторский» (В2) варианты схем организации ТЭО доставки груза со склада отправителя в Красноярске по назначению – в Сиэтл.

Отправитель, организуя доставку, может сделать выбор из числа местных посредников-экспедиторов (A_0-A_1), а также из числа портовых экспедиторов и морских (фидерных) перевозчиков/линий (A_3-A_4). Других возможностей выбора элементов «пути» доставки груза у него нет.

У ОСП нет возможности выбирать вид наземного транспорта (A_2-A_3) (при значительном расстоянии и отсутствии конкуренции со стороны автотранспорта альтернативы железнодорожной перевозке нет), как нет возможности в выборе экспедитора, занимающегося организацией доставки груза непосредственно по территории страны назначения. В остальных случаях (отрезках) выбор есть, как это описано в пояснении к схеме (Рис. 5).

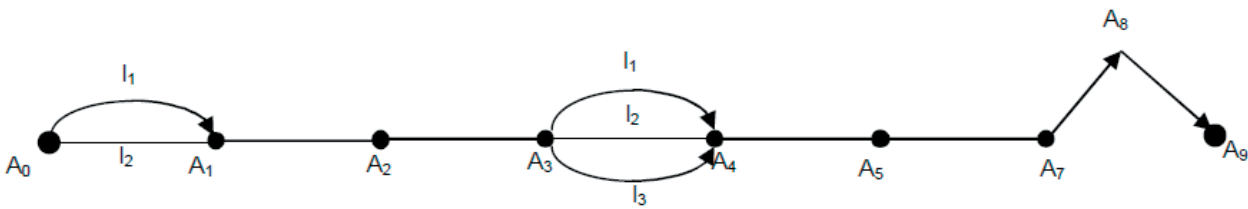


Рис. 6. «Грузоотправительский» вариант (B1)

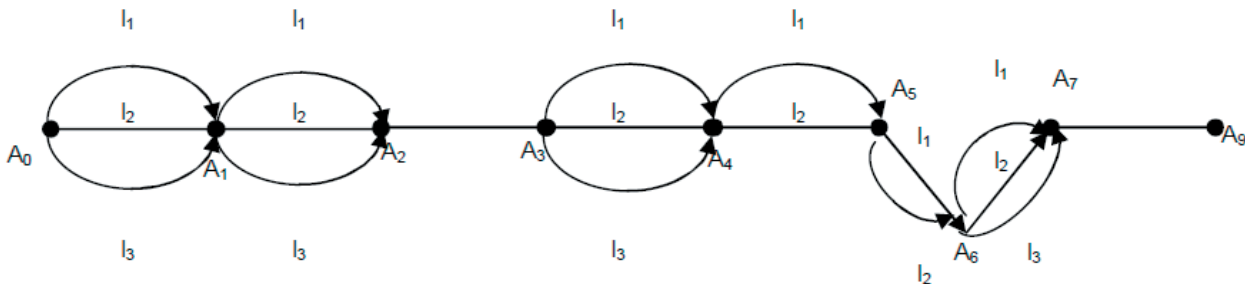


Рис. 7. «Операторский» вариант (B2)

Решение первой части задачи можно искать как для общего случая (Рис. 5), так и для любого из частных (Рис. 6 и 7). Для решения второй составляющей общей задачи оптимизации необходимо Исключим те участки схемы (Рис. 6), где нет возможности выбора (см. Рис.8).

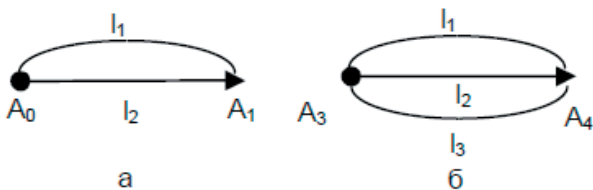


Рис. 8 Участки схемы без возможности выбора

Тогда $m=2, m_1=6, M=m+m_1=2+6=8,$
 $i = 1,2; n_i : n_1 \text{ и } n_2; n_1=2 \text{ (две дуги),}$
 $n_2=3 \text{ (три дуги)}$

Зададим значения $X_{2 \times 2}^{(1)}$ и $X_{3 \times 2}^{(2)}$

$$X^{(1)} = \begin{pmatrix} 2c & 250y.e \\ 6c & 50y.e \end{pmatrix}, \quad X^{(2)} = \begin{pmatrix} 3c & 10000y.e \\ 5c & 2000y.e \\ 10c & 500y.e \end{pmatrix} \quad (9)$$

Значения, используемые в матрицах, произвольные. Индекс «с» - сутки, «у.е» - условные денежные единицы. В матрице $X^{(1)}$ первая строка означает, например, что доставку груза можно осуществить за двое суток, понеся расходы в 250 у.е, по второй строке – за 6 суток, затратив 50 у.е. По аналогии и для матрица $X^{(2)}$.

Определим относительные значения матриц.

$$X^{(1)} = \begin{pmatrix} 2c & 250 y.e \\ 2c + 6c & 250 y.e + 50 y.e \\ 6c & 250 y.e \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 5 \\ 4 & 6 \\ 3 & 1 \end{pmatrix}, \quad (10)$$

можно решить подзадачу для схемы, представленной на рис.5, либо решать вместе взятые подзадачи для схем, представленных на схемах (Рис. 6 и 7).

$$X^{(2)} = \begin{pmatrix} \frac{3c}{3c+5c+10c} & \frac{10000y.e}{10000y.e+2000y.e+500y.e} \\ \frac{5c}{3c+5c+10c} & \frac{2000y.e}{10000y.e+2000y.e+500y.e} \\ \frac{10c}{3c+5c+10c} & \frac{500y.e}{10000y.e+2000y.e+500y.e} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{3}{18} & \frac{20}{25} \\ \frac{5}{18} & \frac{4}{25} \\ \frac{10}{18} & \frac{1}{25} \end{pmatrix}$$

Легко проверить, что сумма элементов столбца равна «1» и компоненты матриц стали безразмерными величинами.

Для $i=1$ определим элементы $\bar{\omega}^{(1)}$ по формуле (3).

$$\omega_1 = \frac{1}{4} \cdot 2 + \frac{5}{6} \cdot 1 = \frac{1}{2} + \frac{5}{6} = \frac{3}{6} + \frac{5}{6} = 1\frac{1}{3}$$

$$\omega_2 = \frac{3}{4} \cdot 2 + \frac{1}{6} \cdot 1 = \frac{3}{2} + 1 = \frac{9}{6} + 1 = 1\frac{2}{3}$$

Далее определяем $\omega^{*(1)}$ и $\omega^{**(1)}$:

$$\omega^{*(1)} = \max_i \{1\frac{1}{3}; 1\frac{2}{3}\} = 1\frac{2}{3},$$

(выбрана дуга l_2 , Рис. 8-а)

$$\omega^{**(1)} = \min_i \{1\frac{1}{3}; 1\frac{2}{3}\} = 1\frac{1}{3},$$

(выбрана дуга l_1 , рисунок 8а)

Для $i=2$ вычислим элементы $\bar{\omega}^{(2)}$ по формуле

(3).

$$\omega_1 = \frac{3}{18} \cdot 2 + \frac{20}{25} \cdot 1 = \frac{1}{3} + \frac{4}{5} = \frac{17}{15} = 1 \frac{2}{15} = 1 \frac{30}{225}$$

$$\omega_2 = \frac{5}{18} \cdot 2 + \frac{4}{25} \cdot 1 = \frac{5}{9} + \frac{4}{25} = \frac{125 + 36}{225} = \frac{161}{225}$$

$$\omega_3 = \frac{10}{18} \cdot 2 + \frac{1}{25} \cdot 1 = \frac{10}{9} + \frac{1}{25} = \frac{250 + 9}{225} = \frac{259}{225} = 1 \frac{34}{225}$$

$$\omega^{*(2)} = \max_i \left\{ 1 \frac{30}{225}; \frac{161}{225}; 1 \frac{34}{225} \right\} = 1 \frac{34}{225}$$

(выбрана дуга l_3 , рисунок 8б)

$$\omega^{** (2)} = \min_i \left\{ 1 \frac{30}{225}; \frac{161}{225}; 1 \frac{34}{225} \right\} = \frac{161}{225}$$

(выбрана дуга l_2 , рисунок 8б)

Таким образом, наиболее затратный в предложенном сочетании «время: стоимость» («вес» 2 к 1), путь для способа доставки груза – по варианту (В1, Рис.6) примет вид (см. Рис.9).

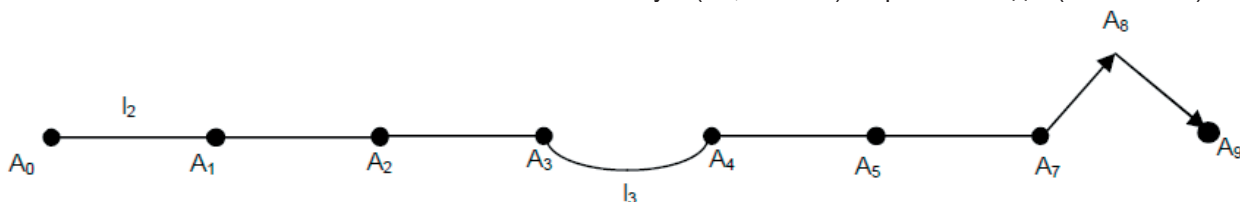


Рис. 9. Затратная схема «грузоотправительского» варианта (В1)

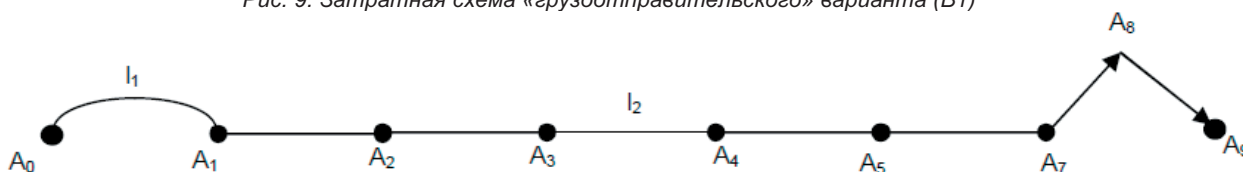


Рис.10. Оптимистичный путь варианта В1

Для перехода к решению второй части задачи необходимо решить аналогичную, представленную выше, задачу, но только используя схему (Рис. 7).

В этом случае $m=6$. Необходимо задать цепочку из 6-ти информационных матриц $X^{(1)}, X^{(2)}, \dots, X^{(6)}$:

$$X^{(1)} = \begin{pmatrix} 2c & 250 \text{ y.e} \\ 6c & 50 \text{ y.e} \\ 3c & 100 \text{ y.e} \end{pmatrix},$$

$$X^{(2)} = \begin{pmatrix} 7 & 15000 \text{ y.e} \\ 12 & 7000 \text{ y.e} \\ 21 & 5000 \text{ y.e} \end{pmatrix},$$

$$X^{(3)} = \begin{pmatrix} 3 & 10000 \text{ y.e} \\ 5 & 2000 \text{ y.e} \\ 10 & 500 \text{ y.e} \end{pmatrix},$$

$$X^{(4)} = \begin{pmatrix} 15c & 30 \text{ y.e} \\ 30c & 10 \text{ y.e} \end{pmatrix},$$

$$X^{(5)} = \begin{pmatrix} 5 & 17 \\ 8 & 13 \end{pmatrix},$$

$$X^{(6)} = \begin{pmatrix} 2 & 300 \\ 4 & 200 \\ 9 & 100 \end{pmatrix} \quad (10)$$

Для $i=1$ определим элементы $\bar{\omega}^{(1)}$ по формуле (3).

$$\omega_1 = \frac{2}{11} \cdot 2 + \frac{5}{8} \cdot 1 = \frac{4}{11} + \frac{5}{8} = \frac{87}{88}$$

$$\omega_2 = \frac{6}{11} \cdot 2 + \frac{1}{8} \cdot 1 = 1 \frac{19}{88}$$

$$\omega_3 = \frac{3}{11} \cdot 2 + \frac{2}{8} \cdot 1 = \frac{35}{44} = \frac{70}{88}$$

Далее определяем $\omega^{*(1)}$ и $\omega^{** (1)}$:

$$\omega^{*(1)} = \max_i \left\{ \frac{87}{88}; 1 \frac{19}{88}; \frac{70}{88} \right\} = 1 \frac{19}{88},$$

(на участке $(A_0; A_1)$ выбрана дуга l_2 , Рис.7)

$$\omega^{** (1)} = \min_i \left\{ \frac{87}{88}; 1 \frac{19}{88}; \frac{70}{88} \right\} = \frac{70}{88},$$

(на участке $(A_0; A_1)$ выбрана дуга l_3 , Рис.7)

Для $i=2$ определим элементы $\bar{\omega}^{(2)}$ по формуле (3), получим:

$$\omega_1 = \frac{489}{540}; \omega_2 = \frac{464}{540}; \omega_3 = 1 \frac{127}{540};$$

Определим значения $\omega^{*(2)}$ и $\omega^{** (2)}$:

$$\omega^{*(2)} = 1 \frac{127}{540}$$

(на участке (A₁; A₂) выбрана дуга l₃, Рис.3)

$$\omega^{**^{(2)}} = \frac{464}{540}$$

(на участке (A₁; A₂) выбрана дуга l₂, рис.3)

При i=3:

$$\omega_1 = 1 - \frac{30}{225}; \omega_2 = \frac{161}{225}; \omega_3 = 1 - \frac{34}{225},$$

следовательно

$$\omega^{*(3)} = 1 - \frac{34}{225}, \quad \omega^{**^{(3)}} = \frac{164}{225}$$

на участке (A₃; A₄) (рис.7) в первом случае выбрана дуга l₃, во втором – l₂.

При i=4: $\omega^{*(4)} = \omega^{**^{(4)}} = 1 - \frac{5}{12}$.

Следовательно, в обоих случаях, выбор дуги произволен: либо l₁, либо l₂.

При i=5:

$$\omega_1 = 1 - \frac{131}{390}; \omega_2 = 1 - \frac{259}{390};$$

$$\omega^{*(5)} = 1 - \frac{259}{390}, \quad \omega^{**^{(5)}} = 1 - \frac{131}{390}$$

Здесь участок (A₅; A₆) (рис.7), согласно (4), проходит по дуге l₂, а по (5) – по дуге l₁.

При i=6 имеем:

$$\omega_1 = \frac{23}{30}; \omega_2 = \frac{26}{30}; \omega_3 = 1 - \frac{11}{30}; \quad \omega^{*(6)} = 1 - \frac{11}{30},$$

(выбрана дуга l₃)

$$\omega^{**^{(6)}} = \frac{23}{30}, \quad \text{(выбрана дуга l}_1\text{)}$$

Таким образом, самый «затратный» путь из A₀ в A₉, при «операторском» варианте организации доставки груза будет выглядеть так, как это представлено на схеме (Рис. 11).

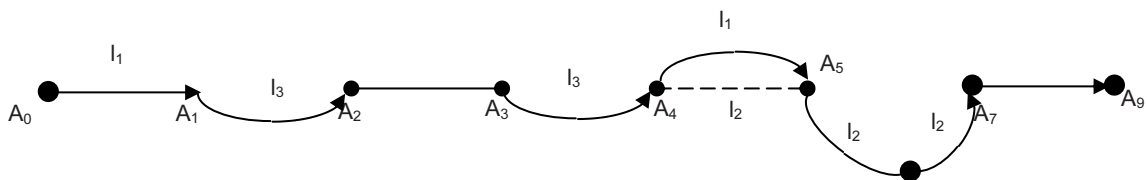


Рис. 11. «Затратный» «операторский» путь

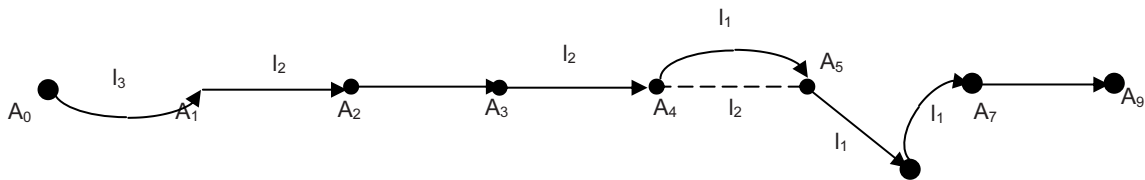


Рис. 12. Самый оптимистичный «операторский» путь

В случае отсутствия возможности выбора (безальтернативность) удельный «вес» дуги ω

составит $\sum_{i=1}^k p_i = 2 + 1 = 3$.

В результате совмещения получим схемы доставки, представленные на схемах (Рис. 13 и

14).

Определим вес цепи (схемы доставки), как сумму весов всех звеньев ее составляющих, совместим схемы (Рис 9 и 11, 10 и 12).

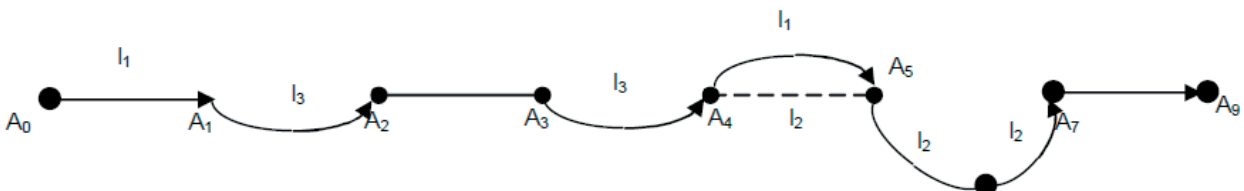


Рис. 13. Путь, гарантирующий минимум затрат, при наихудшем сочетании «времени» и «стоимости» перевозки

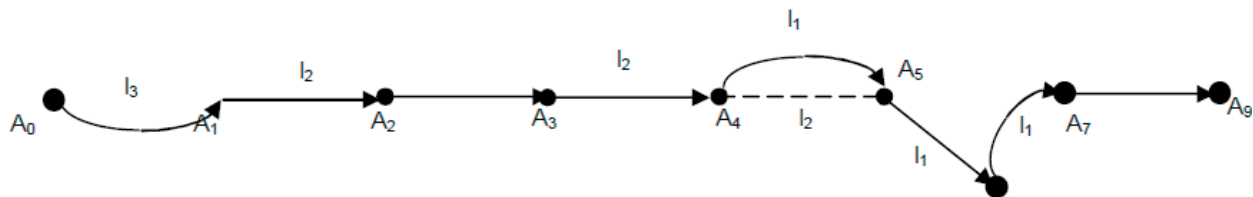


Рис. 14. Самый оптимистичный путь из всех возможных вариантов доставки груза, при наиболее благоприятном сочетании «времени» и «стоимости» перевозки

На схеме (Рис. 13) двойной стрелкой показан путь, гарантирующий минимум затрат, при наихудшем сочетании «времени» и «стоимости» перевозки.

Суммарный показатель затрат здесь составит:

$$W = \sum_{i=1}^m \omega^{*(i)} + \sum_{i=m+1}^m \omega^{(i)} =$$

$$= 1 \frac{19}{88} + 1 \frac{127}{540} + 3 + 1 \frac{34}{225} + 1 \frac{5}{12} + 3 + 3 =$$

$$= 13 + \left(\frac{19}{88} + \frac{127}{540} + \frac{34}{225} + \frac{5}{12} \right) \approx 14,019$$

На схеме (Рис. 14) двойной стрелкой выделен самый оптимистичный путь из всех возможных вариантов доставки груза, при наиболее благоприятном сочетании «времени» и «стоимости» перевозки.

$$W = \sum_{i=1}^m \omega^{*(i)} + \sum_{i=m+1}^m \omega^{(i)} =$$

$$= \frac{70}{88} + \frac{464}{540} + 3 + \frac{161}{225} + 1 \frac{5}{12} + 1 \frac{131}{390} + \frac{23}{30} + 3 =$$

$$= 8 + \left(\frac{70}{88} + \frac{464}{540} + \frac{161}{225} + \frac{5}{12} + \frac{131}{390} + \frac{23}{30} \right) \approx$$

$$\approx 11,89$$

Разница между «наихудшим» и «благоприятным» вариантами составляет 20% общего показателя.

Определим реальные (для данного условного примера) затраты времени (Т) и стоимости (R) для обоих вариантов решения. Для этого необхо-

димо задать значение времени (t) и стоимости (r) для участников (A₂; A₃); (A₅; A₇); (A₇; A₈); (A₈; A₉); (A₇; A₉), по рис. 5:

$t_{23} = 5$	$r_{23} = 100$
$t_{57} = 11$	$r_{57} = 230$
$t_{78} = 2$	$r_{78} = 80$
$t_{89} = 3$	$r_{89} = 70$
$t_{79} = 9$	$r_{79} = 100,$

тогда:

$$T^* = 6+21+5+10+30+8+9+9 = 98 \text{ сут.}$$

$$R^* = 50+5000+100+500+10+13+100+100 = 5873 \text{ у.е.}$$

$$T^{**} = 3+12+5+5+15+5+2+5 = 52 \text{ сут.}$$

$$R^{**} = 100+7000+100+2000+30+17+300+150 = 9697 \text{ у.е.}$$

Заключение

1. Задавшись в примере более высоким приоритетом для показателя «время» доставки в сравнении с показателем «стоимость» («удельный вес» 2:1), получен и соответствующий результат: 52:98 сут. В то же время расходы по «скоростному» варианту превысили аналогичный показатель более продолжительной «доставки» в 1,6 раза.

2. Использование предложенной методики, проиллюстрированное примером, подчеркивает то, что самым сложным является выбор (обоснование) приоритетности («удельного веса») показателей, определяющих качество услуг, когда неправильно определенные «веса» показателей приведут к нежелательному результату и наоборот.

Литература

1. Мельников, А.Р. Совершенствование методического обеспечения транспортно-экспедиторского обслуживания смешанных перевозок груза. Автореферат дисс. канд. техн. наук. – Владивосток. МГУ им. адм. Г.И. Невельского, 2003.
2. Стебунова, Т.И., Манакова, Н.В. Маркетинг и формирование тарифных ставок на перевозки внешнеторговых грузов // Бюллетень транспортной информации. – 2000. – №3. – С. 12-14.

References

1. Melnikov, A.R. Improvement of methodical support of transport and forwarding service of intermodal cargo transportation, synopsis of thesis in candidacy for an academic degree of candidate of technical sciences, 2003.
2. Stebunova, T.I., Manakova, N.V. Marketing and formation of tariff rates for transportation of foreign trade cargov // Transport information bulletin, 2000. №3. P. 12-14.



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 – публичная оферта размещена на сайте www.morintex.ru
3. Одна рецензия на публикуемую статью по соответствующей специальности с подписью, заверенной гербовой печатью. При междисциплинарном исследовании представляются две рецензии от экспертов различных областей наук по соответствующей тематике.
4. Акт экспертизы на открытую публикацию (при необходимости)
5. Лицензионный договор

Перечисленные документы (кроме акта экспертизы) могут быть переданы в редакцию по электронной почте по адресу mit-journal@mail.ru (поэтому 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 9000 рублей по выставляемому 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.

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**